عارضه یابی مقررات ملی ساختمان در حوزه بهره مندی از نور روز در شهر قزوین

مجید میری[۱]، محسن کمپانی سعید[۲]

۱- کارشناسی ارشد معماری و طراحی نور پردازی، قزوین، خیابان شهید بابایی، کوچه سه، پلاک ۱

۲- کارشناسی ارشد معماری، قزوین، خیابان شهید بابایی،کوچه طوس،پلاک ۲۰

archtectiso@yahoo.com majid.miri@ljusarkitektur.se

چکیده

در این مقاله با بهره گیری از محاسبات اتونومی نور روز توسط نرم افزار دیسیم (Daysim)از طریق مطالعه موردی ،ابتدا کمبودها و مشکلات موجود در قوانین مربوط به تامین روشنایی طبیعی در امر ساخت و ساز (بویژه در رابطه با مبحث چهار از مقررات ملی ساختمان) شناسایی شده و سپس ضرورت تغییر در این قوانین مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. لازم به ذکر است که مطالعه مذکور جهت اتاقهای واقع در بخش شمالی یک ساختمان مسکونی شمالی واقع در شهر قزوین که تنها از طریق پاسیو به روشنایی طبیعی دسترسی دارند، انجام گرفته است و از آنجائیکه که قوانین و شرایط اقلیمی شهر قزوین مشابهت بسیاری با اکثرشهرهای ایران دارد، نتایج مطالعه مذکور به دیگر مناطق کشور نیز قابل تعمیم می باشد. 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. براساس نتایج محاسبات انجام شده،بهترین حالت به منظور دستیابی به یک روشنایی مناسب جهت اتاقهای شمالی زمانی اتفاق میافتد که در جدار دیواره بیرونی پاسیو از شیشه های مات استفاده شود.

کلمات کلیدی: پاسیو، مقررات ملی ساختمان، نور روز، اتونومی نور روز، ساختمان شمالی

مقدمه:

امروزه استفاده درست ، بهینه و هوشمندانه از روشنایی طبیعی مورد توجه روز افزون معماران قرار گرفته و تاثیرات مهم تابش نور خورشید بر کاهش مصرف انرژی الکتریکی در قسمت روشنایی (کاهش مستقیم مصرف) و بار گرمایش و سرمایش ساختمانها (کاهش غیر مستقیم مصرف)[۱]، اهمیت آن را به عنوان منبعی بی انتها ،قابل دسترس و ارزان بر همگان آشکار ساخته است.

اصولاً ساختمانی که از روشنایی طبیعی مناسب و کافی برخوردار است سلامتی جسمی، روحی و روانی برای ساکنین خود به ارمغان می آورد و نیز باعث افزایش کارایی ساکنین می گردد. لازم به ذکر است دید به بیرون که معمولا به همراه طراحی نور روز مطرح می شود در افزایش شادابی و سلامتی روانی و حتی جسمی ساکنین از اهمیت بالایی برخوردار می باشد.[۲]

روشنایی طبیعی دریافتی از خورشید با توجه به مکان و محل قرارگیری ساختمان، کاربری ، زمان بکارگیری، شدت و میزان روشنایی دریافتی، برای هر لحظه در زمان معین می تواند مطلوب و یا نامطلوب باشد. بنابراین در اینجا این سؤال اساسی مطرح می شود که حقیقتاً طراحی نور روز به چه معنا می باشد و اهمیت آن چیست و چه فضایی را می توان به عنوان فضایی با نور طبیعی کافی و مناسب نام برد؟ تاکنون در این زمینه جواب قطعی برای این سؤالها داده نشده است ولی بطور کلی می توان استفاده هدفمند از روشنایی طبیعی در داخل و خارج بنا را طراحی نور روز نامید[۳]

و زمانیکه کیفیت و کمیت روشنایی در یک فضا تنها به کمک روشنایی نور روز در تعداد متناوبی از روزهای سال قابل تأمین بوده و ناراحتی و مشکلات دیداری حاصل از خیرگی در آن به حداقل رسیده شده باشد،[۴] آن مکان را می توان فضایی با روشنایی متاسب طبیعی تعریف نمود. در چنین فضایی نورطبیعی، نور غالب در طول روز بوده و ساکنین احساس آسایش بصری و دمایی مطلوبی را تجربه میکنند. در این حالت میزان انرژی مورد نیاز برای نور مصنوعی، گرمایش و سرمایش ساختمان نیز در مقایسه با سایرساختمانهای مشابه، پایین تر میباشد.[۵]

در فضایی که نور طبیعی می بایست منبع اصلی روشنایی باشد، با توجه به نوع کاربری، میزان و یا محدوده معینی از روشنایی مورد نیاز میباشد[۳] و نیز با لحاظ تأثیرات ورود نور طبیعی به ساختمان بر آسایش حرارتی، بصری و روانی ساکنین از یک طرف و میزان مصرف انرژی در ساختمان از طرف دیگر ،این مقدار مشخص نور روز نمی بایستی از حد معینی بیشتر و یا کمتر باشد.[۳]

نکته دیگر در رابطه با طراحی نور روز، درجه تطابق پذیری ساکنین ساختمان با تغییر شرایط لحظه ای نور است. برای مثال در فضای نشمین در یک ساختمان مسکونی، ساکنین به راحتی می توانند با تغییر محل نشستن و یا جهت دید خود از خیرگی ناشی از ورود مستقیم نور خورشید به داخل ساختمان دوری جویند در حالیکه این امکان در یک اتاق کار در یک فضای اداری بسیار کمتر می باشد.

بنابراین هروقت صحبت از روشنایی طبیعی در ساختمان می شود، بایستی هر سه پارامتر (میزان مناسبی از نور، آسایش ساکنین و مصرف انرژی) بطور همزمان مورد توجه مهندسین و طراحان قرار گیرد. به عنوان مثال زمانی که به دلیل ورود نور مستقیم خورشید به داخل فضا وایجاد خیرگی ناشی از آن کرکره ها بسته شوند، میزان نور قابل دسترس در فضا کاهش می یابد که ممکن است منجر به روشن نمودن چراغهای داخلی ساختمان گردد (به منظور رفع نیازهای عملکردی فضا). فلذا بستن کرکره ها از یک طرف و روشن کردن چراغها از طرف دیگر بر میزان نیاز به گرمایش و سرمایش ساختمان تاثیر گذار خواهد بود.

نحوه ارزیابی روشنایی طبیعی:

در این مقاله هدف اصلی ، بررسی تأثیرات نور روز بر نحوه تأمین روشنایی داخل ساختمان بوده و از تأثیرات آن بر میزان بار سرمایشی و گرمایشی چشم پوشی شده است.

جهت ارزیابی جامع روشنایی طبیعی یک محیط، بررسی همه جانبه کلیه جوانب ذیل ضروری میباشد:

- کمیت روشنایی طبیعی در زمانهای معین در طول سال (میزان شدت (لوکس) و نحوه پخش روشنایی و یا درخشندگی سطوح داخل فضا (کندلا بر متر مربع))
- آسایش بصری محیط در زمانهای مشخص در طول سال (به کمک سنجش میزان احتمال خیرگی در یک فضا از طریق ارزیابی نحوه ورود نور مستقیم خورشید و یا میزان درخشندگی سطوح)
- کیفیت و نحوه دسترسی به دید بیرونی در جهات و مکانهای مختلف ازفضای داخل[۶]

واحدهای ارزیابی روشنایی طبیعی:

هیچ یک از واحد های شناخته شده ارزیابی نور روز تاکنون تضمین کافی برای نیل به کیفیت نوری مناسب را ارائه نمی نماید. منظور از کیفیت نوری مناسب حالتی است که علاوه بر کارایی، خوانایی و مصرف بهینه انرژی؛ جذابیت، شادابی و نیز سلامت ساکنین را مد نظر قرار دهد. انجام ارزیابی روشنایی بر اساس واحدهای شناخته شده موجود، شرط لازم برای رسیدن به کیفیت نوری مناسب میباشد اگرچه جهت حصول نتیجه مطلوب کماکان نیازمند به دانش، تجربه و سابقه طراح در فرایند طراحی میباشیم.

در حالت کلی دو نوع ارزیابی نور روز در ساختمان مطرح میباشد که برحسب انتخاب تنها یک نوع آسمان (مثل آسمان تمام ابری) و یا مجموعه ای از انواع وضعیت های آب و هوایی (به کمک استخراج داده های آب و هوایی از فایل آب و هوا که نمایانگر وضعیت آب و هوایی غالب برای منطقه مورد نظر بوده) میتوان آن را به دو نوع ایستا و پویا تقسیم بندی نمود[۷].

شبیه سازی نور روز ایستا یا بر پایه تصاویر اچ-دی-آر (HDR) انجام میپذیرد (به کمک اندازه گیری درخشندگی (کندلا بر متر مربع) در فضا) و یا بر اساس اندازه گیری میزان لوکس و یا فاکتور نور روز (Daylight Factor) در نقاط اندازه گیری مجازی (تحت یک آسمان مرجع)[۸]. از آنجایی که کمیت و کیفیت نور روز به صورت لحظه ای متغیر بوده و با توجه به محدودیتهای ارزیابی نور روز در حالت ایستا امروزه شبیه سازی پویا مورد توجه قرار گرفته و کاربرد بیشتری دارد. در چنین اندازه گیری هایی پس از انتخاب دوره مشخصی از سال و یا لحاظ تمام طول سال، میزان مصرف انرژی، نحوه و میزان روشنایی فضا در طول آن دوره (بر اساس تغییرات میزان نور روز وابسته به تغییرات آب وهوایی در طول سال) اندازه گیری می شود.[۹]

فاکتور نور روز (Daylight Factor):

در این مقاله از میان انواع واحدهای ارزیابی نور روز ایستا، فاکتور نور روز انتخاب شده است. این واحد ارزیابی از قدیمی ترین و در عین حال متداولترین واحدهای ارزیابی نور روز است که تاکنون در بسیاری از استانداردها و توصیه نامه های محیط زیستی مورد استفاده قرار گرفته و می گیرد. برای یک نطقه مشخص در یک فضا، فاکتور نور روز[۱۰] عبارت است از درصد نسبت میزان شدت روشنایی طبیعی افقی (بر حسب لوکس) در آن نقطه بر حداکثر میزان شدت روشنایی طبیعی افقی در فضایی بدون هر گونه مانع در یک هوای تماماً ابری در خارج ساختمان (بر طبق آسمان تمام ابری CIE[۱۱])

لازم به ذکر است که علارغم استفاده وسیع، این شاخص ارزیابی دارای محدودیتهای ذاتی به شرح ذیل است که باعث می گردد نتوان به نتایج آن به عنوان یک بررسی روشنایی طبیعی قابل قبول اطمینان نمود:

- این شاخص تنها آسمان تمام ابری را مد نظر قرار می دهد و آسمان آفتابی و نور مستقیم خورشید جایی در نحوه ارزیابی آن ندارد.
- این شاخص تأثیر جهت یابی ساختمان بر روشنایی طبیعی داخل فضا را نادیده می گیرد.
- شاخص مذکور آمادگی تلفیق با روشنایی الکتریکی را نداشته و ارزیابی جامعتر از وضعیت روشنایی داخل ساختمان بواسطه آن امکان پذیر نمی باشد.[۱]

بنابر دلایل گفته شده در این مقاله، فاکتور نور روز در ارزیابی روشنایی فضا مورد استفاده قرار نگرفته است.

اتونومی نور روز (Daylight Autonomy):

اتونومی نور روز جزو شاخصهای ارزیابی نور روز پویا بوده و برای یک نقطه معین در فضای داخلی معادل است با درصدی از زمان های مورد استفاده ساختمان در سال که در آن سطح روشنایی مورد نیاز آن فضا که براساس نوع آن کاربری آن تعیین می گردد به تنهایی توسط روشنایی طبیعی قابل دسترس باشد.[۳]

روشنایی مفید نور روز (Useful Daylight Illuminance):

همانند اتونومی نور روز، این شاخص نیز جزو شاخصهای پویا بوده و همانگونه که از اسم آن بر می آید نشان دهنده آن است که روشنایی طبیعی در دسترس در ساختمان، در چه میزان از کل زمانهای مورد اشغال آن مفید و قابل

استفاده (بین ۱۰۰ تا۲۰۰۰ لوکس) بوده و نیز چه درصدی از آن خیلی تاریک (کمتر از ۱۰۰) و یا خیلی روشن (بیش از ۲۰۰۰) می باشد.[۱۲]
در اینجا ذکر این نکته ضروری است که گرچه تاکنون تأکید اکثریت قریب به اتفاق واحدهای مورد استفاده و قابل قبول برای ارزیابی نور روز، بر اندازه گیری سطوح افقی در فضا استوار میباشد ولی اهمیت بررسی سطوح عمودی نیز حائز اهمیت است چرا که روشنایی غیر افقی دیوارها و یا دیگر سطوح عمودی بر نحوه درک بصری فضا بسیار تاثیر گذار است با این وجود در این مقاله جهت ساده سازی، کلیه اندازه گیری ها جهت سطوح افقی انجام گرفته است.

عوامل و پارامترهای مؤثر در ارزیابی و دسترسی به روشنایی نور روز:
مشخصات جغرافیایی محل، موانع و عوامل بیرونی ساختمان، مساحت پنجره ها و نورگیرها و درصد شفافیت نور مرئی برای شیشه ها، جهت گیری اصلی ساختمان، شکل بیرونی و چیدمان داخلی ساختمان، شکل، نوع و نحوه عملکرد سایه اندازها، ضریب انعکاس سطوح داخلی، نحوه کنترل منابع نور الکتریکی و یا سایه اندازها، نوع رفتار ساکنین در قبال تغییرات روشنایی، جزئیات پنجره ها و یا نورگیرهای سقفی از جمله پارامترهای مؤثر در ارزیابی کمیت و کیفیت روشنایی طبیعی داخل ساختمان می باشند.

مشخصات جغرافیایی محل:
طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و منطقه زمانی (time zone) از جمله عوامل تأثیرگذار بر میزان نور روز در ساختمان می باشند. بطور کلی با توجه به طبیعت متغیر وضعیت آب و هوایی هر منطقه، به منظور رسیدن به نتایج مناسب تر و قابل قبول تر بهتر است که بجای انجام تجزیه و تحلیل بر اساس واحدهای آنالیز ایستا به کمک استفاده از فایل اطلاعات آب و هوایی آن منطقه از واحدهای ارزیابی پویا استفاده نمود.

موانع و عوامل بیرونی ساختمان:
اندازه، شکل و ضریب انعکاس سطوح بیرونی ساختمانهای مجاور، کف محوطه اطراف، درخت و فضای سبز و دیگر عوامل خارجی تأثیر بسزایی در ممانعت و یا انعکاس نور مستقیم خورشید و غیر مستقیم آسمان به داخل ساختمان دارند. بنابراین برای محاسبه و اندازه گیری نور روز در ساختمان می بایست تمام موانع خارجی که در فاصله حداقل ۳۰ متری از ساختمان مورد نظر قرار داشته و دارای اندازه و بعدی بیش از ۳ متر باشد در مدل سه بعدی ساختمان گنجانده شوند.[۱۳]

جهت گیری اصلی ساختمان:
اصولاً فضاهایی که جهت گیریشان به سمت شمال می باشند مصرف انرژی الکتریکی بالاتری نسبت به فضاهای مشابه ولی با جهت گیری متفاوت دارند. ولی اگر میزان دسترسی فضای مورد نظر به نور روز بالا باشد مثلاً برای ساختمانهایی با نمای کاملا شیشه ای و یا آنهایی که پنجره ها درصد بالایی از نمای بیرونی ساختمان را در برگرفته اند بدلیل استفاده متداول تر از کرکره، پرده و یا دیگر انواع سایه اندازها برای افزایش آرامش بصری و کاهش مشکلات خیرگی و یا کاهش بار گرمایش و سرمایش ساختمان، تأثیر جهت یابی ساختمان کاهش خواهد یافت.[۱۴]
از آنجائیکه اصولاً نور مستقیم خورشید به ندرت وارد فضاهای شمالی می شود برای رسیدن به اتونومی نور روز بالاتر، می توان میزان سطح اشغال پنجره در دیوار های بیرونی را افزایش داد، هرچند در این زمینه باید به مشکلات ناشی از تبادل دما از طریق پنجره ها توجه کافی نموده و سپس در مورد میزان سطح پنجره در اتاق تصمیم گیری نمود.[۱۵]

مساحت پنجره ها و نورگیرها و درصد شفافیت نور مرئی آنها:

یکی از کلیدی ترین تصمیماتی که می توان برای طراحی ساختمانهایی سبز و پایدار گرفت انتخاب اندازه مناسب (نه زیاد و نه کم) برای پنجره و نورگیرها می باشد. یکی از مهمترین ویژگیهای چنین روزنه هایی در ساختمان امکان ایجاد دید مطلوب به بیرون است. احتمال بروز خیرگی و یا افزایش بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان از جمله تهدیداتی است که انتخاب نا مناسب نوع و اندازه نورگیرها و پنجره ها به همراه عدم استفاده درست از کرکره و یا پرده در ساختمان ایجاد می نماید به ویژه برای آن دسته از ساختمانهایی که نمای شیشه ای داشته و یا آنهایی که پنجره ها اکثر نمای بیرونی ساختمان را در بر گرفته اند.[۱۵]

افزایش اندازه پنجره و نورگیرها (مانند افزایش نسبت مساحت پنجره به دیوار بیرونی و یا میزان شفافیت نور مرئی شیشه ها) باعث افزایش میزان اتونومی نور روز و کاهش مصرف انرژی الکتریکی نور مصنوعی می شود. هرچند این افزایش در اندازه نورگیرها تا میزان مشخصی مفید است ولی بیش از یک حد مشخص شده، تاثیرات مثبت کاهش یافته و جوانب منفی بر جوانب مثبت آن پیشی میگیرد. بنابراین یافتن اندازه بهینه برای نورگیرها در داخل ساختمان از اهمیت بسزایی در کاهش مصرف انرژی برخوردار بوده و همزمان موجب افزایش خوانایی و کیفیت فضاهای داخلی ساختمان نیز میگردد.[۱۵]

شکل بیرونی و چیدمان داخلی ساختمان:

اصولاً هرچه ساختمان کشیده تر باشد امکان کاهش مصرف انرژی الکتریکی برای نورپردازی داخلی آن بیشتر می شود.[۱۶] برطبق مطالعات موردی انجام شده در کشور کانادا، ساختمانهای اداری که در آنها اتاقهای کار در حاشیه پیرامون فضاهای داخلی قرار دارند در صورت استفاده از سیستمهای نورپردازی با قابلیت کاهش شدت نور (dimmable)، احتمال صرفه جویی در آنها بین ۲۵ تا ۶۰ درصد می باشند. البته این میزان کاهش، بستگی زیادی به نحوه استفاده و کنترل سایه اندازهایی مانند پرده و کرکره و غیره دارد.[۱۷]

از آنجائیکه فاصله و نحوه قرار گیری کاربری های فضا از پنجره ها و بازشوها تأثیر زیادی بر کمیت مصرف انرژی و میزان کارایی فضا دارد می توان به درجه اهمیت چیدمان داخلی پی برد. به عنوان مثال در فضاهای اداری با پلان داخلی باز، عموماً هرچه فاصله فضای کاری از پنجره ها بیشتر می شود، جهت گیری ساختمان از اهمیت بیشتری برخوردار است. برای فضای اداری که جهت اصلی پنجره های بیرونی آن به سمت شمال است، جانمایی فضای کاری که در فاصله دورتری از پنجره ها قرار دارد پیشنهاد نمی گردد.

این در حالیست که برای فضای اداری که جهت گیری اصلی بازشوهای بیرونی آن به سمت جنوب می باشد بهتر است که فضاهای عبوری (مانند راهرو ها و دیگر کاربریهایی که برای آنها مشکل خیرگی اهمیت چندانی ندارد) در فواصل چسبیده به پنجره ها قرار داده شوند و فضاهای کاری کمی عقب تر جای دهی گردند. بدین گونه با استفاده کمتر از کرکره ها و دیگر سایه اندازه ها در ساختمان، میتوان نور طبیعی بیشتری را وارد ساختمان نمود.[۱۸]

شکل، نوع و نحوه عملکرد سایه اندازها:

با نظر به جهت گیری ساختمانها و همچنین زمان کاربری آن، اصولاً می بایستی برای پنجره ها و مخصوصاً آنهایی که امکان دید به بیرون برای ساکنینشان فراهم می نمایند نوعی از سایه اندازی به مانند پرده و کرکره و یا دیگر انواع آن تعریف نمود. از آنجایی که اوایل صبح و اواخر بعد از ظهر در فصل تابستان امکان ورود نور مستقیم خورشید از طریق پنجره های رو به شمال نیز به داخل ساختمان وجود دارد ممکن است که برای تمام جهات ساختمان نیاز به استفاده از سایه اندازها احساس گردد.[۴] در رابطه با انواع سایه اندازها، اصولاً آنها را می توان به دو بخش داخلی و خارجی

تقسیم نمود که سپس مجدداً به دو نوع کنترل دستی و اتوماتیک، قابل تقسیم می باشند. هریک از این انواع شامل مزایا و معایبی هستند که برحسب شرایط مورد استفاده، می توان یکی از آنها را برای فضای مورد نظر انتخاب نمود.[۱۹]

ضریب انعکاس سطوح داخلی:

نوع و اندازه ضریب انعکاسی سطوح داخلی تأثیر بسزایی برنحوه پخش و میزان نور روز در فضاهای داخلی ساختمان دارد. میزان تأثیرگذاری آن به حدی است که می توان آنرا با نحوه جهت گیری ساختمان مقایسه نمود. اهمیت این موضوع وقتی بیشتر می شود که نسبت اندازه پنجره به دیوار بیرونی کاهش یافته و در نتیجه میزان بیشتری از نور داخلی به واسطه انعکاس از سطوح داخلی تأمین گردد. اساساً هنگام انتخاب مصالح مورد استفاده در داخل ساختمان، وقتی که کیفیت و میزان نور روز برای طراح از اهمیت کافی برخوردار است می توان از اصول کلی زیر پیروی نمود: اول اینکه با افزایش تنها ۱۰٪ ضریب انعکاس سطوح داخلی در ساختمان می توان ۱۵٪ دسترسی به نور طبیعی در ساختمان را افزایش داد (این موضوع بسیارکلی بوده و به شرایط زیادی مرتبط می باشد فلذا نمی توان آنرا به هر نوع فضا و یا مصالحی در داخل ساختمان بسط داد)؛ دیگر اینکه هرچه فاصله سطوح داخلی به نورگیرها و پنجره ها نزدیکتر باشد، ضریب انعکاسی آنها از اهمیت بیشتری برخوردار است و سوم اینکه وقتی نور آسمان و خورشید بیشترین اهمیت را در روشنایی نور روز دارا می باشد، سطوح واقع در کف حائز اهمیت هستند و زمانی که روشنایی، بیشتر مسیر افقی را طی می کند،دیوارها و سطوح عمودی از اهمیت بالاتری برخوردار خواهند بود.[۱۳]

کنترل منابع نور الکتریکی و یا سایه اندازها:

در دو حالت می توان از استفاده از پرده، کرکره و یا دیگر انواع سایه اندازهای متحرک در ساختمان صرف نظر کرد، مورد اول حالتی است که طراح بر حسب شرایط و یا نیازهای ویژه ساختمان، بر عدم استفاده از آنها تعمد داشته باشد و دیگری حالتی است که شبیه سازی و انجام ارزیابی های مربوطه به کمک نرم افزارها تایید نماید که میزان ورود نور مستقیم خورشید در طول سال در حد و اندازه ای نیست که مشکلاتی را برای ساکنین ساختمانها ایجاد نماید. در غیر این صورت بخصوص برای ساختمانهایی با کاربری های تجاری و اداری بهره گیری از سایه اندازها اجتناب ناپذیر خواهد بود. سایه اندازها باید به شکلی طراحی و یا انتخاب گردند که در لحظه ورود نور مستقیم خورشید به بخشی از ساختمان و ایجاد مشکل برای کاربران فضا و یا به دلیل افزایش مصرف انرژی، از ورود نور مستقیم خورشید تا حد امکان جلوگیری نمایند.

در رابطه با موضوع کنترل گرها، برقراری ارتباط بین کنترل کننده های سایه انداز و کنترل کننده های روشنایی در ساختمان ضروری میباشد بویژه زمانی که به کمک استفاده از روشنایی الکتریکی بتوان تضاد نوری بین نورگیرها و سطوح کناری آنها کاهش داد. دیگری حالتی است که به دلیل استفاده از سایه اندازها، روشنایی داخلی ساختمان کاهش یافته واستفاده از روشنایی الکتریکی به منظور جبران چنین کاهشی اجتناب ناپذیر باشد. معمولاً حالت اول از مشکلات مربوط به خیرگی ناشی از نور آسمان و نه نور مستقیم خورشید نشأت میگیرد در حالیکه مورد دوم مربوط به ورود نور مستقیم خورشید به فضای داخلی می باشد.[۱۳]

نوع رفتار ساکنین:

اصولاً زمانی که قرار نیست از کنترل گرهای اتوماتیک برای کنترل سایه اندازها استفاده کنیم می بایستی بر حسب شرایط، نوع رفتار استفاده کنندگان فضا را پیش بینی نماییم. جهت پیش بینی رفتار ساکنین سه روش کلی به منظور ارزیابی نور روز در طول سال قابل بکارگیری میباشد. در روش اول برپایه مطالعات موردی بر روی نوع استفاده از سایه اندازهای متحرک بر حسب شرایط روشنایی طبیعی ساختمان ، الگوریتمی بدست آمده که به کمک آن

الگوریتم ، رفتار آینده ساکنینی قابل پیش بینی میباشد. جهت حصول چنین الگوریتمی میتوان از برنامه لایت سوئیچ (Light switch) بهره جست.
روش دوم و سوم، با تقسیم استفاده کنندگان به دو نوع فعال و غیر فعال ، بطور ساده تری رفتار ساکنین فضا پیش بینی میگردد. یک استفاده کننده غیر فعال کسی است که در تمام سال سایه اندازها را در حالت بسته نگه میدارد. در یک فضا که شامل استفاده کنندگان غیر فعال است همیشه درطول سال کلیه کرکره ها بسته بوده و یا پرده ها پایین کشیده شده اند. این در حالتی است که طبق تعریف، یک استفاده کننده فعال در آغاز هر روز و همچنین بعد از صرف نهار سایه اندازها را باز کرده (مثلا پرده ها را بالا کشیده و یا کرکره ها را باز کرده) و به محض ورود روشنایی مستقیم خورشید به فضا سایه اندازها را بسته و دیگر تا روز بعد و یا بعد از نهار آنها را باز نمی کند.[۱۹]

جزئیات پنجره ها و یا نورگیرهای سقفی:

اصولاً هنگام ارزیابی نور روز در شبیه سازهای کامپیوتری، میزان شفافیت نور مرئی مصالح شفاف (عموماً شیشه ها) در پنجره ها و نورگیرها بایستی بر پایه اندازه واقعی آنها انتخاب و مدل گردند. در این بین نباید ازکاهش شفافیت به دلیل وجود آلودگی های محیطی و یا نشستن گرد و غبار برمصالح شفاف در نورگیرها و پنجره ها غافل شد فلذا بایستی فاکتورهای کاهشی به دلیل حضور آلودگی و گرد و غبار نیز در محاسبات لحاظ گردند.
در مدل کردن پنجره ها در ساختمان، هیچگاه نبایست ضخامت دیوار حاوی پنجره را فراموش نمود زیرا که دیوارهایی با ضخامت ۳۰ سانتیمتر و یا بیشتر، به عنوان سایه بان عمل نموده و منجر به کاهش ورود نور روز و یا انعکاس نور به داخل ساختمان می شوند. در رابطه با مدل کردن قاب پنجره ها و یا نورگیرها، میتوان آنها را به صورتی که هستند مدل نموده و یا میزان درصد اشغال آنها از سطح کل پنجره را محاسبه کرده و آن را در میزان شفافیت شیشه ها تعمیم داد که نهایتا به شفافیت کمتری بر حسب ابعاد و اندازه قاب پنجره ها منجر خواهد شد. البته واضح و مبرهن است که راه حل اول بسیار دقیق تر ولی زمانبرتر می باشد.
هنگام ساخت مدل به منظور ارزیابی میزان روشنایی ساختمان در رابطه با سایه بانها و دیگر انواع موانع و یا منعکس کنندهای نور طبیعی ، بایستی درایجاد مدل سه بعدی ساختمان، دقت کافی مبذول داشته و مصالح متناسب و دقیقی نیز به آنها تخصیص داده شود.[۱۳]

دید و چشم انداز و تأثیرات آن بر ساکنین:

علاوه بر تأثیرات مستقیمی که وجود بازشوها در ساختمانها از طریق امکان ورود نور طبیعی به ساختمان و نیز ایجاد دید مستقیم به بیرون دارند، اهمیت تأثیرات غیر مستقیم آنها که شامل موارد ذیل میباشد نیز بسیار حائز اهمیت است و احساس آسایش، رضایتمندی و سلامتی برای ساکنین ساختمانها به ارمغان می آورد:

- ایجادآگاهی از وضعیت فعلی آب و هوا و زمان روز
- دوری از احساس یکنواختی و خستگی
- تغییر در تمرکز بصری (دید به چشم اندازهایی در دوردست)
- امکان استراحت چشم با نگاه به دوردست
- افزایش کارایی و کاهش خستگی و فشارهای عصبی ناشی از کار
- کاهش احساس خیرگی رنج آور (discomfort glare)
- ایجاد حس بودن در فضای بازتر و وسیعتر[۲۰]

در اینجا ذکر این نکته ضروری است که پنجره ها و یا بازشوهایی که تنها امکان دید به آسمان را می دهند از نظر ساکنین فضاها به اندازه آنهایی که امکان دید افقی به بیرون و چشم اندازهای اطراف را فراهم می سازند (امکان دید عوامل ثابت و متحرکی به مانند فضای سبز و عابرین پیاده و یا حتی سواره که در فاصله حداقل ۷,۵ متری از بازشوها قرار دارند(LEED v4)) از مقبولیت کافی برخوردار نمی باشند.[۲۱]

نور روز در فضای مسکونی:

همانگونه که قبلاً ذکر شد اهمیت نور روز در افزایش کیفیت و کارایی فضا، سلامتی روحی، روانی و جسمی ساکنین و نیز کاهش مصرف انرژی غیر قابل کتمان می باشد. هرچند که این اهمیت در فضای مسکونی و یا هرگونه ساختمانی که به نوعی برای سکونت در مدتی معین انتخاب می شوند (به مانند انواع پانسیون ها و خوابگاه های دانشجویی، زندانها، سرباز خانه ها و...) به این نکته بستگی دارد که از نظر سکونت چه نوع افرادی و در چه زمانهایی از این فضا استفاده می نمایند. برای مثال برای افراد شاغل در خانواده، نور روز در اوایل صبح و اواخر بعد از ظهر در روزهای کاری و تمام طول روز در تعطیلات آخر هفته مهم میباشد درحالیکه اهمیت آن برای خردسالان و یا سالمندان که اکثر اوقات خود را در فضای داخل خانه بسر می برند متفاوت بوده و شامل تمام مدت روز در طول هفته می باشد. در ادامه حداقل شرایط لازم برای یک فضای مسکونی جهت حصول نور طبیعی مناسب شرح داده شده است.

حداقل ملاحظات روشنایی مورد نیاز فضاهای مسکونی:

ملاحظات ذیل می بایست توسط طراحان و مهندسان معمار و روشنایی مورد توجه قرار گیرند.[۲۲]

- **جهت سلامتی ساکنین :**

برای برخورداری از روشنایی طبیعی مناسب در رابطه با سلامت روحی و جسمی ساکنین ساختمانها (به مانند کاهش مشکلات ناشی از افسردگی فصلی و یا تنظیم ساعت بیولوژیکی بدن که همان سیستم "سیرکادین" می باشد) موارد زیر باید مد نظر قرار گیرند:

- دریافت روشنایی طبیعی به میزان لازم در ساعات اولیه روز[۲۳] (دسترسی به روشنایی با شدت مناسب در اوایل صبح مهمترین تأثیر را بر سیستم سیرکادین بدن می گذارد)
- دسترسی به میزان مناسبی از شدت روشنایی نور روز[۲۳]
- مدت زمان دریافت روشنایی با شدت مناسب[۲۳]
- در معرض قرار گیری تاریکی مناسب درهنگام شب[۲۳]
- دسترسی به میزان مناسبی از طیف آبی رنگ نور و ماوراء بنفش[۲۳] که معمولا در نور طبیعی در فضای خارج به میزان کافی وجود داشته ولی در فضای داخل به دلیل ممانعت از ورود مقادیر قابل توجهی از آن توسط شیشه های مورد استفاده در پنجره ها، مقادیر آنها کمتر بوده و در انواع نورهای مصنوعی نیز مقدار بسیار اندکی از آنها موجود میباشد
- امکان دسترسی به چشم انداز بیرون (دید)[۲]

علاوه بر مواردفوق، زمانی که صحبت در خصوص ساختمانهایی است که ساکنین آن افرادی با ناتوانایی های جسمی، معلولیت، سن بالا و نظایر اینها میباشند که خروج از خانه در طول شبانه روز برایشان مقدور نبوده و یا امکان آن کمتر میباشد، بایست فضای زندگی را به گونه ای طراحی نمود که امکان دسترسی به شدت بالایی از روشنایی طبیعی که برای سلامتی انسان حیاتی است، در فضای داخلی فراهم گردد.

- **رفع نیازهای عملکردی فضا:**

از مهمترین کاربریهای عملکردی در فضای مسکونی، می توان به خواندن و نوشتن، کار با کامپیوتر، تهیه و پخت و پز غذا، انجام فعالیتهای آرایشی و بهداشتی و امثالهم اشاره نمود. علاوه بر اینها، برخی اوقات دسترسی به میزان مناسبی از روشنایی بنا به دلایل ایمنی مثلا در استفاده از پله ها بخصوص برای آن دسته از ساکنین که دارای مشکلات در دید می باشند، ضروری است.

بطور خلاصه شواهد بسیار قوی در رابطه با اهمیت نور روز در فضای مسکونی در راستای افزایش سلامتی روحی و روانی و شادابی ساکنین در دسترس می باشد.[۲] با توجه به نوع کاربری هر فضا (اتاق خواب، نشیمن، پذیرایی، آشپزخانه، انباری، دستشویی، توالت و غیره)، سن استفاده کنندگان از فضا (کمتر از ۲۵ سال، بین ۲۵ و ۶۵، و بزرگتر از ۶۵ سال) و همچنین نوع فعالیت در هر فضا (به عنوان مثال در اتاق خواب نور مورد نیاز برای تخت با روشنایی لازم برای میز مطالعه و یا میز توالت خانمها متفاوت می باشد) میزان نیاز به شدت نور کافی برای انجام فعالیت های مورد نظر متفاوت می باشد.

به علاوه ممکن است که ماهیت نیاز به روشنایی در هر عملکردی در فضا متفاوت بوده و بر حسب نوع نیاز، خواستار مقدار معینی از شدت روشنایی بر سطوح افقی و یا عمودی شود و یا میزان معینی از یکنواختی در نحوه پخش نور در فضای مورد نظر را درخواست نماید.[۲۴]

درجدول شماره ۱ نمونه ای از عناوین و فاکتورهای تعیین کننده مقادیر شدت روشنایی (لوکس) نشان داده شده است. شدت روشنایی افقی، عمودی و درجه یکنواختی پخش نور با توجه به سن استفاده کنندگان غالب در فضا بر اساس نوع فضا و عملکرد داخل آن فضا رده بندی شده است (طبق کتاب مرجع استاندارد نور جامعه مهندسان روشنایی (IES) ویرایش دهم[۲۴])

جدول شماره ۱:

Applications and Tasks[a]	Notes	Recommended Maintained Illuminance Targets (lux)[b,c,d] — Horizontal (E_h) Targets — Visual Ages of Observers (years) where at least half are <25	25-65	>65	Vertical (E_v) Targets — Visual Ages of Observers (years) where at least half are <25	25-65	>65	Uniformity Targets[e] — Over Area of Coverage — 1st ratio E_h/2nd ratio E_v if different uniformities apply Max:Avg	Avg:Min	Max:Min	Typical Area of Coverage[h] — Task Proper or Task Area	Room or Designated Area

در این مقاله، نور مورد نیاز در متداولترین فضاها و عملکردها به جز خواب بچه ها در یک ساختمان مسکونی برای سنین بین ۲۵ تا ۶۵ سال،و برای خواب بچه ها کمتر از ۲۵ سال در نظر گرفته شده و طبق جداول مندرج در کتاب مرجع IES[۲۴] به شرح زیر بر حسب لوکس تعیین گردیده است:

- خواب اصلی (خواب پدر و مادر): ۵۰[a] لوکس
- اتاق خواب بچه ها (اتاق مطالعه):۱۵۰[b] لوکس
- اتاق نشیمن و پذیرایی:۳۰[c] لوکس
- آشپزخانه:۳۰۰[d] لوکس
- راهرو:۳۰[e] لوکس

[a] Bedrooms, General (dressing), 25-65 age → 50 lux
[b] Reading and writing, 8 and 10-pt Font, 25-65 age → 300 lux
[c] Living room, 25-65 age → 30
[d] Kitchen, Cooktops & sinks, 25-65 age → 300 , for preparation counter → 500
[e] Circulation corridors, Independent Passageways, 25-65 age → 30

گرچه در اینجا به منظور ساده سازی محاسبات از میان مقادیر متفاوت برای عملکردها و سنین مختلف، تنها موارد بالا لحاظ گردیده ولی حتی با رعایت تمامی مسائل و پیشنهادات چنین استانداردهایی نمی توان به یک فضای ایده آل و مناسب از نظر روشنایی دست یافت. گرچه اعمال آن در بهترین حالت تنها شرط لازم برای رسیدن به نتیجه مطلوب بوده ولی کافی نیست. شرط کافی برای داشتن فضایی مناسب، تجربه طراح است که علاوه بر رفع نیازهای عملکردی فضا، در افزایش سلامت، شادابی و رضایتمندی ساکنان نیز تأثیر مستقیم دارد.

جانمایی فضاها در یک ساختمان مسکونی

پاره ای از ملاحظات مهم وابسته به روشنایی طبیعی در ارتباط با شکل و نوع بازشوها که در جانمایی انواع فضاها و عملکردهای مرتبط در یک فضای مسکونی اهمیت دارند، به شرح زیر میباشد:

۱- میزان مصرف انرژی

- میزان مصرف انرژی الکتریکی (به منظور جبران کمبود شدت روشنایی طبیعی مورد نیاز در یک قضا و یا جهت انجام یک فعالیت معین در داخل فضا)
- میزان مصرف انرژی برای گرمایش و سرمایش ساختمان (عموماً بار سرمایشی ساختمان توسط انرژی الکتریکی و بار گرمایشی ساختمان به کمک انرژی های فسیلی تأمین می گردد)

۲- کیفیت آسایش بصری (عموماً منظور از آسایش بصری در یک فضا ایجاد محیطی است که فارغ از مشکلات ناشی از خیرگی و یکنواختی خسته کننده باشد. در چنین فضایی جهت تشخیص حجم و لبه های عناصر و اجزاء تشکیل دهنده متعلق به محیط نیازمند به وجود حدی از کنتراست میباشیم)

۳- سلامت ساکنین (سلامت روحی، روانی و جسمی)

۴- کارایی ساکنین (این مقوله برای ساختمانهای تجاری، اداری و صنعتی از اهمیت بیشتری برخوردار است)

۵- دید و چشم انداز

هریک از گزینه های بالا در ارتباطی تنگاتنگ با دیگر عوامل بوده و به منظور دستیابی به نتایج بهتر می بایست کلیه این ملاحظات به طور همزمان مد نظر قرار گیرند. البته در اینجا ذکر این نکته ضروری است که در رابطه با امکان سنجش سلامت ساکنین و نیز میزان کارایی آنها هنوز اجماعی از جانب محققین و صاحبنظران در خصوص روش مطالعه و ارزیابی میزان تأثیرات فضا در زمان طراحی و پیش از ساخت صورت نگرفته است. در رابطه با دید هم گرچه به عنوان مثال در استاندارد محیط زیستی لید (LEED) روشی برای ارزیابی کمی آن معرفی شده ولی تاکنون در خصوص بکارگیری چنان روشی و حتی روشهای مشابه (به منظور ارزیابی کیفیت دید) توافقی صورت نپذیرفته است.

اگر خیرگی رابه عنوان مهمترین عامل در ایجاد عدم آسایش بصری در محیط بپذیریم میتوان اذعان نمود که امکان تغییر جهت دید و یا حتی جابجایی مکان استقرار استفاده کنندگان و ساکنین فضا در ساختمانهای مسکونی بسیار ساده تر و راحت تر از ساختمانهای اداری، تجاری و یا حتی صنعتی می باشد.البته در هنگام طراحی بازشوها باستی خیرگی و مشکلات ناشی از آن به طور دقیق مد نظر قرار گیرد.

می توان گفت که آسایش دمایی و جلوگیری از افزایش و یا کاهش بیش از حد دما در ساختمانهای مسکونی مهمتر از خیرگی بوده چرا که در برخی فضاها مانند راهروها، خیرگی عامل مزاحم محسوب نشده و در برخی دیگر بمانند اتاق نشیمن و پذیرایی به راحتی با تغییر جهت دید و مکان نشستن رفع پذیر میباشد (گرچه برخورد با این موضوع همیشه به این سادگی نیست). در برخی موارد مانند زمانی که انعکاس نور مستقیم خورشید بر صفحه تلویزیون مشکلاتی را برای تماشای آن ایجاد می نماید، استفاده از پرده، کرکره و دیگر انواع سایه اندازها منطقی ترین گزینه محسوب میگردد. ورود بیش از اندازه نور مستقیم خورشید به معنای ورود گرما به ساختمان میباشد. این امر در

فصول گرم سال مشکلات زیادی در رابطه با آسایش دمایی ساکنین ایجاد نموده و منجر به افزایش بار سرمایشی ساختمان و مصرف بیشتر انرژی الکتریکی در ساختمان خواهد شد. در نتیجه تا حد امکان بایستی از ورود نور مستقیم خورشید به داخل ساختمان در فصول گرم ممانعت به عمل آورد. این درحالی است که در فصول سرد ورود نور مستقیم خورشید، مطلوب و مجاز بوده و باعث کاهش مصرف انرژی فسیلی در ساختمان خواهد شد.
در جدول شماره دو، درجه اهمیت فضاها (جهت متداولترین انواع فضاها در یک ساختمان مسکونی) در رابطه با هریک از ملاحظات مربوط به روشنایی طبیعی، وزن دهی شده و نیز شدت روشنایی مورد نیاز جهت هر فضا طبق استاندارد روشنایی IES در سه رده سنی مختلف طبقه بندی شده است.

جدول شماره ۲: جدول وزن دهی(با لحاظ درجه اهمیت ملاحظات طراحی در هر یک از فضاهای نمونه در یک ساختمان مسکونی)

	خواب اصلی	خواب بچه ها	اتاق کار	آشپزخانه (خانم شاغل)	آشپزخانه (خانم خانه دار)	نشیمن	پذیرایی	راهرو
مصرف انرژی (روشنایی)[f]	+	++	++	+	++	++	+	+
مصرف انرژی (گرمایش و سرمایش)[g]	++	++	++	++	++	++	++	++
خیرگی[h]	–	++	++	+	++	+	+	–
سلامتی[i]	+	++	++	+	++	++	–	–
کارایی[j]	–	+	++	+	++	–	–	–
دید[k]	+	++	++	+	++	++	–	–
وضوح دید[l]	+	++	++	++	++	+	+	++
شدت روشنایی مورد نیاز:								
کمتر از ۲۵ سال	۲۵	۲۵/۱۵۰	۱۵۰	۲۵/۱۵۰	۲۵/۱۵۰	۱۵	۱۵	۱۵
بین ۲۵ تا ۶۵ سال	۵۰	۵۰/۳۰۰	۳۰۰	۵۰/۳۰۰	۵۰/۳۰۰	۳۰	۳۰	۳۰
بیشتر از ۶۵ سال	۱۰۰	۱۰۰/۶۰۰	۶۰۰	۱۰۰/۶۰۰	۱۰۰/۶۰۰	۶۰	۶۰	۶۰

ضوابط نور روز در مقررات و قوانین موجود

[f] در اینجا منظور از مصرف انرژی، مقدار انرژی الکتریکی است که برای جبران کمبود شدت روشنایی مصرف می شود. در اینجا توجه اصلی بر پایه *شدت روشنایی طبیعی* می باشد.
[g] در اینجا منظور از مصرف انرژی، مقدار انرژی الکتریکی و فسیلی است که برای تأمین آسایش دمایی ساکنین مصرف می گردد. در اینجا توجه اصلی بر پایه *شدت انرژی دریافتی* (wh/m^2) می باشد.
[h] در اینجا بعد از تعیین جهت های دید غالب برای محل های از فضا که احتمال بروز مشکلات ناشی از خیرگی در آنها زیاد است اقدام به ارزیابی خیرگی در طول مدت زمان مورد استفاده در فضا می نماییم. واحد ارزیابی خیرگی برای فضاهای روشن به کمک نور روز DGP (Daylight Glare Probability) می باشد که بر پایه آنالیز شدت درخشندگی روشنایی دریافتی توسط چشم و نیز کنتراست درخشندگی محیط کمیت اندازه خیرگی را محابسه می نماید.
[i] در اینجا در زمینه سلامت جسمی ساکنین تأکید بر میزان شدت روشنایی طبیعی مورد نیاز برای سیستم سیرکادین که تأثیر مستقیم بر نحوه ، کیفیت و ساعات خواب و بیداری ساکنین دارد می باشد.
[j] هرچند که نمی توان کارایی را اندازه گیری نمود ولی می توان ارتباطی غیر خطی بین آن و کمیت و کیفیت دسترسی به روشنایی روز و دید به بیرون ایجاد نمود.
[k] همانطورکه که پیشتر توضیح داده شد، دید به بیرون تأثیر مستقیم و یا غیر مستقیم بر سلامت روحی، جسمی و روانی ساکنین دارد.
[l] در اینجا منظور از وضوح دید، وجود میزان مناسبی از کنتراست نوری مورد نیاز برای درک درستی حجم و لبه های اشیاء در محیط است که واحد اندازه گیری آن directivity می باشد.
(Cuttle C. Lighting by Design. Oxford: Architectural Press, 2003.)

"به منظور اطمینان از ایمنی، بهداشت، بهره دهی مناسب، آسایش و صرفه اقتصادی، و تأمین نیازهای حداقل ساکنان و استفاده کنندگان از ابنیه و ساختمان های مشمول قانون نظام مهندسی و کنترل ساختمان" رعایت مقررات مربوط به "تعیین محدودیت ها، ابعاد حداقل فضاها، نورگیری، تهویه مناسب، و سایر الزامات عمومی" مندرج در مبحث چهارم مقررات ملی ساختمان در "طراحی، محاسبه، نظارت، اجرا، بهره برداری، تعمیر و نگهداری بناها توسط کلیه مراجع ذکر شده در ماده ۳۴ قانون نظام مهندسی و کنترل ساختمان در سراسر کشور الزامی است" همچنین "شهرداری ها و سایر مراجع صدور پروانه ساختمان موظف به نظارت بر اجرای این مقررات می باشد."[۲۵]

در این مقررات (۴-۴-۱-۱) اینگونه آمده است "هر فضای اقامت یا هر فضای دیگری که الزاماً به نور طبیعی نیاز دارد، باید حداقل دارای یک یا چند در و پنجره شیشه ای باشد که به طور مستقیم رو به خیابان و معبر عمومی یا حیاط (در انطباق با ضوابط شهرسازی) باز شود."[۲۵]

در بخش "الزامات فضاهای باز" (۴-۲-۵) به منظور اطمینان از دسترسی فضاهایی که در ارتباط مستقیم با بیرون ساختمان نبوده و تنها از طریق حیاط خلوت و یا حیاط محصور (پاسیو) به روشنایی طبیعی دسترسی دارند تنها این مساحت زمین است که بر شکل و اندازه حیاط خلوت و یا پاسیو تأثیر گذاشته و از دیگر عوامل و پارمترهای مؤثر بر میزان دسترسی به روشنایی طبیعی در فضاهای داخلی صرف نظر شده است.

به علاوه در رابطه با فضاهایی که مستقیماً با بیرون در ارتباط می باشند در بخش "تأمین نور طبیعی" حداقل سطح شیشه الزامی برای یک اتاق بر اساس مساحت اتاق و نیز فاصله دیوار بیرونی تا دیوار مقابل محاسبه می گردد. در اینجا نیز خبری از دیگر پارامترهای تأثیر گذار بر کمیت و کیفیت نور روز در ساختمان به مانند ضریب انعکاس مصالح بکار رفته در اتاق، درصد عبور نور مرئی در شیشه های پنجره ها، نوع و کیفیت سایه اندازها و غیره نمی باشد.

به علاوه در هیچ یک از بندهای این مقررات هیچ صحبتی از دید به عنوان فرصت و مزیت و نیز از خیرگی به عنوان عاملی تهدید کننده در رابطه با کمیت و کیفیت فضای داخلی مطرح نشده است.

مطالعه موردی

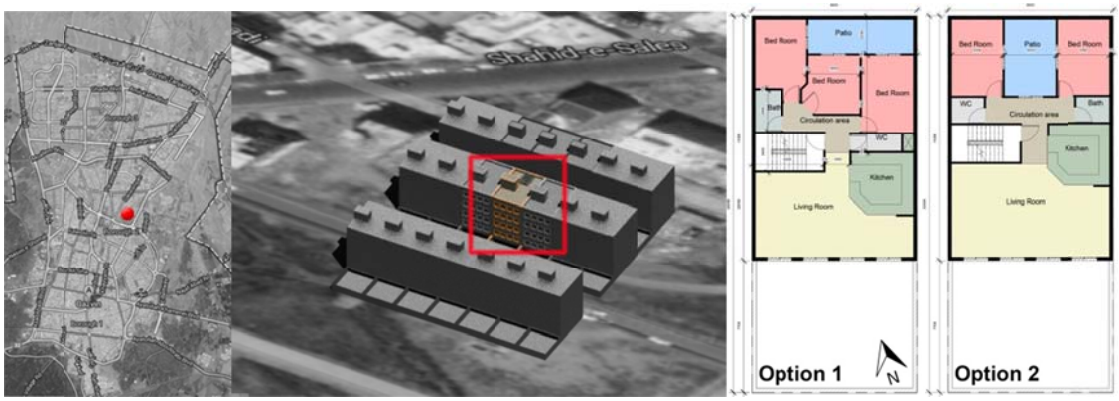
از آنجائیکه که حدوداً کمتر از نیمی از ساختمانهای مسکونی موجود از نوع شمالی میباشد و مشکلات مربوط به کمبود دسترسی به نور طبیعی و دید به بیرون در ساختمانهای شمالی که از سه طرف محصور به همسایگی ها هستند، بیشتر از دیگر انواع ساختمانها بوده در این مقاله سعی شده است با بررسی نمونه موردی در راستای شناسایی مشکلات روشنایی مربوط به ساختمانهای شمالی و ارائه راهکار مناسب گام برداشته شود.

با نظر به اینکه هدف از این مقاله ارزیابی و اعتبارسنجی قوانین موجود در طراحی ساختمانها میباشد، جهت ارزیابی در زمین مورد نظر، دوآلترناتیو در رابطه با شکل، اندازه و نحوه جانمایی پاسیو در ساختمان تعیین شده و برای هر یک، چهار گزینه متفاوت در رابطه با مصالح پیرامونی، تخصیص داده شده است. در کلیه موارد مذکور، قوانین و ضوابط موجود در رابطه با ساخت و ساز مسکن بخصوص مبحث چهار از مقررات ملی ساختمان، رعایت گردیده است.

مکان ساختمان:

در این مطالعه، ساختمان مورد نظر در یکی از محلات شهر قزوین قرار دارد. ساختمان از نوع شمالی بوده و جهت گیری اصلی آن به سمت جنوب با تمایل ۱۸ درجه ای به سمت غرب می باشد.

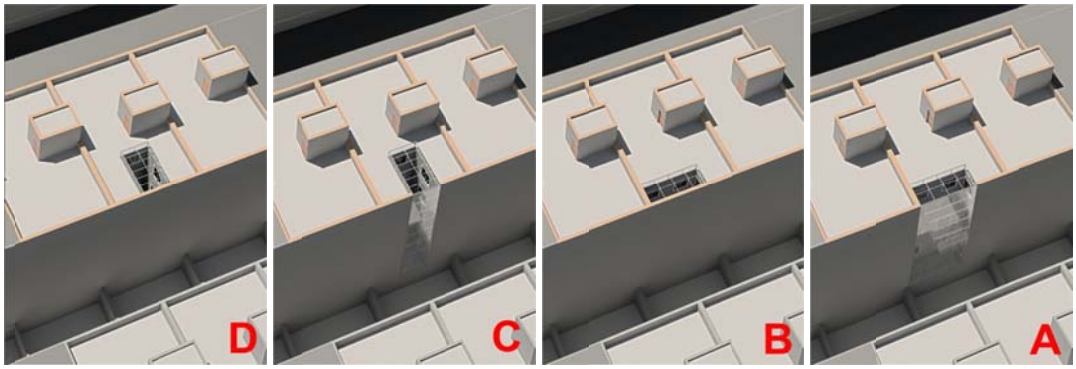
گرچه ساختمان مورد مطالعه در شهر قزوین واقع شده است ولی از آنجائیکه قوانین مربوط به ساخت و ساز در اقصی نقاط ایران مشابهت های زیادی با یکدیگر دارند به راحتی می توان نتایج و یافته های این مطالعه را با کمی تغییرات و ملاحظات به دیگر مناطق کشور نیز تعمیم داد.



شکل ۱: پلان طبقات نوع یک (تصویر سمت راست)، پلان طبقات نوع دو (تصویر میانی-راست)، تصویر سه بعدی از ساختمان مورد نظر و ساختمانهای اطراف (تصویر میانی-چپ)، محل قرارگیری ساختمان در شهر قزوین (تصویر چپ)

آلترناتیو های تعیین شده جهت ساختمان مورد مطالعه:

ساختمان مورد مطالعه از نوع آپارتمان چهار طبقه مسکونی شمالی است که کل زیربناو زیربنای مقید، ونیز نوع مصالح داخلی و ارتفاع طبقات در هر دو آلترناتیو یکسان می باشد.



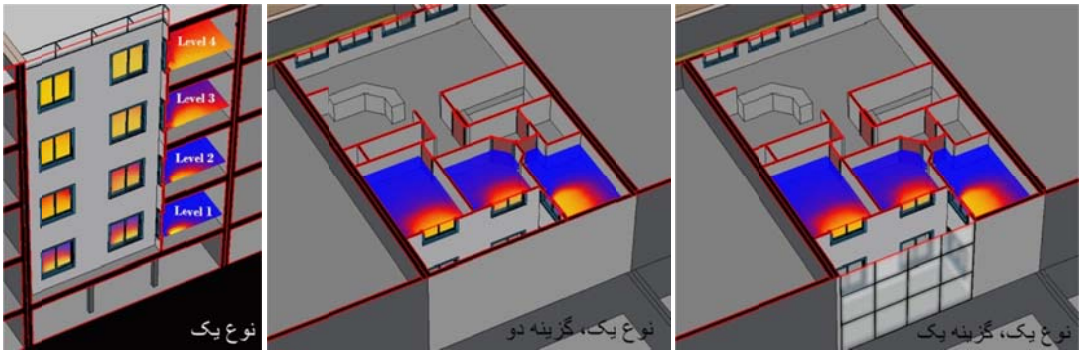
شکل ۲: تصویر A، نوع ۱،گزینه ۱ (استفاده از شیشه مات برای جدار بیرونی پاسیو)
تصویر B، نوع ۱،گزینه ۲ (استفاده دیوار برای جدار بیرونی پاسیو)
تصویر C، نوع ۲،گزینه ۱ (استفاده از شیشه مات برای جدار بیرونی پاسیو)
تصویر D، نوع ۲،گزینه ۲ (استفاده از دیوار برای جدار بیرونی پاسیو)

واحدهای ارزیابی نور روز مورد استفاده در این مقاله:

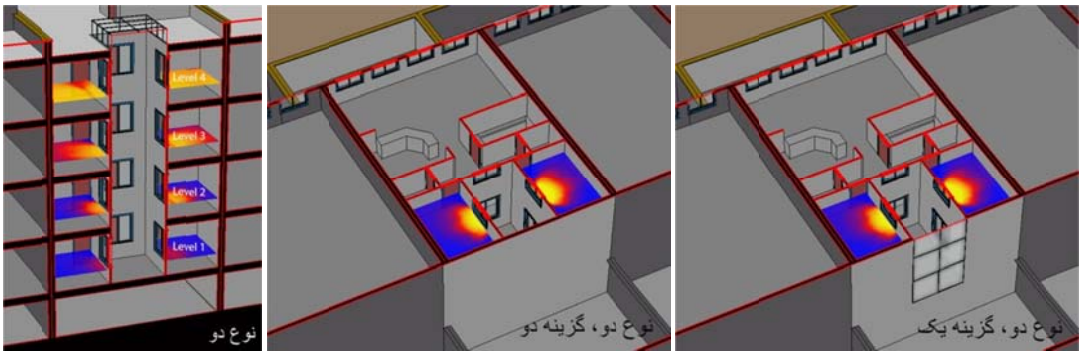
در این مقاله در انجام محاسبات از فاکتور نور روز (DF) که تنها برای هوای کاملاً ابری از اعتبار برخوردار بوده، بهره گرفته نشده است زیراکه این واحد تغییرات مداوم در آب و هوا را که هوای آفتابی و نیمه آفتابی از مهمترین آنها می باشد مد نظر قرار نداده و نیز در فاکتور نور روز از جهت گیری ساختمان صرفنظر شده است.

واحد ارزیابی نور روز بکار گرفته شده در این مقاله اتونومی نور روز میباشد چراکه اتونومی نور روز، کلیه انواع شرایط آب و هوایی را در محاسبات مد نظر قرار داده و می توان تمامی محاسبات آن را به زمان مورد استفاده فضا مشروط نمود. از آنجائیکه اتاقهای مورد بررسی در قسمت شمالی ساختمان قرار دارند فلذا احتمال ورود نور مستقیم خورشید در آنها بسیار کم بوده و نیز احتمال ورود نور بیش از اندازه به داخل فضا بسیار پایین می باشد.

در این مطالعه قرار است تنها تأثیرات شکل، و اندازه پاسیو (به عنوان تنها عامل ورود نـور طبیعـی) و همچنـین نـوع مصالح بکار رفته در آن بر اتاقهای شمالی ساختمان مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور تنها اتاقهای خـواب کـه در هر دو نوع پلانهای مورد مطالعه در قسمت شمال ساختمان قرار گرفته اند مورد مطالعه و بررسی قرار خواهد گرفت.
از آنجائیکه اصولاً اتاق خواب بچه ها، اتاق مطالعه، بازی و کار آنها نیز میباشد و نیز با توجه به سن استفاده کننـدگان این اتاقها که عموماً کمتر از ۲۵ سال است، با عنایت به جدول شماره ۲، ۱۵۰ لوکس به عنوان یکـی از مقـادیر مـورد استفاده در ارزیابی های اتونومی نور روز تعیین شده است. برای اتاق خواب پدر و مادر بـه دلیـل اینکـه در طـول روز مورد استفاده زیادی نبوده و کمتر می توان برای آن عملکرد مطالعاتی-کاری تصور نمود، تنها میزان ۵۰ لوکس جهت انجام مطالعات اتونومی نور روز تخصیص داده شده است.
لازم به ذکر است که تنها اتاق های خواب متصل به پاسیو در کلیه طبقات جهت انجام ارزیـابی هـا انتخـاب شـده و برای هر یک از انواع و گزینه های طراحی مذکور، اتونومی نور روز ۵۰ لوکس و ۱۵۰ لوکس جهت سـاعات بـین ۶:۳۰ صبح تا ۶:۳۰ بعد از ظهر بر روی سطح مطالعه فرضی که ۸۰ سانتیمتر بالاتر از کف اتاق قرار دارد،مورد بررسـی قـرار گرفته است.



شکل ۳: در این شکل سطح مطالعه فرضی برای اتاقهای خواب اصلی و بچه ها در پلان و مقطع ساختمان نوع یک جهت هر دو گزینه (یک و دو) نشان داده شده است.



شکل ۴: دراین شکل سطح مطالعه فرضی برای اتاقهای خواب اصلی و بچه ها در پلان و مقطع ساختمان نوع دو جهت هر دو گزینـه (یـک و دو) نشان داده شده است.

نرم افزارهای مورد استفاده برای مدل کردن و آنالیز نور روز:

در این مقاله، مدل سه بعدی برای هر دو آلترناتیو در نرم افزار Revit ساخته شده سپس در Ecotect آماده سـازی و نهایتاً محاسبات مربوطه توسط نرم افزار Daysim انجام گردیده است.

از آنجائیکه در حال حاضر فایل اطلاعات آب و هوایی شهر قزوین در دسترس نمیباشد، از فایل مربوط به شهر تهـران که در فاصله ۱۲۰ کیلومتری قزوین قرار دارد و دارای آب و هوایی تقریباً مشابه با شهر قزوین است، استفاده گردیـده است.

پارامترهای مورد استفاده در انجام محاسبات

مقادیر و مهمترین پارامترهای استفاده شده در انجام محاسبات توسط نرم افزار Dasyim به شرح زیر می باشند:

جدول ۳: مقادیر مورد استفاده برای پارمترهای نرم افزار Dasyim

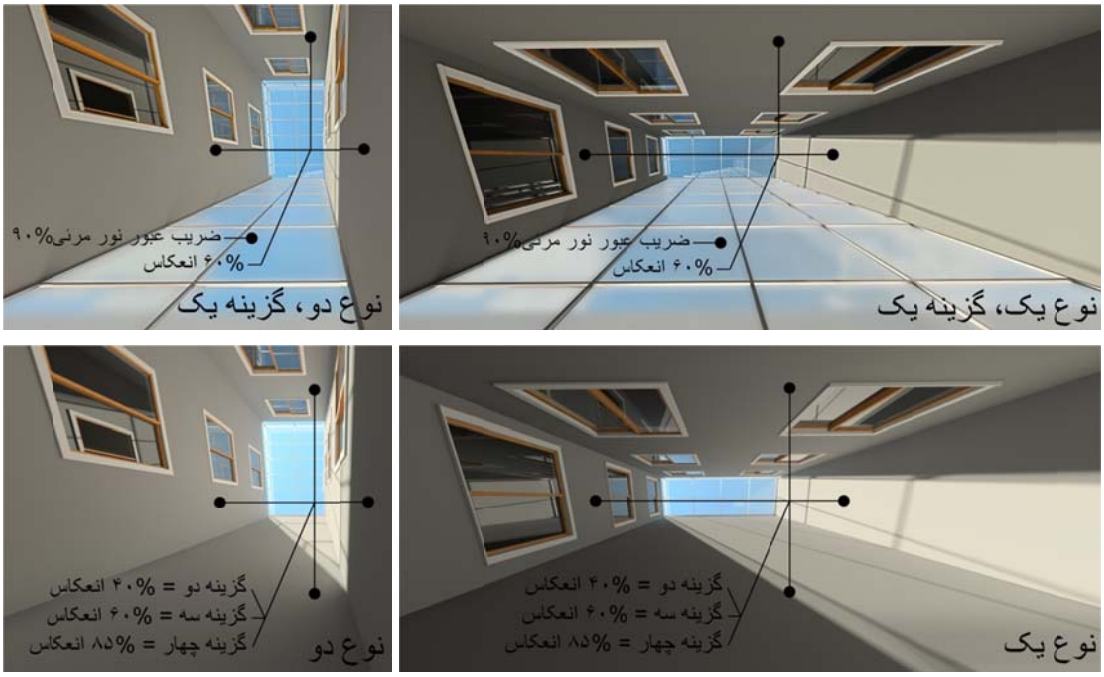
Ambienb Bounces	Ambiend Division	Ambient sampling	Ambient accuracy	Ambient resolution	Direct threshold
8	1500	100	0.1	300	0

در مورد ضریب انعکاس مصالح دیوارهای داخلی، کف و سقف اتاقها به ترتیب مقادیر ٪۶۰، ٪۳۰ و ٪۸۰ و نیز در رابطه با ضریب عبور نور مرئی برای شیشه پنجره های اتاقهای خواب، مقدار ٪۸۰ بکار گرفته شده است.

انواع گزینه ها در پاسیوها:

گزینه های مربوط به هر پاسیو برای هر یک از دو نوع جانمایی به قرار زیر می باشند:

- گزینه یک: جدار بیرونی پاسیو ازیک لایه شیشه نیمه شفاف با میزان ٪۹۰ عبور نور مرئی تشکیل یافته است در حالیکه بقیه دیوار های احاطه کننده آن از مصالحی با ضریب انعکاس نوری ٪۶۰ ساخته شده اند.
- گزینه دو: جدار بیرونی و نیز دیوارهای داخلی پاسیو از مصالحی با ضریب انعکاس نوری ٪۴۰ تشکیل یافته اند.
- گزینه سه: جدار بیرونی و نیز دیوارهای داخلی پاسیو از مصالحی با ضریب انعکاس نوری ٪۶۰ تشکیل یافته اند.
- گزینه چهار: جدار بیرونی و همچنین دیوار های داخلی پاسیو از مصالحی با ضریب انعکاس نـوری ٪۸۵ سـاخته شده اند.

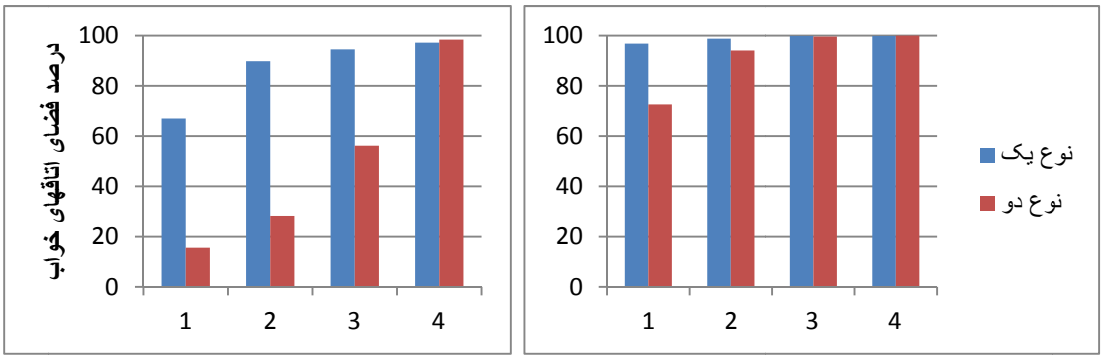


شکل ۵: گزینه های مختلف برای هر دو نوع پاسیو بر اساس نحوه پوشش و ضریب انعکاس جداره های تشکیل دهنده پاسیو.

نتایج:

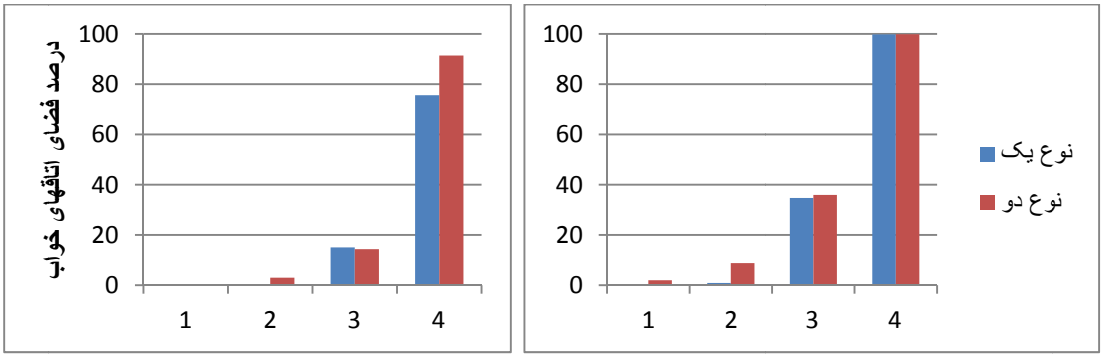
در این مطالعه علاوه بر اینکه دو نوع مدل مختلف جانمایی فضا برای ساختمان مورد نظر طراحی گردیده، برای هر یک از این دو نوع نیز ۴ گزینه متفاوت برای جدار خارجی پاسیو در نظر گرفته شده است. در اینجا نتایج بر اساس اتونومی نور روز ۵۰ لوکس، ۵۰٪ ($DA_{50/50\%}$) و اتونومی نور روز ۱۵۰ لوکس، ۵۰٪ ($DA_{150/50\%}$) بر روی سطح مطالعه فرضی که ۸۰ سانتیمتر بالاتر از کف اتاق می باشد، محاسبه شده است. نمودارهای زیر میزان درصدی از فضای اتاقهای خواب مورد مطالعه که از دسترسی به حداقل میزان ۵۰ لوکس (برای $DA_{50/50\%}$) و یا ۱۵۰ لوکس (برای $DA_{150/50\%}$) نور طبیعی در بیش از نیمی از سال بین ساعات ۶:۳۰ صبح تا ۶:۳۰ بعداز ظهر (یعنی بیشتر از ۲۱۹۰ ساعت در سال) برخوردار می باشند را برای هر یک از دو نوع جانمایی بر حسب گزینه های مختلف، نمایش می دهند. نتایج به قرار زیر می باشند:

نمودارهای ۸-۱: نتایج اتونومی نور روز در هر طبقه برای گزینه های مختلف در هر دو نوع (یک و دو)



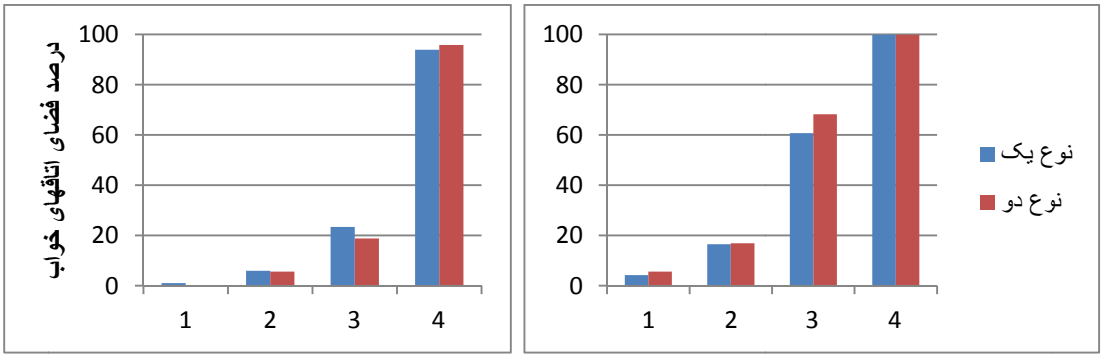
نمودار ۱: گزینه یک، $DA_{50/50\%}$

نمودار۲ : گزینه یک، $DA_{150/50\%}$



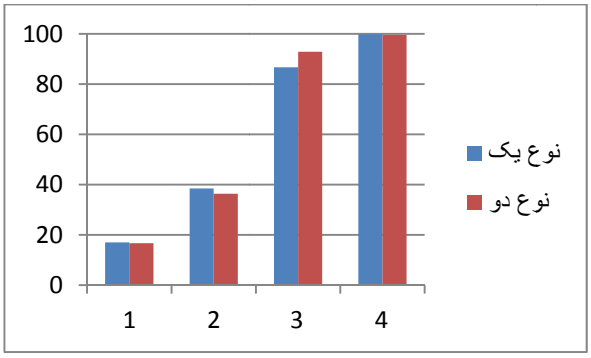
نمودار ۱: گزینه دو، $DA_{50/50\%}$

نمودار۲ : گزینه دو، $DA_{150/50\%}$

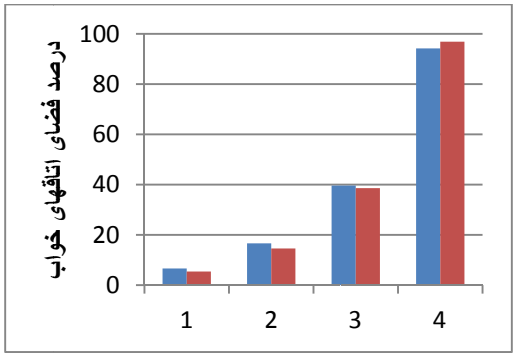


نمودار ۵: گزینه سه، $DA_{50/50\%}$

نمودار ۶: گزینه سه، $DA_{150/50\%}$



نمودار ۷: گزینه چهار، $DA_{50/50\%}$



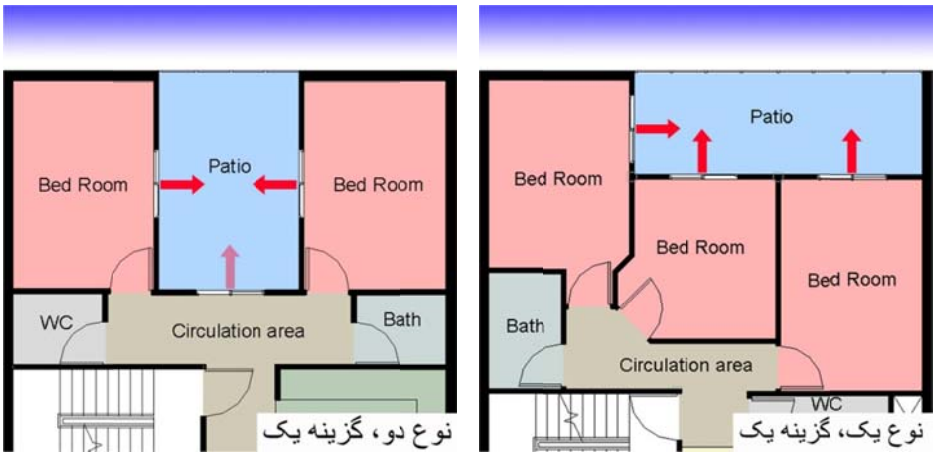
نمودار ۸: گزینه چهار، $DA_{150/50\%}$

جمع بندی و بحث:

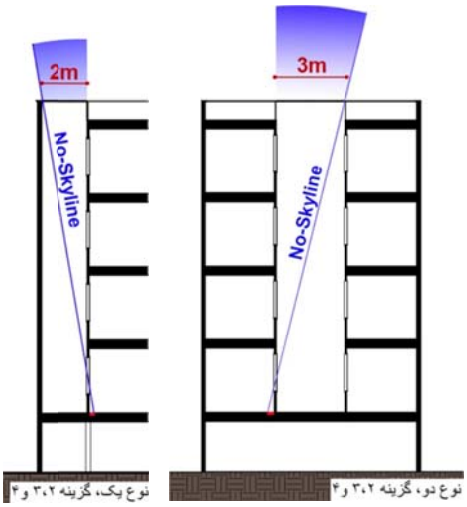
با توجه به نتایج حاصله از محاسبه اتونومی نور روز برای هر یک از حالتهای بالا می توان به نتایج زیر دست یافت:

مقایسه نوع یک و نوع دو:

با مقایسه نتایج بدست آمده برای گزینه یک (استفاده از شیشه مات برای جدار بیرونی پاسیو) می توان چنین نتیجه گرفت که جانمایی فضا در نوع یک برای اتاقهای خواب از عملکرد بهتری نسبت به نوع دو برخوردار می باشد. گرچه برای $DA_{50/50\%}$ این تفاوت کمتر بوده ولی برای $DA_{150/50\%}$ (به غیر از طبقه آخر) در بقیه طبقات این اختلاف بسیار بیشتر می باشد. مهمترین دلیل حصول چنین نتایجی اینست که جهت اصلی دو پنجره از سه پنجره اتاقهای خواب در نوع یک به سمت جدار بیرونی پاسیو بوده که پوشیده از شیشه های مات می باشد. بنابراین امکان ورود نور طبیعی بیشتری را به داخل فضای خواب فراهم می آورد درحالیکه در نوع دو، پنجره های اتاقهای خواب در روبروی هم قرار گرفته و به همین دلیل نور طبیعی کمتری وارد اتاقها می گردد.



شکل ۶: جهت گیری اصلی پنجره های اتاقهای خواب به سمت دیوار داخلی و یا جدار خارجی پوشیده شده با شیشه مات برای هر دو نوع جانمایی از فضاها



شکل ۷: استفاده از روش No-Skyline به منظور نشان دادن اینکه چه میزان از کف اتاق در طبقه اول امکان دید مستقیم آسمان را دارد.

و اما برای مواردی که، دیوار از هر چهار طرف، پاسیو را احاطه نموده می توان چنین نتیجه گیری نمود که جانمایی فضاها در نوع دو کمی بهتر از توع یک است چرا که شکل پاسیو در نوع یک کشیده تر و مستطیل شکل تر بوده درحالیکه در نوع دو شکل آن به مربع نزدیکتر است فلذا در حالت مربع شکل درصد بیشتری از آسمان بخصوص در طبقات پایین از طریق پنجره داخل اتاق قابل مشاهده میباشد. اگرچه در طبقات بالا (طبقات ۳ و ۴) عملکرد هر دو حالت تقریباً مشابه است ولی برای طبقات پایینتر نوع دو برای هر سه گزینه ۲، ۳ و ۴ مؤثرتر است. از آنجائیکه مثلاً برای $DA_{50/50\%}$ در گزینه دو تفاوت میان نوع یک و دو در طبقه اول تنها دو درصد میباشد (از صفر به ۲٪ رسیده است) و برای طبقه دو از ۱٪ به ۹٪ رسیده است می توان گفت با اینکه نوع دو بهتر بوده ولی عملاً نمی توان آن را عملکردی قابل قبول نامید. بنابراین در هر دو حالت وقتی دیوار، چهار طرف پاسیو را احاطه نماید با افزایش ضریب انعکاس مصالح دیوار در عمل امکان ورود نور طبیعی مناسب و قابل قبولی به داخل اتاق های طبقات پایین فراهم نیامده و اکثر زمانها در طول سال در این فضاها ناگزیر به استفاده از نور مصنوعی می باشیم.

در ادامه با توجه به محاسبات انجام شده، نحوه تغییر میزان دسترسی به نور طبیعی از یک طبقه به طبقه دیگر برای کلیه گزینه ها، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. از آنجائیکه نتایج بدست آمده برای نوع اول را می توان با کمی اختلاف به حالت دوم نیز تعمیم داد در اینجا تنها نتایج حالت نوع اول را مورد ارزیابی قرار میدهیم.

مقایسه بین طبقات برای نوع یک:

همانگونه که در نمودارهای ۸-۱ مشاهده می نمایید، تفاوت بین میزان دسترسی به نور طبیعی میان طبقات خطی نبوده و تغییرات آن از یک طبقه به طبقه دیگر متفاوت است. همچنین این تغییرات برای $DA_{50/50\%}$ و $DA_{150/50\%}$ نیز یکسان نبوده و متغیر می باشد.

در بین گزینه های ۲، ۳ و ۴ (یعنی آنهایی که دیوار چهار طرف پاسیو را فراگرفته است) همانگونه که از ابتدا هم می شد حدس زد گزینه ۲ با ۴۰٪ ضریب انعکاس برای دیوار، بدترین گزینه محسوب شده و تفاوت مقادیر بدست آمده برای هر گزینه در طیقات مختلف تفاوت فاحشی دارد.

در طبقه آخر (طبقه چهار) تقریباً در کلیه زمانها (بین ۶:۳۰ صبح تا ۶:۳۰ بعد از ظهر) در طول سال، تمامی فضا از حداقل نور طبیعی ۵۰ لوکس بهره مند می باشد. همچنین در این طبقه تفاوت میان سه گزینه ۲، ۳ و ۴ برای $DA_{150/50\%}$ بین ۸۰ درصد برای گزینه ۴ (به عنوان بهترین نمونه) و ۷۶ درصد برای گزینه ۲ (به عنوان بدترین نمونه برای زمانی که دیوار چهار طرف پاسیو را فراگرفته) در نوسان بوده که می توان از این تفاوت اندک در عمل چشم پوشی نمود. بنابراین می توان نتیجه گرفت که میزان دسترسی به نور طبیعی در بالاترین طبقه تقریبا مستقل از ضریب انعکاس مصالح دیوار پاسیو است. این درحالیست که گزینه ۱ با حدود ۹۷٪ درصد (حدوداً ۱۷ درصد بهتر از گزینه ۴) نشان دهنده این است که با تغییر مصالح جدار خارجی از یک عامل صلب (دیوار) به عاملی شفاف (شیشه مات) به چه میزان می توان در بهبود کیفیت دسترسی به نور طبیعی(حتی برای طبقه آخر) گام برداشت .

برای $DA_{50/50\%}$ به غیر از گزینه یک که تفاوت ارقام آن میان طبقه اول و آخر تنها ۳ درصد بوده، در بقیه موارد تفاوت چشمگیری دیده میشود. بیشترین تفاوت مربوط به گزینه ۲ میباشد (دیوار با ٪۴۰ ضریب انعکاس) که از حدود ٪۹۹ درصد در طبقه چهار به صفر درصد در طبقه اول تقلیل یافته است . در حالتیکه چهار طرف پاسیو با دیوار پوشانیده شده است اگر دیوار از ضریب انعکاس بالایی برخوردار باشد (گزینه ۴) تفاوت میان طبقات کاهش می یابد(از حدود ٪۹۹ به ٪۱۷میرسد). این بدین معنی است که در طبقه اول (در حالتیکه دیوارهای پاسیو از ضریب انعکاس حدود ٪۸۵ برخوردار بوده) تنها در٪۱۷ از طول زمان مورد نظر (۶:۳۰ صبح تا ۶:۳۰ بعد از ظهر در طول سال) اتاقهای خواب دسترسی به حداقل ۵۰ لوکس نور طبیعی دارند.

و اما برای $DA_{150/50\%}$ به مانند بالا بدترین گزینه، گزینه ۲ است زیرا که میزان دسترسی اتاقهای خواب آن به ۱۵۰ لوکس نور طبیعی در طول سال در طبقه آخر ٪۷۶ بوده درحالیکه در طبقه اول این رقم صفر می باشد. در اینجا بهترین گزینه، گزینه شماره یک خواهد بود که تفاوت میان بالاترین و پایین ترین طبقه در آن از ٪۹۷ به ٪۶۷ درصد کاهش یافته که عدد قابل قبولی می باشد. به غیر از گزینه اول، گزینه ۴ با دیواری با حدود ٪۸۵ ضریب انعکاس بهترین گزینه است ولی در این حالت هنوز هم تفاوت بین طبقات بسیار زیاد بوده و تغییرات آن از حدود ٪۸۰ در بالاترین طبقه به تنها ٪۷ در پایین ترین طبقه منتهی شده است.

نتیجه گیری:

براساس محاسبات انجام شده بر روی موارد مورد بررسی در این مقاله می توان گفت که برای رسیدن به یک نتیجه دلخواه و قابل قبول در تمام طبقات برای اتاق های واقع در بخش شمالی ساختمان که تنها از طریق پاسیو به روشنایی طبیعی دسترسی داشته، نیاز به استفاده از مصالح شفاف برای جدار خارجی پاسیو میباشد، اگر امکان استفاده از مصالح شفاف وجود نداشته باشد حتی الامکان می بایست حداکثر تعداد طبقات را به عدد ۳ کاهش داد. در خصوص نوع مصالح مورد استفاده در دیوارهای پاسیو، آنهایی که از ضریب انعکاس بالایی برخوردارند ارجح تر میباشند. بایستی سعی نمود که پاسیو بیشتر مربع شکل باشد تا مستطیل شکل.

باید اذعان نمود که جهت حصول به نتایج جامعتر، بررسی و ارزیابی دیگر موارد نیز ضروری میباشد. انجام مطالعات مذکور نیازمند بکارگیری تخصص های مختلف در زمینه صنعت ساختمان بوده و بایستی به صورت هماهنگ و هم همزمان انجام پذیرد. حصول چنین نتایجی آسان نبوده و زمانبر میباشد. از جمله آنها می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- علاوه بر شکل، اندازه و مصالح تشکلیل دهنده پاسیو که در این مقاله به آنها پرداخته گردید می بایستی دیگر پارامترهای مؤثر بر ارزیابی روشنایی طبیعی که بر میزان دسترسی به نور روز در ساختمان مؤثر بوده و در قسمتهای قبل توضیح داده شده نیز مورد بررسی قرار گیرند
- همچنین در ارزیابی و تحلیل یک ساختمان نه تنها اتاقهای خواب بلکه تمامی فضاهایی مفید ساختمان به مانند اتاقهای نشیمن، پذیرایی و آشپزخانه نیز می بایست مورد توجه و ارزیابی قرار گیرند.
- برای فضاهایی که در معرض تابش نور مستقیم خورشید قرار دارند (به مانند فضاهای جنوبی) از آنجائیکه نحوه رفتار ساکنین در باز و بسته کردن پرده و کرکره و یا دیگر انواع سایه اندازها بر کمیت و کیفیت روشنایی فضای داخلی تأثیر بسزایی دارند می بایستی پیش بینی این رفتارها را نیز در بررسی ها لحاظ نمود.

- برای فضای داخلی در ساختمان، زمان بکار گیری فضا توسط ساکنین می بایستی مد نظر قرار گرفته شودواز انجام محاسبات برای زمانهایی که فضای مورد نظر خالی از سکنه میباشد اجتناب نمود.
- برای رسیدن به تجزیه و تحلیلی دقیقتر و جامعتر می توان هر فضا را بر اساس عملکردهای داخل آن به قسمتهای کوچکتری تقسیم بندی نموده و برای هر یک بطور جداگانه بررسی های مربوطه را انجام داد. به عنوان مثال برای اتاق خواب بچه ها، می توان قسمت مطالعه، قسمت بازی و قسمت خواب را که دارای نیازهای روشنایی متفاوتی می باشند بصورت مجزا مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. همچنین در این بخش می توان روش ارزیابی خود را به طور معکوس انجام داد به این شکل که در ابتدا محاسبات را برای کل فضا انجام داده و سپس بر اساس نتایج بدست آمده، کاربری های داخل فضا را مشخص نمود.
- برای تیل به یک طراحی مناسب از نظر اقلیمی که سلامت روحی، روانی و جسمی ما را نیز تضمین نماید از آنجائیکه ارزیابی دسترسی به روشنایی مناسب تنها بخشی از بررسی های مورد نیاز بوده، نمی بایست از دیگر عوامل مانند آسایش بصری، دمایی، شنوایی و غیره صرف نظر نمود زیراکه در این صورت مطالعه تک بعدی شده و احتمال عدم حصول نتایج مطلوب زیاد میباشد.

در انتها می توان نتیجه نهایی از مقاله را به صورت زیر خلاصه نمود:
با نظر به اینکه مهمترین هدف از انجام این مطالعه، ارزیابی و اعتبار سنجی قوانین موجود در امر ساخت و ساز در شهر قزوین بوده و از آنجائیکه قوانین موجود در این زمینه دارای مشابهت های زیادی با دیگر نقاط کشور است ، می توان نتایج بدست آمده را به دیگر مناطق نیز تعمیم داد. از آنجائیکه در تمام موارد مورد بررسی، قوانین موجود رعایت گردیده و نتایج بدست آمده تفاوت زیادی را بین آنها به نمایش می گذارد می توان چنین نتیجه گرفت که این قوانین شرط کافی برای رسیدن به شرایط مطلوب نمی باشند. به عبارت دیگر می توان مشاهده نمود که تا چه حدی دستکاری عوامل و عناصر طراحی در یک فضا می تواند میزان دسترسی به نور طبیعی را در آن فضا تغییر دهد درحالیکه همچنان از قوانین موجود پیروی نماید. اگرچه این مطالعه برای یک ساختمان مسکونی انجام پذیرفته ولی بطور قطع می توان گفت که نتایج حاصله تنها منحصر به فضای مسکونی نبوده و به راحتی و با اندکی تغییر به دیگر انواع ساختمانها (تجاری، اداری، صنعتی و غیره) نیز قابل تعمیم میباشد.

منابع:

[1] F Cantin, M-C Dubois, Daylighting metrics based on illuminance, distribution, glare and directivity, Lighting Research and Technology, 2011
[2] Veitch J A. The physiological and psychological effects of windows, daylight, and view at home. Velux symposium, Lausanne, 2011
[3] C F Reinhart and D Weissman, "The Daylit Area - Correlating architectural student assessments with current and emerging daylight availability metrics", *Building and Environment*, 2012.
[4] Mardaljevic J, Heschong L, Lee E.S, Daylight metrics and energy savings, 2009
[5] Reinhart CF, Wienold J. The daylighting dashboard - a simulation-based design analysis for daylit spaces. Building and Environment 2011
[6] Daylighting: Architecture and Lighting Design. Peter Tregenza and Michael Wilson. Routledge, 2011
[7] Mardaljevic J, Andersen, M, Roy, N and Christoffersen, J, Daylighting metrics for residential buildings, 2011
[8] http://daysim.ning.com/page/keyword-dynamic-daylight-simulation

[9] Reinhart CF, Mardaljevic J, Rogers Z, Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design, Leukos, 2006
[10] Moon P, & Spencer D E, Illumination form a non-uniform sky. Illum. Eng. (N.Y.), 1942
[11] CIE 110-1994, Spatial Distribution of Daylight – Luminance Distributions of Various Reference Skies, 1994
[12] Nabil A, Mardaljevic J, Useful daylight illuminance: A new paradigm for assessing daylight in buildings. Lighting Research and Technology , 2005
[13] IES LM-83-12, Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE), Illuminating Engineering Society, 2012
[14] Bodart M, De Herde A. Global energy savings in offices buildings by the use of daylighting. Energy and Buildings, 2002
[15] Dubois, M-C; Flodberg, K, Daylight utilisation in perimeter office rooms at high latitudes: Investigation by computer simulation, Lighting Research & Technology; 2013
[16] Krarti M, Erickson PM, Hillman TC. A simplified method to estimate energy savings of artificial lighting use from daylighting. Building and Environment , 2005
[17] Reinhart CF. Effects of interior design on the daylight availability in open plan offices. Report NRCC-45374. Ottawa: National Research Council of Canada, Institute for Research in Construction, 2002.
[18] Marie-Claude Dubois, Jiangtao Du, Landscape offices at high latitude: Daylight autonomy and electric lighting savings in relation to key design features, 2012
[19] Reinhart CF, Dayighting course lectures, MIT, 2012
[20] Cetegen D, Veitch J A, Newsham G R, View size and office luminance effects on employee satisfaction, 2008
[21] LEED v4, http://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED%20v4%20for%20Building%20Design%20and%20Construction_Ballot%20Version.pdf
[22] Peter Tregenza, Michael Wilson, Daylighting: Architecture and Lighting Design, Routledge, Abingdon, 2011
[23] Commission Internationale de l'Eclairage (CIE). (2004). *Ocular lighting effects on human physiology and behaviour*. (CIE 158:2004). Vienna, Austria: CIE.
[24] David L. DiLaura, Kevin W. Houser, Richard G. Mistrick, Gary R. Steffy, Illuminating Engineering Society, The Lighting Handbook, Tenth Edition, New York, Illuminating Engineering Society of North America, 2011
[۲۵] مقررات ملی ساختمان، مبحث ۴، الزامات عمومی ساختمان، بندهای ۴-۱-۱-۱، ۴-۱-۲-۱، ۴-۱-۲-۴، ۴-۴-۱-۱، ۴-۲-۵، وزارت مسکن و شهرسازی، معاونت امور مسکن و ساختمان، ۱۳۸۸