DOR: 20.1001.1.24234931.1401.9.1.10.1

مقاله پژوهشی
سال نهم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۱، ص ص ۹۴- ۱۰۱
فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو
jrenew.ir
تاریخ دریافت: ۰۰/۰۴/۲۹
تاریخ پذیرش: ۰۰/۰۷/۰۷

بررسی تأثیر مؤلفه‌های طراحی نورگیر زیرسقفی (Clerestory window) جهت ارتقاء روشنایی نور روز در ساختمان‌های سقف شیب‌دار در اقلیم معتدل و مرطوب

مصطفی قلی‌پور گشنیانی[1*]

۱- استادیار، مهندسی معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران
* بابلسر، ۵۱۱۶۷-۴۷۴۱۱ ، m.gholipour@umz.ac.ir

چکیده

بهره‌گیری از روشنایی نور روز در ساختمان‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع انرژی تجدید پذیر، امری اجتناب‌ناپذیر است. پنجره‌های کلرستوری یا بازشوهای زیرسقفی، یکی از راهکارهای مناسب جهت افزایش نفوذ نور در ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه می‌باشند. این درحالی‌ست که در اقلیم‌های پرباران با آسمان ابری، دریافت روشنایی نور روز، از ضرورت بیشتری برخوردار خواهد بود. ازآنجایی‌که خصوصیات کالبدی ساختمان‌ها در این اقلیم با توجه به نوع شیب سقف، فرم سقف داخلی و هندسه پلان متفاوت می‌باشد، سؤال اساسی این است که: در ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه شیب‌دار، با چه خصوصیات کالبدی می‌توان به بیشترین بهره نوری از بازشوهای کلرستوری دست‌یافت؟ پژوهش حاضر باهدف بررسی توانایی پنجره‌های کلرستوری جهت ارتقاء روشنایی نور روز در ساختمان‌های شیب‌دار کوتاه‌مرتبه برنامه‌ریزی گردید. در پژوهش حاضر، جهت طراحی مدل‌های سه‌بعدی پایه، از نرم‌افزار راینو بهره برده شده و همچنین جهت ارزیابی مؤلفه "فاکتور نور روز" از افزونه دیوا در نرم‌افزار گرس هاپر استفاده گردید. داده‌های منتج ازمایش‌ها در شرایط آسمان پوشیده از ابر، نشان از این دارند که در نورگیرهای کلرستوری؛ فارغ از هندسه پلان و همچنین فرم بازتابنده داخلی، مؤثرترین مؤلفه در عملکرد نورگیرها "نسبت شیب سقف" است که بیشترین بازه تغییر را در روشنایی فضای داخلی ایجاد می‌کند و شیب سقف ۱۸ درجه با نسبت سقفی (۴-۱۲) بهترین بهره‌وری را با تأمین "فاکتور نور روز" ۳.۳ درصد در میان شیب‌های مختلف سقف به دست می‌دهد. از سویی دیگر، با ثابت در نظر گرفتن مؤلفه شیب سقف و فرم بازتابنده داخلی، هندسه پلان مربع رفتار نوری مناسب‌تری را در فضای داخلی ایجاد می‌کند.

کلیدواژگان: نورگیر زیرسقفی، کلرستوری، نور روز، سقف شیب‌دار

Investigating the Effect of Clerestory Window Components to Improve Daylight Illuminance in Pitched Roof Buildings in Humid Climates

Mostafa Gholipour Gashniani[1*]

1- Department of Architecture, Arts and Architecture, University of Mazandaran, Babolsar, Iran
* P.O.B. 47411-51167 Mazandran, Iran, m.gholipour@umz.ac.ir

Received: 20 July 2021 Accepted: 29 September 2021

Abstract

Clerestory windows are one of the best ways to increase the penetration of light in Low-rise buildings. However, in rainy climates with cloudy skies, receiving daylight will be more critical. Since the physical component of buildings in this climate varies according to the type of roof slope, the shape of the interior roof, and the plan's geometry. The fundamental question is: What physical characteristics can receive the maximum light from the Clerestory window in Pitched low-rise buildings? The research aimed to investigate the potential of Clerestory to improve daylight in a Pitched-roof. In the present study, Rhino software was used to design 3D models, and the Diva plugin in Grasshopper software was used to evaluate the “daylight factor.” Data indicate that; regardless of the geometry of the plan and form of internal reflection, the most effective component is the “roof slope ratio,” which creates the most significant change in interior lighting. Moreover, the 18-degree roof slope with a ceiling ratio (4-12) is the best efficiency, and provides 3.3% (A.DF) among the various. By considering the slope of the roof component and the shape of the interior reflector, the geometry of the square plan creates more appropriate daylight in the interior space.

Keywords: Clerestory window, Daylight, Pitched Roof, Overcast Sky

مالکیت معنوی این مقاله تحت گواهی بین المللی تخصیص ۴ کریتیو کامنز محفوظ است
CC BY

۱- مقدمه

در ادوار گذشته، توجه به نور خورشید در معماری، بیانگر اهمیت زیستی آن بوده که نور روز را به فضاهای داخلی گسیل داشته است. این درحالی‌ست که امروزه با نفوذ روشنایی مصنوعی در بناها، اهمیت نور روز و توجه به راهکارهای متنوع نورگیری به دست فراموشی سپرده شده است. با عدم بهره‌گیری از منابع پایدار، منجر به ایجاد بحران سلامت، محدودیت منابع انرژی و آلودگی زیست‌محیطی گشته که لزوم توجه به انرژی‌های تجدید پذیر را ضروری ساخته است [۱،۲].

بهره‌گیری از بازشوهای زیرسقفی [1] در اقلیم‌های پرباران یکی از راهکارهای مناسب جهت افزایش نفوذ نور در بخش پلان‌عمیق ساختمان‌ها بوده که سبب افزایش بهره‌وری نور روز، به‌ویژه در ساختمان‌هایی با سقف شیب‌دار خواهد شد. از سویی دیگر با توجه به فراگیرشدن ساخت‌وسازهای ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه در استان‌های شمالی ایران و به‌ویژه مازندران؛ توجه به الگوهای مناسب دریافت و تأمین روشنایی نور روز در سقف‌های شیب‌دار و در شرایط آسمان ابری، مسئله‌ای بسیار حائز اهمیت می‌باشد [۳]. از سویی دیگر، در اقلیم‌های پرباران، دریافت نور از سقف با چالش‌های زیادی در رابطه با آب‌بندی بازشو و جزییات انطباق مواجه بود که بهره‌گیری بهینه از بازشوهای سقفی عمودی حائز اهمیت خواهد بود.

ازآنجایی‌که خصوصیات کالبدی ساختمان‌ها در این اقلیم با توجه به نوع شیب سقف، فرم سقف داخلی و هندسه پلان متفاوت می‌باشد، سؤال اساسی این است که: در ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه شیب‌دار با چه خصوصیات کالبدی می‌توان به بیشترین بهره نوری از بازشوهای کلرستوری دست‌یافت؟

پنجره زیر سقفی یا "کلرستوری" بازشوهای باریکی و طویلی هستند که در تقاطع انتهای دیوار و سقف قرا می‌گیرند. این بازشوها هم در موقعیت عمودی و هم در موقعیت شیب‌دار قابل‌استفاده هستند. با توجه به محل قرارگیری، امکان نفوذ نور به قسمت‌های پلان‌عمیق در ساختمان را دارا هستند. بررسی در راهنمای روشنایی "CIBSE" حاکی از آن است که بسته به تنوع زیادی از نورگیرهای سقفی، موقعیت دهانه و شکل بازتابنده داخلی نقش مهمی در نوع و میزان دریافت نور روز دارد.

ازآنجایی‌که بازشوهای زیرسقفی یکی از متداول‌ترین روش‌های نورگیری در سقف‌های شیب‌دار محسوب می‌شوند، بررسی رفتار نوری آن‌ها در آسمان ابری تحت شرایط کالبدی متفاوت می‌تواند برای طراحان راهگشا باشد. ازاین‌رو با استخراج مؤلفه‌های کالبدی پنجره‌های زیر سقفی و آزمون هریک از آن‌ها در شرایط متفاوت، الگوی بهینه بازشوهای کلرستوری در سقف‌های شیب‌دار به دست خواهد آمد [۴،۵]. از سویی دیگر ازآنجاکه خلأ پژوهشی در رفتار نوری این بازشوها در ساختمان‌هایی با سقف شیب‌دار و در اقلیم معتدل و مرطوب، وجود دارد، اهمیت پرداختن به آن دوچندان خواهد کرد و ضرورت پژوهش‌های گسترده در حوزه بررسی راهکارهای تأمین روشنایی نور روز در این ساختمان‌ها موردتوجه خواهد بود [۶].

در سال ۱۹۸۴، ترادو و همکاران در پژوهشی بنیادی، مقایسه پنجره، کلرستوری و اسکای‌لایت از منظر عملکرد (حرارتی، برودتی و روشنایی) مورد بررسی قرار می‌دهند. نتایج در قالب دستورالعمل‌های طراحی مرتبط ارائه گردید تا بتوان تصمیمات اولیه طراحی را در مورد محل وقوع، نوع، پیکربندی و اندازه بازشوهای نورگیر اتخاذ کرد. در این پژوهش، عملکرد پنجره کلرستوری در جبهه جنوب و شمال نسبت به بازشو دیواری متداول در مرتبه بالاتری قرار گرفت. البته این درحالی‌ست که متغیرهای نظیر نسبت شیب سقف و یا فرم بازتابنده‌های داخلی در این پژوهش نقشی ندارند [۷].

در دسته‌بندی دیگری، پژوهش‌هایی قرار می‌گیرند که درصدد افزایش بهره‌وری این سامانه هستند. پژوهشی که در سال ۲۰۱۳ پنگ ژو و همکاران برنامه‌ریزی کرده‌اند بر این مبنی استوار بوده که با استفاده از طبقه‌های نوری در بازشوهای کلرستوری بتوانند به توزیع روشنایی در فضا و افزایش بهره‌وری آن کمک کنند. نتایج نشان می‌دهد که به بهترین ساختار نورگیر زیرسقفی در شهر هنگ کنگ آن است که قسمت منیسک شکل آن در بالا گسترده و در پایین باریک باشد که زاویه انحنا در بازه ۴۴.۳ درجه تا ۹۰ درجه متغیر است. این هندسه بازشو، روشنایی و یکنواختی فضای داخلی را در ماه‌های زمستان (ارتفاعات خورشیدی تا ۶۰ درجه) بهبود می‌بخشد و در مقایسه با صفحه لعاب عمودی، به‌اندازه ۱.۰۳ اثر نسبی بیشتری دارد [۶]. از سویی دیگر بررسی‌ها مؤید این است که سهم بیشتر پژوهش‌ها بر روی نورگیرهای زیرسقفی، به بررسی رفتار حرارتی برودتی و تهویه در این بازشوها پرداخته و بررسی نقش روشنایی آن‌ها به‌طور منسجم انجام‌نشده است و تأثیر متغیرهای کالبدی ساختمان بر آن در نظر رفته نشده‌اند [۸].

لوکا و همکاران در سال ۲۰۱۸ پژوهشی را بر روی ساختمان‌های صنعتی انجام داده‌اند که در آن با مقایسه بازشوهای اسکای‌لایت و کلرستوری به بهره‌وری حرارتی و نوری آن‌ها پرداخته و همچنین وضعیت روشنایی در شرایط نورپردازی هیبرید (ترکیب نور طبیعی و مصنوعی) نیز موردبررسی قرار داده‌اند. در این پژوهش به بررسی رابطه نسبت گشایش بازشو، میزان روشنایی و پتانسیل بار حرارتی بیش‌ازحد، با تجزیه‌وتحلیل ۷۸۱۲ آلترناتیو و با در نظر گرفتن خصوصیات کالبدی اتاق، پنجره‌ها و اندازه دیوارهای خارجی، وجود سایه یا بالکن و انواع مختلف تهویه می‌پردازد. نتایج نشان از این دارند که چالش افزایش بار حرارتی بیش‌ازحد را می‌توان با استفاده از راهکارهایی مانند سایه‌اندازی و تهویه، تا میزان قابل‌توجهی مهار نمود. مدل پایه در این پژوهش نیز در شرایط کالبدی سقف صاف مورد ارزیابی قرارگرفته است [۹].

در پژوهشی که در سال ۲۰۱۶ بر روی کلاس درس مدرسه انجام‌شده، تأثیر پنجره کلرستوری و پنجره مانیتور سقفی در شهر کاشان موردبررسی قرار گرفت که شرایط کالبدی و اقلیمی متفاوتی را داشتند. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش نسبت پنجره به دیوار تا محدوده ۳۵، ۴۰ و ۵۰ درصد، با نصب روف مانیتور، می‌توان به اعتبار BREEAM و LEED دست‌یافت [۱۰].

در سال ۲۰۱۹ پژوهشی بر روی دریافت نور از بازشوهای سقفی در ساختمان‌های صنعتی انجام‌شده که در آن سه نوع بازشو در سقف صاف و بدون شیب ارزیابی‌شده‌اند که پنجره‌های کلرستوری نیز جزو دسته‌بندی آن‌ها قرار نداشت. نتایج نشان می‌دهند که سقف‌های دندانه‌ای بهترین انتخاب را برای تأمین نورروز در ساختمان‌های صنعتی در موقعیت جغرافیایی مورد بررسی هستند. پژوهش مذکور با استفاده از روش بهینه‌سازی کالبدی، فاصله بهینه بین دهانه‌های سقف را در بازه ۱۰ متر تا ۱۳ متر مؤثر می‌داند [۱۱].

بررسی‌ها نشان از این دارد که در پژوهش‌های داخلی، مقالاتی که مشخصاً بر رفتار روشنایی بازشوهای سقفی در اقلیم‌های پرباران ایران پرداخته باشد، وجود ندارد. در پژوهش‌های خارجی مطالعاتی در حوزه سقف‌های اسکای‌لایت [2] و سقف‌های دندانه‌ای [3] انجام‌شده اما در رابطه با بازشوهای کلرستوری و پنجره‌های زیرسقفی در سقف‌های شیب‌دار مطالعات

1. Clerestory window

2. Skylight
3. Sawtooth roof

محدودی صورت پذیرفته که نقش زوایای سقف و یا خصوصیات سقف داخلی در رفتار نور روز درون فضا، مغفول مانده است[۹،۱۱،۱۳،۱۴].

این در حالی است که انتخاب راهکار مناسب جهت انتقال نور روز به داخل ساختمان همواره با چالش بسیاری همراه بوده که با توجه به تعدد پارامترهای موجود؛ تجویز بازشو مناسب را مشکل می‌سازد. از سویی دیگر هرگونه راهکار ارتقاء بهره نوری در فضا لزوماً باید مبتنی بر پارامترهای اقلیمی منطقه و شرایط کالبدی ساختمان و شهر اتخاذ گردد[۱۹-۱۵]. با توجه به اینکه سقف‌های شیب‌دار در فرم و شیب‌های مختلف مورداستفاده بوده، لذا به لحاظ کالبدی، هریک رفتار متفاوتی دریافت نور روز خواهند داشت [۸]. از سویی دیگر مطالعات نشان می‌دهد فرم و زوایای سطوح بازتابنده داخلی در رفتار نور نقش بسیار مهمی داشته که در نظر گرفتن مؤلفه‌های کالبدی مرتبط با آن حائز اهمیت می‌باشد[۱۱،۱۳،۱۴،۲۰].

همان‌گونه که در پیشینه پژوهش مشهود است، بررسی رفتار نور در پنجره‌های زیرسقفی، متأثر از نسبت شیب سقف و همچنین فرم بازتابنده‌های داخلی در آسمان ابری در پژوهشی مورد ارزیابی نبوده و با توجه به اهمیت تأثیر آن در انتخاب الگوی بهینه سقف در اقلیم‌های پرباران، خلأ پژوهشی مهمی محسوب می‌گردد. از این پژوهش حاضر باهدف بررسی توانایی پنجره‌های کلرستوری جهت ارتقاء روشنایی نور روز و تأمین آسایش بصری در ساختمان‌های شیب‌دار کوتاه‌مرتبه برنامه‌ریزی گردید.

۲- روش تحقیق

۲-۱- تبیین مشخصات آزمون

با توجه به اینکه طبق تعریف مسئله، ارزیابی بهره‌وری بازشوهای زیرسقفی در شرایط آسمان ابری مدنظر می‌باشد، در این راستا، ارزیابی مؤلفه "فاکتور نور روز [۱]" با در نظر گرفتن آسمان بدون مانع همسایگی و در شرایط آسمان ابری [۲] محاسبه می‌گردد. مدل آسمان ابری که در پژوهش مورداستفاده قرارگرفته مبتنی بر مدل آسمان شماره ۱۶ استاندارد CIE می‌باشد [۲۴-۲۱].

۲-۲- انتخاب ابزار گردآوری داده‌ها

در پژوهش حاضر، جهت طراحی مدل‌های سه‌بعدی از نرم‌افزار راینو [۳] بهره برده شده و همچنین جهت ارزیابی مؤلفه "فاکتور نور روز" از افزونه دیوا در نرم‌افزار گرس هاپر [۴] استفاده‌شده که برای محاسبات از موتورهای محاسباتی ریدینس [۵] و دی سیم [۶] بهره می‌برد. در راستای شبیه‌سازی آسمان از داده‌های آب و هوایی (تابش مستقیم و غیرمستقیم) مستخرج از داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی موجود [۷]، (قراخیل قائم‌شهر) استفاده شد. داده‌های روشنایی در شبکه مجازی ابعاد ۳۰×۳۰ سانتیمتر و در ارتفاع ۱ متری از سطح کف داخلی (ارتفاع سطح میز کار) محاسبه شدند [۲۴]. با توجه به تعریف شاخص نور روز، سنجش در ارتفاع میز کار و در بازه ۸۵ سانتی تا ۱ متر سنجیده می شود که در پژوهش حاضر ارتفاع ۱ متر مبنی سنجش قرار گرفت [۲۶-۲۵]. مقادیر پارامترهای شبیه‌سازی مورداستفاده توسط موتورهای محاسباتی در ادامه تبیین گردیده است (جدول ۱).

1. Daylight factor
2. Overcast sky
3. Rhinoceros 5
4. DIVA for Grasshopper
5. Radiance
6. Daysim

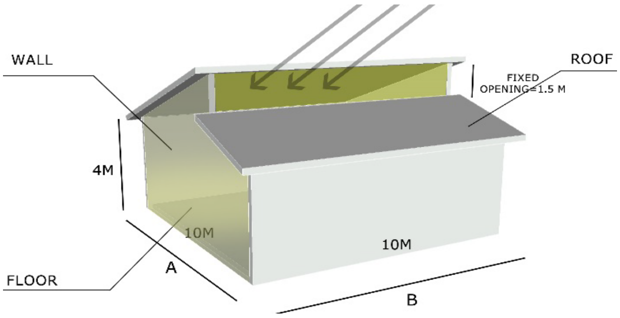
۷. ایستگاه هواشناسی سینوپتیک قراخیل (قائمشهر)

جدول ۱ مقادیر شاخص‌های مورداستفاده در پژوهش و محدوده کمینه و بیشینه

شاخص‌ها	Min	Max
فاکتور نور روز	2%	75%
Ambient Resolution	256	
Ambient Accuracy	0.1	
Ambient Sampling	256	
Ambient Division	1024	
Ambient Bounces	4	
شبکه مفروض	0.3m	0.3 m
آستانه کنتراست	0.6	
منبع نوری مستقیم	0.12	0.42
منبع نوری غیرمستقیم	0.24	0.42
شبکه سایه	5	5
تلورانس طول	0.0005	
تلورانس آفست اشعه	0.001	
تلورانس حداقل مقدار اولیه	0.01	
شرایط آسمان	Overcast sky	آسمان ابری

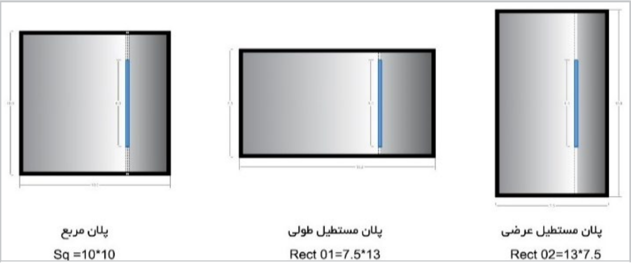
۲-۳- انتخاب مدل آزمون

با توجه به شرح مسئله، جهت تعیین کارایی بازشوهای زیرسقفی، مدل پایه برنامه‌ریزی گردید. مدل مورداستفاده در آزمون‌ها، ساختمانی با سقف شیب‌دار با مساحت ثابت در سه هندسه متفاوت است که با نسبت شیب سقف متغیر و الگوی سقف کاذب- بازتابنده داخلی- متغیر همراه شده است. مدل آزمون در مرتبه اول با فرض مساحت ثابت، سه هندسه متفاوت مربع، مستطیل عرضی، مستطیل طولی، استخراج گردید (شکل ۱).



شکل ۱ مدل سه‌بعدی آزمون

در مرتبه بعدی سه آلترناتیو سقفی ازنظر فرم سقف بازتابنده داخلی مقعر و محدب و صاف مدل‌سازی گردید. در گام بعدی با توجه به نسبت شیب [۸] متفاوت که در طراحی سقف‌های شیب‌دار مورداستفاده قرار می‌گیرند، یک بازه شیب ۸ گانه متداول برای هر سه آلترناتیو سقف در سه پلان مختلف مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت [۲۷] (شکل ۲). در این راستا، باتوجه به تعداد متغیرهای معین‌شده، مجموعاً ۷۲ مدل مورد آزمون قرار خواهد گرفت.



شکل ۲ آلترناتیو های سه گانه هندسه پلان و قرارگیری بازشو سقفی در آنها

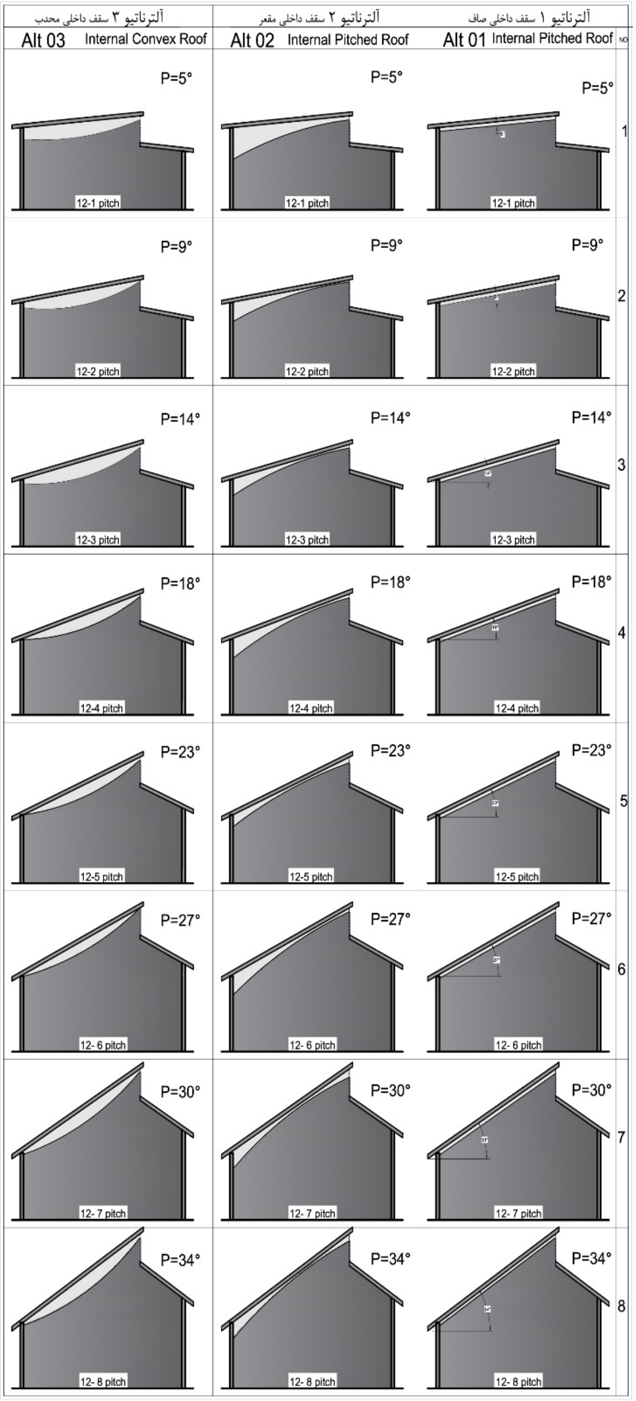
8. (run-rise) Ratio

مساحت مدل پایه مدل بر اساس متراژ متداول الگوی پلان مسکونی ویلایی بر اساس فراوانی سطح اشغال پروانه‌های صادرشده سال ۱۳۸۹ مستخرج از داده‌های مرکز آمار برای ساختمان‌های مسکونی تک‌واحدی در منطقه تعیین گردید.[۱] ازاین‌رو نتایج ارزیابی‌ها نشان خواهد داد که کدام هندسه پلان در کدام آلترناتیو سقف و در کدام الگوی شیب، بیشترین بازدهی را دریافت نور روز در آسمان ابری خواهد داشت [۳]. (در این پژوهش ابعاد سطح بازشو سقفی ثابت در نظر گرفته‌شده است.)

بازشو زیرسقفی "کلرستوری" با عرض ثابت ۶ متر و ارتفاع‌ثابت ۱.۵ متر در نظر گرفته‌شده که در زوایای شیب متفاوت و فرم‌های سقف داخلی متفاوت مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. ارتفاع ارزیابی مؤلفه‌ها در ارتفاع ۱ متر بالاتر از سطح کف، ارتفاع میز کار در نظر گرفته‌شده است. در پژوهش حاضر، متغیرهای مستقل: زاویه سقف، فرم سقف داخلی (بازتابنده)، هندسه و شکل کف ساختمان بوده و متغیر وابسته: مؤلفه"فاکتور نور روز" بوده که مبین میزان روشنایی نور روز در فضای داخلی در شرایط آسمان ابری خواهد بود.

در این پژوهش، به‌منظور بررسی تناسبات کالبدی، متغیرهای بازتابی سطوح بیرونی و داخلی و همچنین خصوصیات نورگذری بازشو، ثابت در نظر گرفته‌شده است. پرتوهای درون‌بازتابی کلیه سطوح طبق قانون کسینوس لامبرت در فضا منتشر می‌شود. هر سطح دارای ضریب بازتابی متفاوت است: سقف دارای ضریب ۰.۹ ، دیوارها ۰.۷ ، و کف ۰.۵ . مقادیر ثابت در محاسبات شامل: شرایط گنبد آسمان، بازتاب سطوح دیوارها، سقف و کف، نوع شیشه، تعداد جداره و ضخامت آن تعیین گردید. در سطح میز کار، با استفاده از مدل شبیه‌سازی، مقادیر حداکثر ، متوسط و حداقل "فاکتور نور روز" مورد خوانش قرار می‌گیرد. این مقادیر تحت تأثیر مؤلفه‌های آسمان و همچنین همنهشت بازتاب سطوح داخلی به دست خواهد آمد [۲۸] (جدول ۲).

جدول ۲ مقطع مدل‌های آزمون در نسبت شیب هشت‌گانه و هندسه پلان سه‌گانه



۳- گردآوری داده‌ها و تحلیل

۳-۱ بررسی بهره‌وری بازشو سقفی در پلان مربع

۳-۱-۱ محاسبه "فاکتور نور روز"

در بخش ابتدایی آنالیز، هندسه پلان مربع در سه آلترناتیو الگوی سقف داخلی مورد ارزیابی قرار گرفت و فاکتور نور روز در سه بازه‌ی کمینه، میانگین و بیشینه اندازه‌گیری گردید. برای هر آلترناتیو، ۸ متغیر شیب در بازه (۵ درجه تا ۳۴ درجه) سقف اعمال گشته و فاکتور نور روز بر روی سطح میز کار اندازه‌گیری گردید. نتایج آزمون فوق در جدول ۳ درج گردیده است. ردیف‌های هایلایت شده در جدول بیانگر شرایطی است که ساختمان حداکثر دریافت را داشته است.

۹. مساحت زیربنا مستخرج از جدول ۱۲ مرکز آمار : تعداد پروانه های احداث ساختمان مسکونی بر حسب مساحت زیربنا در استان مازندران

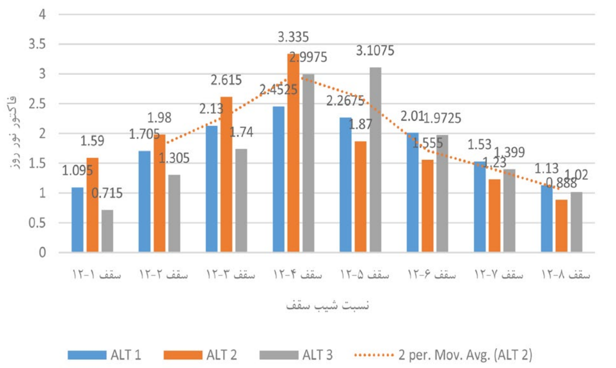
جدول ۳ ارزیابی فاکتور نور روز آلترناتیوهای سه‌گانه در پلان مربع

الگوی سقف	زاویه شیب	آلترناتیو شماره ۱ Max	آلترناتیو شماره ۱ Ave	آلترناتیو شماره ۱ Min	آلترناتیو شماره ۲ Max	آلترناتیو شماره ۲ Ave	آلترناتیو شماره ۲ Min	آلترناتیو شماره ۳ Max	آلترناتیو شماره ۳ Ave	آلترناتیو شماره ۳ Min
		فاکتور نور روز٪ (Daylight factor)								
سقف ۱-۱۲	5°	1.89	1.095	0.3	2.66	1.59	0.52	1.26	0.715	0.17
سقف ۲-۱۲	9°	2.66	1.705	0.75	3.01	1.98	0.95	1.96	1.305	0.65
سقف ۳-۱۲	14°	3.36	2.13	0.9	3.78	2.615	1.45	2.66	1.74	0.82
سقف ۴-۱۲	18°	**3.605**	**2.4525**	**1.3**	**4.48**	**3.335**	**2.19**	4.095	2.9975	1.9
سقف ۵-۱۲	23°	3.535	2.2675	1	2.87	1.87	0.87	**4.235**	**3.1075**	**1.98**
سقف ۶-۱۲	27°	3.15	2.01	0.87	2.38	1.555	0.73	2.975	1.9725	0.97
سقف ۷-۱۲	30°	2.38	1.53	0.68	2.03	1.23	0.43	2.268	1.399	0.53
سقف ۸-۱۲	34°	1.96	1.13	0.3	1.526	0.888	0.25	1.75	1.02	0.29

۳-۱-۲ تجزیه‌وتحلیل نتایج

شکل ۳ نشان‌دهنده اختلاف نسبی میانگین فاکتور نور روز در سطح میز کار برای پلان مربع می‌باشد که در آلترناتیوهای سه‌گانه مختلف سقف، حاصل گردیده است. داده‌های منتج آزمون، نشان از این دارند که در شیب سقف (۴-۱۲) صرف‌نظر از فرم بازتابنده داخلی، بیشترین دریافت روشنایی نور روز حاصل می‌گردد. ازاین‌رو در پلان مربع محدوده شیب مذکور صرف‌نظر از فرم بازتابنده، بیشترین نقش را در افزایش دریافت نور روز در پنجره‌های کلرستوری ایفا کردند. از سویی دیگر همان‌گونه که در شکل زیر مشاهده می‌گردد؛ سقف کاذب داخلی با بازتابنده داخلی مقعر (آلترناتیو شماره ۲) منجر به افزایش میانگین فاکتور نور روز نسبت به آلترناتیوهای سه‌گانه گردیده است.

در مرتبه دوم سقف با نسبت شیب (۵-۱۲) یا آلترناتیو شماره ۳ با میانگین دریافت ۳.۱۷۵ درصد قرار دارد که نسبت به آلترناتیو شماره ۱ با میانگین دریافت ۲.۴۵ درصد؛ اختلاف زیادی را تجربه می‌کند. ازاین‌رو نقش فرم داخلی سقف در افزایش دریافت روشنایی نور روز حائز اهمیت می‌باشد. این در حالی است که با مشاهده نمودار مشخص گردید تأثیر نسبت شیب سقف در میزان دریافت روشنایی نور روز بسیار بالاتر از فرم بازتابنده داخلی بوده است. این تأثیر در بازه ۱ تا ۳.۳ درصد فاکتور نور روز در نوسان می‌باشد که تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای محسوب می‌گردد. بازتابنده مقعر در مدل‌هایی تا شیب ۱۸ درجه، دارای عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشد اما با عبور از این زاویه تغییر رفتار در آن مشهود است.



شکل ۳ مقایسه وضعیت فاکتور نور روز هندسه پلان مربع؛ در الگوی شیب ۸ گانه و در آلترناتیو سه گانه سقف داخلی

۳-۲ بررسی بهره‌وری بازشو سقفی در پلان Rec01

۳-۲-۱ محاسبه "فاکتور نور روز"

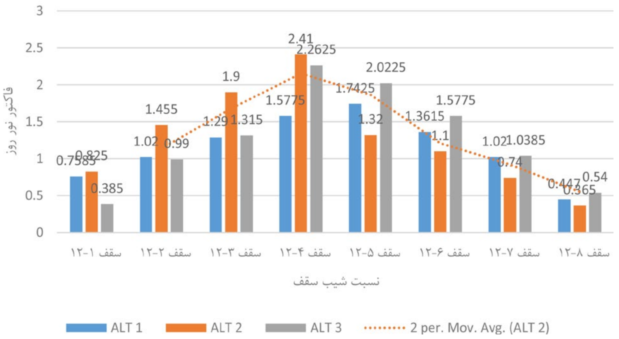
در بخش دوم آنالیز، هندسه پلان مستطیل (Rec01) در سه آلترناتیو الگوی سقف مورد ارزیابی قرار گرفت و فاکتور نور روز در سه بازه کمینه، میانگین و بیشینه محاسبه گردید. برای هر آلترناتیو، ۸ متغیر شیب سقف اعمال گشته و فاکتور نور روز بر روی سطح میز کار اندازه‌گیری گردید. نتایج آزمون فوق در جدول ۴ درج گردیده است.

جدول ۴ ارزیابی فاکتور نور روز آلترناتیوهای سه‌گانه در پلان مستطیل Rec01

الگوی سقف	زاویه شیب	آلترناتیو شماره ۱ Max	آلترناتیو شماره ۱ Ave	آلترناتیو شماره ۱ Min	آلترناتیو شماره ۲ Max	آلترناتیو شماره ۲ Ave	آلترناتیو شماره ۲ Min	آلترناتیو شماره ۳ Max	آلترناتیو شماره ۳ Ave	آلترناتیو شماره ۳ Min
		فاکتور نور روز٪ (Daylight factor)								
سقف ۱-۱۲	5°	1.337	0.7585	0.18	1.4	0.825	0.25	0.7	0.385	0.07
سقف ۲-۱۲	9°	1.61	1.02	0.43	1.96	1.455	0.95	1.47	0.99	0.51
سقف ۳-۱۲	14°	1.96	1.29	0.62	2.8	1.9	1	1.96	1.315	0.67
سقف ۴-۱۲	18°	2.345	1.5775	0.81	**3.43**	**2.41**	**1.39**	**3.325**	**2.2625**	**1.2**
سقف ۵-۱۲	23°	**2.485**	**1.7425**	**1**	1.96	1.32	0.68	3.045	2.0225	1
سقف ۶-۱۲	27°	2.023	1.3615	0.7	1.75	1.1	0.45	2.485	1.5775	0.67
سقف ۷-۱۲	30°	1.47	1.02	0.57	1.26	0.74	0.22	1.757	1.0385	0.32
سقف ۸-۱۲	34°	0.714	0.447	0.18	0.63	0.365	0.1	0.91	0.54	0.17

۳-۲-۲ تجزیه‌وتحلیل نتایج

شکل ۴ نشان‌دهنده اختلاف نسبی میانگین فاکتور نور روز در سطح میز کار پلان مستطیل شکل (Rec01) می‌باشد که در آلترناتیوهای سه‌گانه مختلف سقف، حاصل گردیده است. داده‌ها نشان از این دارند که در شیب سقف (۴-۱۲) صرف‌نظر از فرم بازتابنده داخلی، بیشترین دریافت روشنایی نور روز حاصل می‌گردد. از سویی دیگر در آلترناتیو شماره ۲، شیب (۴-۱۲) با میانگین ۲.۴۱ درصد بالاترین دریافت را داشته است، این بدان معنی است که در هندسه پلان مستطیل، بازتابنده داخلی مقعر، عملکرد بهتری نسبت به دو گزینه دیگر دارد و هرچه شیب سقف افزایش می‌یابد، از برتری این الگو کاسته شده و در شیب‌های بالاتر در پایین‌ترین رتبه قرار می‌گیرد. ازاین‌رو در هندسه پلان مذکور، الگوی شیب ۱۸ درجه، صرف‌نظر از فرم بازتابنده، بیشترین نقش را در افزایش دریافت نور روز در پنجره‌های کلرستوری ایفا کردند.



شکل ۴ مقایسه وضعیت فاکتور نور روز هندسه پلان مستطیل (Rec 01)؛ در الگوی شیب ۸ گانه و در آلترناتیو سه گانه سقف داخلی

از سویی دیگر همان‌گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌گردد؛ سقف کاذب داخلی با بازتابنده داخلی محدب (آلترناتیو شماره ۲) با میانگین دریافت ۲.۴۱ منجر به افزایش میانگین فاکتور نور روز نسبت به آلترناتیوهای سه‌گانه گردیده است. در مرتبه دوم سقف با نسبت شیب (۴-۱۲) یا آلترناتیو شماره ۳ با میانگین دریافت ۲.۲۶۲۵ درصد قرار دارد که نسبت به آلترناتیو شماره ۱ با میانگین دریافت ۱.۷۴۲ درصد؛ اختلاف زیادی را تجربه می‌کند و بیشترین بهره‌وری آن در شیب (۵-۱۲) با شیب ۲۳ درجه اتفاق می‌افتد. ازاین‌رو بررسی‌ها نمایانگر آن است که نقش فرم داخلی سقف، در پلان مستطیل شکل (Rec01) نسبت به پلان مربع، تأثیرات و تغییرات بیشتری را در افزایش دریافت روشنایی نور روز همراه خواهد داشت. این در حالی است که با مشاهده در این هندسه پلان نیز مشخص گردید تأثیر نسبت شیب سقف در میزان دریافت روشنایی نور روز بسیار بالاتر از فرم بازتابنده داخلی بوده است. این تأثیر در بازه ۰.۳ تا ۲.۴ درصد فاکتور نور روز در نوسان می‌باشد.

۳-۳ بررسی بهره‌وری بازشو سقفی در پلان مستطیل Rec02

۳-۳-۱ محاسبه "فاکتور نور روز"

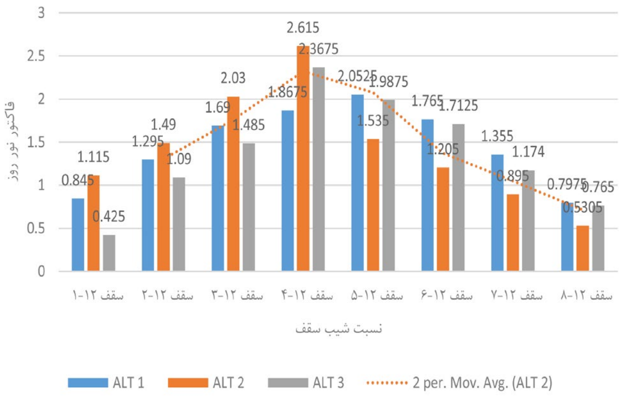
در بخش سوم آنالیز، هندسه پلان مستطیل (Rec02) در سه آلترناتیو الگوی سقف مورد ارزیابی قرار گرفت و فاکتور نور روز در سه بازه کمینه، میانگین و بیشینه محاسبه گردید. برای هر آلترناتیو، ۸ متغیر شیب سقف اعمال گشته و فاکتور نور روز بر روی سطح میز کار اندازه‌گیری گردید. نتایج آزمون فوق در جدول ۵ درج گردیده است.

۳-۳-۲ تجزیه‌وتحلیل نتایج

شکل ۵ نشان‌دهنده اختلاف نسبی میانگین فاکتور نور روز در سطح میز کار پلان مستطیل شکل (Rec02) می‌باشد که در آلترناتیوهای سه‌گانه مختلف سقف، حاصل گردیده است. بررسی داده‌ها در گام سوم و در هندسه پلان مذکور، نشان می‌دهد حداکثر میانگین دریافت در این هندسه پلان مربوط به شیب سقف ۱۸ درجه است. از سویی دیگر در آلترناتیو شماره ۲، شیب (۴-۱۲) با میانگین ۲.۶۱ درصد، بالاترین دریافت را داشته است، این بدان معنی است که در هندسه پلان مستطیل، بازتابنده داخلی مقعر، عملکرد بهتری نسبت به دو گزینه دیگر دارد و هرچه شیب سقف افزایش می‌یابد، از برتری این الگو کاسته شده و در شیب‌های بالاتر در پایین‌ترین رتبه قرار می‌گیرد. ازاین‌رو در هندسه پلان مذکور، الگوی شیب ۱۸ درجه، صرف‌نظر از فرم بازتابنده، بیشترین نقش را در افزایش دریافت نور روز در پنجره‌های کلرستوری ایفا کردند.

جدول ۵ ارزیابی فاکتور نور روز آلترناتیوهای سه‌گانه در پلان Rec02

الگوی سقف	زاویه شیب	فاکتور نور روز ٪(Daylight factor)								
		آلترناتیو شماره ۱			آلترناتیو شماره ۲			آلترناتیو شماره ۳		
		Max	Ave	Min	Max	Ave	Min	Max	Ave	Min
سقف ۱-۱۲	5°	1.47	0.845	0.22	1.89	1.115	0.34	0.77	0.425	0.08
سقف ۲-۱۲	9°	2.03	1.295	0.56	2.24	1.49	0.74	1.61	1.09	0.57
سقف ۳-۱۲	14°	2.66	1.69	0.72	3.01	2.03	1.05	2.24	1.485	0.73
سقف ۴-۱۲	18°	2.835	1.8675	0.9	**3.64**	**2.615**	**1.59**	**3.535**	**2.3675**	**1.2**
سقف ۵-۱۲	23°	**2.905**	**2.0525**	**1.2**	2.31	1.535	0.76	2.835	1.9875	1.14
سقف ۶-۱۲	27°	2.73	1.765	0.8	1.82	1.205	0.59	2.555	1.7125	0.87
سقف ۷-۱۲	30°	2.03	1.355	0.68	1.47	0.895	0.32	1.918	1.174	0.43
سقف ۸-۱۲	34°	1.365	0.7975	0.23	0.931	0.5305	0.13	1.33	0.765	0.2



شکل ۵ مقایسه وضعیت فاکتور نور روز هندسه پلان مستطیل (Rec 02)؛ در الگوی شیب ۸ گانه و در آلترناتیو سه گانه سقف داخلی

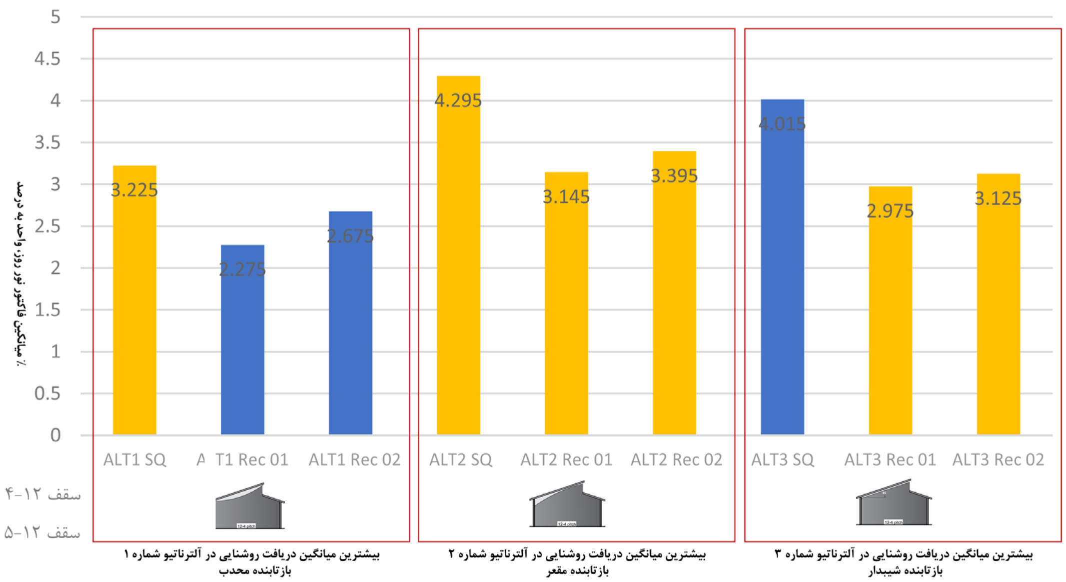
از سویی دیگر همان‌گونه که در شکل فوق مشاهده می‌گردد؛ سقف کاذب داخلی با بازتابنده مقعر (آلترناتیو شماره ۲) با میانگین دریافت ۳.۳۹۵ منجر به افزایش میانگین فاکتور نور روز نسبت به آلترناتیوهای سه‌گانه گردیده است. در مرتبه دوم سقف با نسبت شیب (۴-۱۲) یا آلترناتیو شماره ۳ با میانگین دریافت ۲.۳۶ درصد قرار دارد که نسبت به آلترناتیو شماره ۱ با میانگین دریافت ۲.۰۵ درصد؛ اختلاف زیادی را تجربه می‌کند و بیشترین بهره‌وری آن در شیب (۵-۱۲) با شیب ۲۳ درجه اتفاق می‌افتد. ازاین‌رو بررسی‌ها نمایانگر آن است که نقش فرم داخلی سقف، در پلان مستطیل شکل (Rec02) نسبت به پلان مربع و پلان مستطیل شکل(Rec01) ، تأثیرات و تغییرات کمتری را در افزایش دریافت روشنایی نور روز همراه خواهد داشت. این در حالی است که با مشاهده در این هندسه پلان نیز مشخص گردید تأثیر نسبت شیب سقف در میزان دریافت روشنایی نور روز بسیار بالاتر از فرم بازتابنده داخلی بوده است. این تأثیر در بازه ۰.۴ تا ۲.۶ درصد فاکتور نور روز در نوسان می‌باشد.

مقایسه داده‌ها در آلترناتیوهای مختلف حاکی از این است که متغیر نسبت شیب سقف، تا حدود سه برابر در میزان نور روز دریافتی در فضا نقش ایفا می‌کند. این در حالی ست که متغیر فرم بازتابنده سقف داخلی، در بازه کوچک‌تری تأثیر بر نور دریافتی داشته و رابطه مستقیمی با میزان تغییر شیب نداشته نقطه عطف‌های مشاهده‌شده در نمودار، با توجه به تغییر سطح تابش گیر بازتابنده ایجادشده‌اند (شکل ۶).

۴- نتیجه‌گیری

داده‌های منتج آزمایش‌ها در شرایط آسمان پوشیده از ابر، نشان از این دارند که در نورگیرهای کلرستوری سقفی؛ فارغ از هندسه پلان اتاق و همچنین فرم بازتابنده داخلی سقف، مؤثرترین مؤلفه در عملکرد نورگیرها، نسبت شیب سقف است که بیشترین بازه تغییر را در روشنایی فضای داخلی ایجاد می‌کند و شیب سقف ۱۸ درجه با الگوی شیب سقفی (۴-۱۲) بهترین بهره‌وری را در میان شیب‌های مختلف سقف به دست می‌دهد. نسبت شیب مذکور در تمامی آزمون‌ها توانایی تأمین فاکتور نور روز ۳.۳۵ درصد را کسب نموده و تنها در آلترناتیو شماره ۱ و در دو هندسه پلان مستطیل شکل به بازه ۱.۷ تا ۲.۴۱ دست‌یافته است. این درحالی‌ست که نسبت شیب (۵-۱۲) و (۳-۱۲) در آزمون‌ها مختلف توانایی کسب فاکتور نور روز بالای ۱.۵ درصد را تجربه کرده‌اند.

بازه روشنایی تأمین‌شده در سه نسبت شیب فوق با توجه به شرایط آسمان ابری و استانداردهای روشنایی نور روز، بسیار چشمگیر و قابل‌توجه می‌باشد. بررسی نتایج نشان از این دارد که، نسبت شیب (۸-۱۲) در هر شرایط هندسه پلانی و همچنین هر فرم بازتابنده داخلی؛ از کمترین بهره‌وری دریافت نور روز در شرایط آسمان تمام ابری برخوردار است. از سویی دیگر، بررسی‌ها نشان می‌دهد با ثابت در نظر گرفتن مؤلفه شیب سقف و فرم بازتابنده داخلی، هندسه پلان مربع، در بین سه هندسه پلان پژوهش، رفتار نوری مناسب‌تری را در فضای داخلی ایجاد می‌کند. در مرتبه دوم هندسه پلان "مستطیل شکل طولی" شرایط مناسب‌تری را نسبت به هندسه سوم داراست.



شکل ۶ مقایسه تمام آلترناتیو ها با یکدیگر از نظر بیشترین سطوح میانگین دریافت DF

۵- مراجع

[1] R. P. Leslie. Capturing the daylight dividend in building: why and how?, *Journal of Building & Environment*, Vol. 38, No. 2, pp. 381–385, 2013.

[2] Z. Kristl, A. Krainer, Light wells in residential building as a complimentary daylight source, *Journal of Solar Energy*, Vol. 65, pp. 197–206, 1998.

[3] Statistical Centre of Iran, *Summary of Survey Results on the Construction Permits Issued By the Municipalities of the Country*, pp. 40, 2010.

[4] Chartered Institution of Building Services Engineers, *Daylighting and Window Design*, Chartered Institution of Building Services Engineers, London, 1999.

[5] I. Acosta, J. Navarro, J. José Sendra, Daylighting design with lightscoop skylights: Towards an optimization of shape under overcast sky conditions, *Energy and Buildings*, Vol. 60, pp. 232–238, 2013.

[6] P. Xue, C.M. Mak, H.D. Cheung, New static lightshelf system design of clerestory windows for Hong Kong, *Building and Environment*, Vol. 72, pp. 368-376, 2013.

[7] S. Treado, G. Gillette, T. Kusuda, Daylighting with windows, skylights, and clerestories, *Energy and Buildings*, Vol. 6, pp. 319-330, 1984.

[8] J.I. Peren, T. van Hooff, R. Ramponi, B. Blocken, B.C.C. Leite, Impact of roof geometry of an isolated leeward sawtooth roof building on cross-ventilation: Straight, concave, hybrid or convex?, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 145, pp. 102-114, 2015.

[9] F. De Luca, T. Dogan, J. Kurnitski, Methodology for determining fenestration ranges for daylight and energy efficiency in Estonia, *Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design (SIMAUD '18). Society for Computer Simulation International*, San Diego, CA, USA, pp. 1–8, 2018.

[10] Z.S. Zomorodian, S. S. Korsavi, M. Tahsildoost, The effect of window configuration on daylight performance in classrooms: A field and simulation study, *International Journal Of Architectural Engineering And Urban Planning*, Vol. 26, N0. 1, pp. 15 - 24, 2016.

[11] M. Theodora, D. Lambros, Evaluation of Different Roof Types Concerning Daylight in Industrial Buildings during the Initial Design Phase: Methodology and Case Study, *Buildings*, Vol. 9, No. 7, pp. 170, 2019.

[12] Building Integration Workshop, *Daylight + A saw tooth roof*, https://ssb2014clements.wordpress.com, 2021.

[13] F. Asdrubali, Daylighting performance of sawtooth roofs of industrial buildings, *Lighting Research & echnology,* Vol. 35, No. 4, pp. 343-358, 2003. doi:10.1191/1365782803li094oa.

[14] F. De Luca, R. Simson, J. Kurnitski , Energy and daylighting performance design of skylights and clerestories in a large hall retail building , *12th REHVA World Congress CLIMA*, Aalborg, Vol. 2, 2016.

[15] M. Gholipour Gashniani, F. M. Saradj, M. Faizi, Integration Issues for Using Innovative Daylighting Strategies in Light Wells, *Journal of Applied Engineering Sciences*, Vol. 7, No. 2, pp. 31–38, 2017.

[16] M. Faizi, F. M. Seraj, M. G. Gashniani, Review of the innovative strategies to improve daylight penetration in building, *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, Vol. 8, pp. 1428–1447, 2016.

[17] M. Gholipour Gashniani, Decision making criteria for Optimal Selection of Innovative Daylighting Systems in Buildings, Using Integrated Delphi/Dematel/AHP Approach, International *Journal of Multicultural and Multireligious Understanding*, Vol. 7, pp. 27-36, 2020.

[18] Pohl, W., & Anselm C. C. Review of existing Heliostats. *European Commission DG XII*, Austria, 2000.

[19] J. T. Kim, G. Kim, Overview and new developments in optical daylighting systems for building a healthy indoor environment, *Building and Environment*, Vol. 45, No. 2, pp. 256–269, 2010. article. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.024.

[20] Kh. Al-Khatatbeh, M. Shouib Nouh, Improving visual comfort and energy efficiency in existing classrooms using passive daylighting techniques, *Energy Procedia*, Vol. 136, pp. 102-108, 2017.

[21] CIE, *Spatial Distribution of Daylight – CIE Standard General Sky*, Commission, Internationale de l'Éclairage, CIE S 011/E: 2003.

[22] P. Moon, D.E. Spencer, Illumination from a non-uniform sky, *Journal of the Illuminating Engineering Society*, Vol. 37, pp. 707–726, 1942.

[23] R.G. Hopkinson, P. Petherbridge, J. Longmore, *Daylighting*, Heinemann, London, 1966.

[24] M. Roshan, F. Saadat, Experimental Investigation of Light Shelf System Performance to Improve the Quality of Natural Light Indoors in Guilan, *Journal of Renewable and New Energy*, Vol. 7, No. 2, pp. 46-57, 2020. (in Persian)

[25] K. Kondáš, S. Darula, Daylighting on the working plane in oriented attic rooms under overcast and clear sky, *Journal of Civil Engineering,* Vol. 9, No. 1, pp. 33-40, https://doi.org/10.2478/sspjce-2014-0004

[26] M. Kazemzadeh, , M. tahbaz, measuring and analyzing daylight condition in traditional kerman houses (aminian house). *memari-va-shahrsazi (honar-ha-ye-ziba),* Vol. 18, No. 2, pp. 17-26, 2013. https://www.sid.ir/en/journal/viewpaper.aspx?id=548044

[27] N. Gromicko, B. Gromicko, *Measuring Roof Slope and Pitch*, National Association of Certified Home Inspectors, 2015. https://www.nachi.org/roof-slope-pitch.htm

[28] CIE, *International lighting vocabulary*, l'Éclairage, CIE S 017, 2011.