



# بهینه‌سازی مصرف انرژی و آسایش دیداری ساختمان اداری با استفاده از سایبان‌های متحرک

مهران شاهمرادی<sup>1</sup>، افسانه زرکش<sup>2\*</sup> و منصور یگانه<sup>3</sup>

تاریخ دریافت: 1401/05/20

تاریخ پذیرش: 1401/11/14

## چکیده:

**مقدمه:** نماها مرز داخل و خارج ساختمان‌ها هستند، بنابراین از اهمیت فوق‌العاده‌ای در جهت ارتقای کیفیت زندگی و کاهش مصرف انرژی برخوردارند. امروزه با استفاده از معماری حرکتی می‌توان آسایش افراد داخل بنا را بهبود بخشید. پارامتریک بودن نماها امکان می‌دهد حرکت سایبان‌ها در ساعات مختلف را به صورت کدهای قابل تعریف برای رایانه‌ها و ربات‌های حرکتی انتقال داد. این عمل باعث می‌شود تا نمای ساختمان سامانه پویا و اقتباسی از طبیعت در جهت مصرف بهینه انرژی داشته باشد.

**روش تحقیق:** این پژوهش با روش شبیه‌سازی و تحلیل و توصیف داده‌ها انجام شده که برای یافتن حالات بهینه از الگوریتم ژنتیک استفاده کرده است. روش‌های گردآوری اطلاعات عبارتند از منابع معتبر کتابخانه‌ای و اینترنتی و استفاده از شبیه‌سازی ساختمان مورد نظر و اعمال حالات مختلف سایبان‌ها و اندازه‌گیری میزان مصرف انرژی و شاخص‌های آسایش دیداری.

**نتایج و بحث:** فرضیه این است که سایبان‌های متحرک بیشتر از سایبان ثابت مصرف انرژی را با حفظ آسایش دیداری، بهینه خواهند کرد. **نتیجه‌گیری:** بررسی داده‌های پژوهش و مقایسه نمونه متحرک با نمونه‌های بدون سایبان مقدار 32% کاهش در مصرف انرژی و تأمین 55% نور داخلی را نشان می‌دهد.

**واژگان کلیدی:** نمای پارامتریک، بهره‌وری مصرف انرژی، تطبیق پذیری، نمای متحرک.

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول با عنوان "طراحی پارامتریک نماهای انطباق‌پذیر با تأکید بر بهره‌وری در مصرف انرژی، مورد پژوهی: طراحی برج اداری در تهران" است که با راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم در دانشگاه تربیت مدرس تهران انجام شده است.

<sup>1</sup> کارشناس ارشد معماری، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

<sup>2</sup> استادیار، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. (نویسنده مسئول) zarkesh@modares.ac.ir

<sup>3</sup> دانشیار، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

## 1- مقدمه

بر اساس مطالعات انجام شده، ساختمان‌ها 34٪ انرژی کل جهان را مصرف می‌کنند. این مقدار حتی بیش از انرژی مورد نیاز برای صنعت و ترابری است (Shakouri, Hassanabadi & Banhashemi, 2012). با توجه به نقش مؤثر انرژی در توسعه اقتصادی و افزایش مصرف آن به موازات رشد جوامع بشری، عنایت به محدودیت منابع و پیش‌گیری از رویارویی با بحران انرژی، لزوم صرفه‌جویی با مدیریت مصرف ضروری است. به‌ویژه، مصرف بالای انرژی در ساختمان‌ها از عمده‌ترین مسایل کشورهای در حال توسعه است که در عین حال دارای آثار اقتصادی و زیست‌محیطی مصرف شایان توجهی است. در خصوص این موضوع مطالعات مرتبطی در قالب کتاب، پایان‌نامه و مقاله انجام شده است. از سوی دیگر یکی از راهبردها در معماری، افزایش مطلوبیت کیفیت فضای داخلی از طریق نما و پوسته شفاف برای زیستن انسان است. طراحی نمای ساختمان با استفاده از پارامترهای محیطی و استفاده از نرم‌افزار لیدی‌باگ<sup>1</sup> و هانی‌بی<sup>2</sup> جهت تحلیل و تفسیر مدل و در نهایت بهینه‌یابی متغیرها برای کاهش مصرف انرژی از جنبه‌های نوآوری پژوهش است، لذا این تحقیق با این پیش‌فرض‌ها که می‌توان نور و حرارت طبیعی را در معماری کنترل نمود و به نحو مناسبی آن‌ها را وارد فضا کرد و این امر با استفاده از نرم‌افزار لیدی‌باگ، هانی‌بی، انرژی پلاس<sup>3</sup>، دیسیم<sup>4</sup> و گالاپاگوس<sup>5</sup> و کاربرد سایبان متحرک (لوور)<sup>6</sup> امکان‌پذیر است، شکل می‌گیرد. با استفاده از سامانه رایانه‌ای و طراحی پارامتریک امکان تحلیل چند هدفه<sup>7</sup> سایبان‌ها فراهم می‌شود که امکان بررسی متغیرهای مختلفی را به ما می‌دهد که در نتیجه بهینه‌یابی مصرف انرژی اثر مثبتی خواهد داشت. هدف کلی در این پژوهش مطالعه سایبان‌های پارامتریک متحرک و متغیرهای آسایش حرارتی<sup>8</sup> و آسایش دیداری<sup>9</sup> است که با بهینه‌یابی متغیرها در شرایط آسایش، انرژی مصرفی ساختمان را کاهش دهد. پارامترهای محیطی مؤثر در این موضوع از مقاله تبادل‌کنی و همکاری برداشت شده است. طراحی سایبان بر اساس نمونه‌های طراحی‌شده قبلی بازطراحی خواهد شد. مقالات انجام

شده در این زمینه توسط تبادل‌کنی و همکاری با استفاده از سایبان‌های هگزگون و الگوریتم ژنتیک با کاربرد افزونه گالاپاگوس سعی در افزایش آسایش دیداری داشته است. حسینی و همکاری با استفاده از تعریف نقطه جذب بر روی جداره شفاف ساختمان تلاش در یکپارچه کردن سایبان‌ها و صرفاً افزایش آسایش دیداری را داشته‌اند (Hosseini et al., 2019). معتمدی و همکاری با کمک سایبان‌های متحرک بدون در نظر داشتن آسایش دیداری سعی در کاهش مصرف انرژی داشته‌اند (Motamedi & Liedl, 2017). متغیرهای مورد بررسی صرفاً در حیطه آسایش دیداری و یا کاهش مصرف انرژی بوده که هدف این مطالعه با تلفیق این دو مقوله بررسی چند هدفه مدل است. ساختمان مورد نظر با سایبان‌هایی برگرفته از مقاله (Koo et al., 2010) پوشانده می‌شود. در این مرحله نرم‌افزارهای تحلیلی جهت به‌دست آوردن داده‌ها (داده‌های این پژوهش عبارتند از اعداد مربوط به شاخص‌های UDI, DGP, DGI, بار گرمایشی و سرمایشی و کل، دمای هوای داخل، موقعیت سایبان و ...) به‌کار می‌رود. نرم‌افزارهای مورد استفاده در این پژوهش شامل راینو<sup>10</sup> (نرم‌افزار طراحی سه‌بعدی) گرسه‌پا<sup>11</sup> (نرم‌افزار الگوریتمیک به صورت پلاگین در برنامه راینو اجرا می‌شود و امکان تغییر پارامترهای ورودی در هر مرحله از طراحی را به کاربر می‌دهد) لیدی‌باگ و هانی‌بی (به‌عنوان پلاگین در نرم‌افزار گرسه‌پا اجرا می‌شوند که به ترتیب تحلیل‌های اقلیمی، آب‌وهوایی و تحلیل نور و مصرف انرژی را در اختیار می‌گذارند) انرژی پلاس (به‌عنوان کامپوننت در پلاگین هانی‌بی اجرا می‌شود و وظیفه تحلیل انرژی با توجه به مواد مصرفی و همچنین فایل آب‌وهوایی منطقه بر روی طرح را دارد. ریدینس<sup>12</sup> به‌عنوان مجموعه کامپوننت بر روی هانی‌بی اجرا می‌شود و میزان نور ورودی ساختمان و خیرگی را بررسی می‌کند. گالاپاگوس به‌عنوان کامپوننت در نرم‌افزار گرسه‌پا اجرا می‌شود و بین پارامترهای وارده در الگوریتم بهینه‌ترین حالت ممکن را نمایش می‌دهد. از آنجا که نرم‌افزارهای لیدی‌باگ و هانی‌بی واسط کاربری برای نرم‌افزار انرژی پلاس هستند، اعتبار انرژی پلاس در واقع اعتباری برای این



الگوریتم محاسبه روش backward raytracing را به کار می برد که شبیه سازی های نور روز دقیق و از نظر فیزیکی معتبر را امکان پذیر می کند (Karadag & Keskin, 2021). افزونه گالاپاگوس که عملیات بهینه یابی را انجام می دهد از الگوریتم ژنتیک استفاده می کند و این الگوریتم یکی از شایع ترین و برترین الگوریتم های بهینه یابی در علوم رایانه محسوب می شود، که در اکثر مقالات استفاده شده است. از جمله مقالات جدیدی که به بررسی و مقایسه این الگوریتم پرداخته مقاله چن و همکاران است که در سال 2019 انجام شده (Chen et al., 2019).

نرم افزارهاست. در سال 2011 اعتبار این نرم افزار توسط استاندارد اشری و ANSI<sup>13</sup> بررسی و تأیید شده است. پلاگین<sup>14</sup> ابزاری لیدی باگ چند موتور شبیه سازی معتبر مثل ریدینس، انرژی پلاس، و اپن استادیو<sup>15</sup> را به کار می برد (Solvang et al., 2020). محاسبه نور با مدل ریدینس که الگویی برای نرم افزار ریدینس است توسط مقالات متعددی اعتبارسنجی شده که از جمله مقاله رینهارت و همکاران (Reinhart & Andersen, 2006) و یا سایت شرکت ریدینس است. وسیع ترین برنامه شبیه سازی استفاده شده و معتبر، ریدینس است.

جدول 1- پیشینه پژوهش های انجام شده

Tab. 1-Background of the done researches

نویسنده	روش محاسبات	روش بهینه یابی	الگوریتم	ابزار مورد استفاده	نوع ساختمان	میزان خطا در مدل	اعتبار سنجی مدل	نوع سایبان	میزان صرفه جویی در مصرف انرژی	میزان روشنی	نوعی
(Mcneil & Lee, 2013)	محاسبات دستی	PA	محاسبات دستی	محاسبات	اداری	0.046	-	لوور متحرک	22-27%	محاسبه نشده	متحرک کردن سایبان ها
(Manzan, 2014)	انرژی پلاس	PB-SO	ژنتیک	شبیه سازی	اداری	0.035	EUI	لوور ثابت	19-30%	محاسبه نشده	دو قسمت کردن سایبان
(Khoroshiltseva et al., 2016)	دیزاین بیلدر	PB-MO	HSA	شبیه سازی	مسکونی	0.036	-	لوور ثابت دورانی	9-20%	محاسبه نشده	-
(Zani et al., 2017)	انرژی پلاس ریدینس	PB-MO	ژنتیک	شبیه سازی	اداری	0.027	EUI	لوور ثابت دورانی	9%	20%	روش کار - بهینه یابی همزمان
(Manzan M. C., 2017)	انرژی پلاس	PB-MO	NSGA-II	شبیه سازی	اداری	0.03	EUI	لوور ثابت دورانی	26%	محاسبه نشده	روش کار- بهینه یابی با الگوریتم NSGA-II
(Katsifaraki et al., 2017)	انرژی پلاس	FC	FIS	شبیه سازی	اداری	0.029	EUI	لوور ثابت دورانی	10-13%	محاسبه نشده	روش کار- بهینه یابی با الگوریتم FIS
(Motamedi & Liedl, 2017)	دیزاین بیلدر	PB-SO	ژنتیک	شبیه سازی	اداری	0.025	MPE	لوور ثابت دورانی	20%	محاسبه نشده	روش کار
(Mangkuto et al., 2018)	ریدینس	PB-MO	ژنتیک	شبیه سازی	بیمارستان	0.026	-	لوور ثابت ثابت	4.9-16.7%	محاسبه نشده	روش کار
(Sghouri et al., 2018)	انرژی پلاس	PB-SO	NSGA-II	شبیه سازی	مسکونی	0.022	MPE	لوور ثابت دورانی	4.1%	محاسبه نشده	روش کار

نویسنده	روش محاسبات	روش بهینه یابی	الگوریتم	بازار مورد استفاده	نوع ساختمان	میزان خطا در مدل	اعتبار سنجی مدل	نوع سایبان	میزان صرف انرژی در مصرف انرژی	میزان روشنایی	نوع انرژی
(Santos et al., 2018)	ریدینس، دیسیم	PB-SO	ژنتیک	شبه سازی	اداری	0.018	EUI	لوور ثابت دورانی	محاسبه نشده	50%	استفاده از متریاال ترنسولوست
(Tabadkani et al., 2018)	ریدینس، دیسیم	PB-SO	ژنتیک	شبه سازی	اداری	0.018	-	سایبان متحرک	محاسبه نشده	50%	استفاده از اورینگامی در طراحی سایبان
(Hosseini et al., 2019)	ریدینس	PB-SO	ژنتیک	شبه سازی	اداری	0.019	-	سایبان متحرک	محاسبه نشده	50%	استفاده از نقطه جذب برای تحرک سایبان ها

PB-MO=Performance evaluation based multi-objective optimization.  
 PB-SO=Performance evaluation based single-objective optimization.  
 PA=Parametric Analysis  
 HSA=Harmony search algorithm.  
 FIS=Fuzzy Inference System.  
 NSGA=Non-dominated Sorting Genetic Algorithm  
 EUI=Energy Use Intensity  
 MPE=Multi-objective Performance Evaluation

## 2- روش تحقیق

در این پژوهش تنظیم و کنترل نور طبیعی و حرارت خورشید و حداکثر استفاده از آن که از بیرون به فضای داخل وارد می شود با استفاده از سایبان متحرک (لوور) است. لذا متغیر مستقل در این جا کلا یک عنصر کالبدی ساختمان شامل لوور است که مشخصات آن عبارت از تعداد لوورها، زوایای قرارگیری شان، عمق آنها و راستای لوورها تعیین می شود که سبب کاهش مصرف انرژی و نور مناسب در درون بنا می شود. متغیر وابسته هم مصرف انرژی و بار سرمایش و بار گرمایش و کیفیت نور طبیعی است. متغیر مداخله گر اقلیم شهر تهران است که در آب و هوای گرم و خشک فرار دارد.

### 1-2- شاخص های نور روز

نمای سازگار مفهوم جدیدی برای واژه "پایدار" نیست؛ مفهوم نماهای سازگار با طبیعت در واقع از آغاز قرن بیستم میلادی در حال تکامل است (Hopkinson, 1972). در دهه های اخیر ساختمان هایی با جداره های نیمه شفاف، یا کاملاً شیشه ای با استفاده از سامانه تطبیق پذیر بسیار گسترش یافته است. از علل تقاضای آنها می توان به دریافت بیشینه نور و محدوده دید وسیع اشاره کرد. تلاش های قابل توجهی در این زمینه انجام شده از جمله شیشه های الکتروکرومیک، سایبان های

متحرک زمان بندی شده، حسگردار یا هوشمند و ... که هدف آنها استفاده بهینه از انرژی بوده است. مفهوم تطبیق پذیری یا سازگاری در اینجا بیانگر قابلیت استفاده حداکثری از شرایط آب و هوایی خارجی به منظور تأمین آسایش در داخل ساختمان است (Loonen et al., 2013). مطالعه آسایش دیداری و حرارتی ساکنین بنا بسیار گسترده بوده و شاخص های فراوانی در این زمینه مطرح شده است. از جمله تحقیقاتی که به دسته بندی شاخص های این موضوع پرداخته مقاله کارلوچی است. از 34 شاخصی که توسط او دسته بندی شده است؛ 17 (50%) تا مربوط به خیرگی، 9 (26%) تا مربوط به مقدار نور، 7 (21%) تا مربوط به کیفیت نور و 1 (3%) شاخص مربوط به یکنواختی نور است (Carlucci et al, 2015). در نهایت با اقتباس از مقاله تبادکانی برای آسایش دیداری شاخص های UDI, DGP, DGI به عنوان شاخص های مورد بررسی این پژوهش در نظر گرفته شده است.

UDI<sup>6</sup>! این شاخص یکی از مهم ترین شاخص ها در زمینه آسایش دیداری محسوب می شود. در واقع، الگوی جدید برای ارزیابی روشنایی با بازه مقادیر روشنایی است که آسایش داخلی را با توجه به وظیفه بصری تضمین می کند. شاخص مذکور میزان نور روز است که براساس داده های آب و هوایی واقعی قسمتی از سال عمل می کند.



<sup>18</sup> تعریف خیرگی این گونه آمده است: وضعیت بینایی که در آن احساس ناراحتی یا کاهش توانایی در دیدن جزئیات یا اشیاء ناشی از توزیع نامناسب یا دامنه روشنایی و یا تضاد شدید است، (CIBSE, 1983) (CIE, 2006). بنابراین دو نوع خیرگی وجود دارد؛ 1. خیرگی ناتوان کننده 2. خیرگی ناراحت کننده. در نوع اول بعد از رسیدن نور به چشم، باعث کاهش عملکرد بینایی می شود و در نوع دوم نور رسیده به چشم باعث اذیت و ناراحتی ساکنین می شود (The CIBSE SSL code for lighting, 2012). یکی از شاخص های مفید برای ارزیابی میزان خیرگی DGI<sup>19</sup> (شاخص خیرگی نور روز) است که با استفاده از فرمول 2 محاسبه می شود:

$$DGI = 10 \log_{10} 0.48 \sum_{i=1}^n \frac{L_{s,i}^{1.6} \Omega_{s,i}^{0.8}}{L_b + (0.07 \omega_{s,i}^{0.5} L_{s,i})} \quad (2)$$

شاخص باید در محدوده قابل قبول  
آسایش دیداری قرار گیرد.

(McNeil & Burrell, 2016)

$$DGI = 10 \log_{10} 0.48 \sum_{i=1}^n \frac{L_{s,i}^{1.6} \Omega_{s,i}^{0.8}}{L_b + (0.07 \omega_{s,i}^{0.5} L_{s,i})}$$

(CIE, 2006) (Bellia, 2008)

جدول 2- محدوده شاخص خیرگی

Tab. 2 Range of glare index

DGI	محدوده
0-10	غیر قابل توجه
10-16	قابل توجه
16-22	قابل قبول
22-28	ناراحت
>28	تحمل ناپذیر

یکی دیگر از شاخص های آسایش دیداری، احتمال خیرگی نور روز DGP<sup>20</sup> است که از طریق معادله زیر محاسبه می شود:

$$DGP = 5.87 \times 10^{-5} E_v + 9.18 \times 10^{-2} \log \left( 1 + \sum_{i=1}^n \frac{L_{s,i}^2 \omega_{s,i}}{E_v^{1.87} + P_{s,i}^2} \right) + 0.16 \quad (3)$$

(Caloeytoy et al., 2020)

که در این رابطه :

$E_v$  : درخشش عمودی در چشم بر حسب لوکس (lux) است  
 $L_s$  : درخشش منبع ( $Cd/m^2$ )  
 $\omega$  : زاویه فضایی منبع بر حسب استرادیان (Sr) است.

از این شاخص برای اعلام مقدار نور مفید تابیده شده به داخل ساختمان استفاده می شود که در سه مقدار بیشینه، کمینه، و مناسب قابل بیان است. روشنایی مفید نور روز نشان دهنده آن است که روشنایی طبیعی در دسترس در ساختمان، در چه میزان از کل زمان های اشغال آن مفید و قابل استفاده (بین 100 تا 2000 لوکس) بود و نیز چه درصدی از آن خیلی تاریک (کمتر از 100 لوکس) و یا خیلی روشن (بیش از 2000 لوکس) است. (Saeed Company, 2013) & Miri (واحد است و آن را با یک عدد بین صفر تا صد نمایش می دهند که بیانگر درصد از زمانی است که میزان نور به بازه مورد نظر رسیده است.

$$UDI = \frac{\sum_i (wfi \cdot ti)}{\sum_i ti} \quad (\text{Tabadkani et al., 2021}) \quad (1)$$

wf Weighting factor -  
t Time (hour) h  
E Illuminance lux

$$UDI_{overall} \text{ with } wfi = \begin{cases} 1 & \text{if } E_{Daylight} > E_{Upperlimit} \\ 0 & \text{if } E_{Daylight} \leq E_{Upperlimit} \end{cases}$$

$$UDI_{usefull} \text{ with } wfi = \begin{cases} 1 & \text{if } E_{Lowerlimit} \leq E_{Daylight} \leq E_{Upperlimit} \\ 0 & \text{if } E_{Daylight} < E_{Lowerlimit} \vee E_{Daylight} > E_{Upperlimit} \end{cases}$$

$$UDI_{overall} \text{ with } wfi = \begin{cases} 1 & \text{if } E_{Daylight} < E_{Lowerlimit} \\ 0 & \text{if } E_{Daylight} \geq E_{Lowerlimit} \end{cases}$$

(Tabadkani et al., 2021)

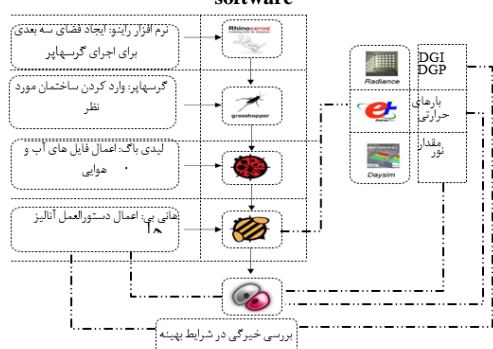
- UDI fell-short (UDI-s < 100 lux)
  - UDI achieved, (UDI-a form 100 lux to 2000 lux)
  - UDI exceed (UDI-e > 2000 lux)
- (Chauvel et al., 1982)

DGP, DGI: بهینه یابی استفاده از نور روز، یکی از مهم ترین موارد کیفیت محیطی برای ذخیره انرژی و آسایش دیداری است. همچنین شاخص هایی را مطرح می کند که طبق آن می توان دسترسی به نور روز را پیش بینی کرد. یکی از این شاخص ها که امکان بروز عدم آسایش ساکنین را به همراه دارد و همواره مورد نظر بوده، خیرگی است. آسایش بصری در فضاهای روزانه را می توان با ارزیابی صحیح از قضاوت های ساکنین از طریق آزمایش ها و یا با اعمال تابش خیره کننده و اثرات آن بر ساکنین ارزیابی نمود (Galatioto & Beccali, 2016).

طبق تعریف کتاب IESNA<sup>17</sup> خیرگی؛ احساس ایجاد شده توسط روشنایی در قسمت بینایی است که بیش از مقدار روشنایی مورد انطباق چشم ساکنین است که باعث ایجاد اذیت، ناراحتی یا از بین رفتن عملکرد بینایی است (IESNA, 2000, p. 245) همچنین در کتاب CIBSE

در بحث مدل سازی ابتدا مدل بنای مورد نظر در نرم افزار راینو تعریف و سپس در نرم افزار گرسهپار، مطالعات آب و هوایی به وسیله لیدی باگ وارد می شود (شکل 1). در ادامه با کمک کامپوننت های هانی بی به تعریف دستورالعمل های آنالیز پرداخته و نهایتاً با تعیین متغیرها عوامل مورد نظر بهینه یابی خواهد شد (اشکال 1 و 2).

شکل 1- روش کار با مجموعه نرم افزارهای تحلیل نور و انرژی  
Fig. 1 How to work with light and energy analysis software



اندازه کلی ساختمان مورد نظر پلان مربعی به ابعاد 10\*10 متر، در 10 طبقه هر یک به ارتفاع 3 متر در نظر گرفته شده است که برداشتی از مدل ارائه شده در مقاله تبادکانی است و جهت گیری آن راستای شمالی جنوبی است (شکل 3). هدف اصلی این پژوهش بررسی نمای جنوبی ساختمان در روزهای ابتدایی فصول است تا بیشترین تغییرات مشخص شود. حجم ساختمان با ابعاد مذکور در راینو و گرسهپار وارد می شود. تنها نورگیر ساختمان از سمت جنوب است و نمای جنوبی تماماً شیشه در نظر گرفته شده که ابعاد نورگیر برابر با نمای هر طبقه ساختمان یعنی 3 متر (ارتفاع) و 10 متر (عرض) است تا تاثیر سایبان ها بدون تأثیر دیگر عوامل بررسی شود. از این رو یک طبقه از این ساختمان بعنوان نمونه در نظر گرفته می شود.

## 2-2- موقعیت و آب و هوای ساختمان

ساختمان مورد نظر در ایران، شهر تهران واقع شده است. شهر تهران در 51 درجه و 17 دقیقه تا 51 درجه و 33 دقیقه طول شرقی و 35 درجه و 36 دقیقه تا 35

P : شاخص موقعیت گوت  
شاخص DGP یک آنالیز جامع از پدیده خیرگی ارائه می دهد. معادله ساده شده DGP<sub>s</sub> به شکل زیر نوشته می شود:  
$$DGP_s = 6.22 \times 10^{-5} E_v + 0.184$$
 (Caloeytoy et al., 2020)

DGP تنها شاخص وابسته به درخشش عمودی چشم است که رابطه بسیار قوی با میزان درک روشنایی ساکنین در طول زمان برقرار می کند. این شاخص برای مقایسه طرح های مختلف و استراتژی های کنترل نور استفاده می شود. این شاخص به راحتی می تواند توسط نرم افزار دی سیم محاسبه شود. برای تعیین معیار واحد خیرگی که برای شبیه سازی سالانه نیز مناسب است، شرایط آسایش در کلاس های (A, B, C) براساس روش آنالیز آسایش حرارتی انجام می شود. این کلاس ها بر اساس زمان حضور ساکنین در فضا تعریف شده است. اکنون پیشنهاد این است که 95٪ وقوع DGP<sub>s</sub> کمتر از شدت مقداری باشد که برای یک کلاس خاص در نظر گرفته می شود. بهترین حالت زمانی است که 95٪ بازه زمان اداری خیرگی در حالت غیر محسوس قرار گیرد (Galatioto & Beccali, 2016).

جدول 3- کلاس های مختلف خیرگی (Galatioto & Beccali, 2016)

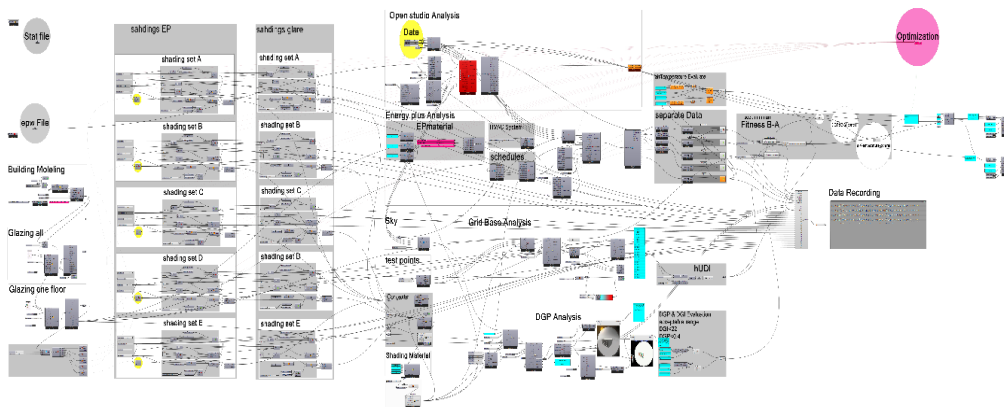
Tab. 3-Different classes of glare

کلاس	وضعیت خیرگی 95٪ بازه ساعات اداری	مقدار	شرایط
A	غیر محسوس <sup>3</sup>	DGP < 0.35	خوب
B	محسوس <sup>4</sup>	0.35 < DGP < 0.40	قابل قبول
C	مزاحم <sup>5</sup>	0.40 < DGP < 0.45	غیر قابل قبول
D	غیر قابل تحمل <sup>6</sup>	DGP > 0.45	غیر قابل قبول

شاخص های انرژی در نرم افزار انرژی پلاس پس از انجام آنالیز مقدار انرژی مصرف شده بر حسب وات بر متر مربع اعلام می شود. تمامی متغیرها از جمله جنس دیواره ها و جداره شفاف ثابت بود و از پژوهش تبادکانی برداشت شده است.

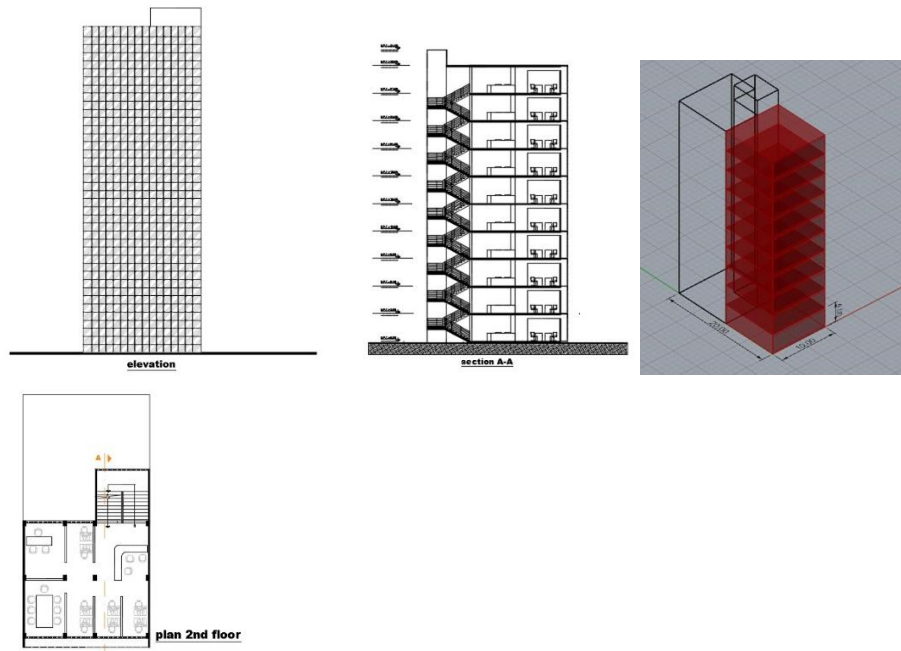
سازمان هوا شناسی بین‌المللی WMO برداشت شده است. این داده‌ها براساس میانگین سال‌های 2004 تا 2018 تعیین شده است. (<https://iranreb.com>) در ادامه، برنامه حرارتی زون حرارتی برای این ساختمان در نرم‌افزار هانی‌بی تعریف می‌شود: برنامه حرارتی ساختمان طبق شکل 5 فضای اداری تعریف شده و از انواع مختلف برنامه‌های حرارتی نوع اداره باز در نظر گرفته شده است.

درجه و 44 دقیقه عرض شمالی قرار دارد. موقعیت بنای موردنظر در بر خیابان آزادی جنب مترو شادمان واقع شده، که در تصویر زیر قابل مشاهده است. در این مطالعه اطلاعات آب‌وهوایی از فایل با فرمت epw<sup>21</sup> شامل فایل‌های آب‌وهوایی ساعتی از آنالیزهای اقلیمی در انرژی پلاس/ فرمت ESP EPW استفاده شد که شامل دمای هوا، رطوبت نسبی، زاویه و ارتفاع خورشید و ... است. فایل‌های اقلیمی هر شهر از سایت



شکل 2-نمای کلی الگوریتم بهینه‌یابی

Fig. 2-Overview of the optimization algorithm

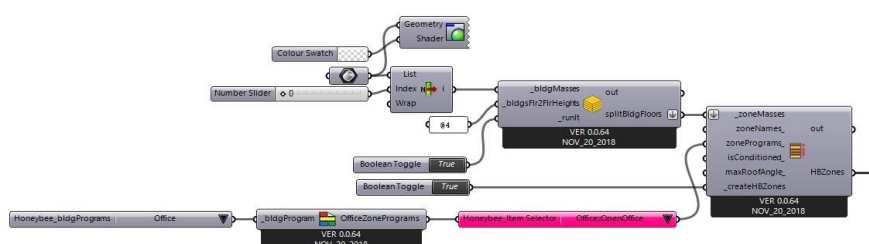


شکل 3-نقشه‌های ساختمان مورد نظر برای آنالیز

Fig. 3-Maps of the desired building for analysis

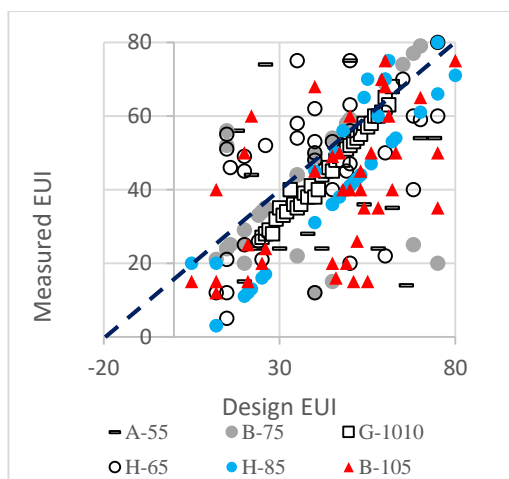


شکل 4-موقعیت ساختمان  
Fig. 4-Building Location



شکل 5-تعریف زون حرارتی و برنامه حرارتی در گرسهاپر  
Fig. 5-Definition of thermal zone and thermal program in Grasshopper

داده‌های نهایی ثبت می‌شوند ( Ryana & Sanquist, 2012).



شکل 6-مقدار EUI<sup>23</sup> برای مقایسه نتایج ثبتی استاندارد  
لیید با نتایج نرم‌افزاری این پژوهش

Fig. 6-The value of EUI to compare the results of the LEED standard registration with the software results of this research

### 2-3-اعتبارسنجی مدل انرژی

اعتبارسنجی مدل‌های انرژی ساختمان با هدف تأیید آن با توجه به شرایط واقعی محیط مورد نظر، مدل‌ها و فرضیات مهندسی که وارد مدل‌ها شده با واقعیت مقایسه می‌شوند. در این موارد اغلب واحدهای آزمایشی با مقیاس کوچکتر از مدل واقعی یا مقیاس یک به یک مدل‌سازی می‌شوند. مدل آزمایشی در نقاط مختلف جغرافیایی با مصالح دیواری ثبت شده در استاندارد لیید<sup>22</sup> در واقعیت ساخته می‌شوند (Loutzenhiser et al, 2009; Hoes et al., 2009). که معمولاً یک جبهه آن به صورت تمام شیشه‌ای در نظر گرفته می‌شود تا میزان تأثیر آب‌وهوای محیط خارج به داخل بررسی شود. در فضای داخلی مدل آزمایشی حس‌گرهایی قرار می‌گیرند که اطلاعات دقیق دما، رطوبت، میزان نور و ... برنامه‌های گرمایش، سرمایش و روشنایی را ثبت می‌کنند. عملیات آزمایش چندین بار انجام می‌پذیرد تا نتایج نهایی کم‌ترین خطا را داشته باشند و در نهایت میانگین عددی داده‌ها به‌عنوان





لیید است و بدیهی است که این مدل با ویژگی‌های حامل خود، بیشترین هم‌خوانی با مدل‌های فیزیکی را دارد و بهترین نمونه مدل برای ادامه تحقیقات با نرم‌افزار مذکور است. نتایج حاکی از آن است که مدل‌های G-1010، B75، H85 بیشترین تطابق با تابع  $x=y$  را نسبت به بقیه مدل‌ها دارند. از میان این سه مدل نیز مدل G-1010 بیشترین تطابق را دارد که در اکثر مقالات و مباحث انرژی این مدل برای کار با موتور انرژی پلاس استفاده شده است. دلیل انتخاب مدل G-1010 به عنوان بهترین مدل این است که نتایج برآورد شده با نرم‌افزار مورد استفاده در این پژوهش با نتایج ثبت شده در استاندارد لیید با معیار EUI بیشترین هم‌خوانی را دارد. در ادامه مدل G-1010 به عنوان بهترین مدل از نظر شاخص و معیار EUI به عنوان مدل انرژی انتخاب شد که خطای بسیار ناچیز (0.002) دارد که در بازه خطاهای قابل قبول استاندارد لیید است

(Turner & Frankel, 2008) ( $E < 0.05$ ).

#### سایبان

سایبان نمای ساختمان مجموعه لوورهای عمودی است که در طول نما و در هر 2 متر یک دسته سایبان تعریف شده‌اند. در مجموع با توجه به این که طول نما 10 متر است، 5 دسته سایبان برای نمای جنوبی تعریف می‌شود (شکل 7). هر دسته از سایبان‌ها از 10 عدد لوور تشکیل شده که عمق آنها متغیر است و همچنین زاویه و فاصله لوورها از هم نیز به عنوان متغیر در نظر گرفته شده تا بهترین شرایط بر اساس این متغیرها جستجو شود.

**الگوریتم ساخت سایبان‌ها در گرسه‌پار:** پس از مشخص کردن ابعاد کلی پنجره اضلاع عمودی آن استخراج شد و با دستور اکستروود<sup>25</sup> عمق سایبان مشخص شد. سپس با اعمال چرخش در زاویه‌های منفی/مثبت؛ 0،30،60،90 حرکت چرخشی برای آن تعریف شد. در نهایت با تکثیر<sup>26</sup> لوور ایجاد شده به تعداد 10 عدد و فاصله متغیر 0، 5، 10، 15، 20 یک دسته سایبان تکمیل می‌شود. با کپی کردن این احجام در راستای طولی نما، سایبان کامل تشکیل می‌شود (شکل 8). این نوع سایبان از مقاله (Koo et al., 2010) اقتباس شده است.

در نهایت نتایج داده‌های تحلیل شده توسط نرم‌افزار مورد بررسی و مدل آزمایشی مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد. نتایج مذکور در شکل 6 جمع‌آوری شده است. هر قدر داده‌های به دست آمده در نمودار نزدیک به خط چین ترسیم شده باشند، تطابق میان مدل نرم‌افزاری و مدل فیزیکی بیشتر است و در نتیجه آن مدل مورد اعتمادتر است (Ryana & Sanquist, 2012). مدل‌های ساختمانی برای تحلیل انرژی و انجام تحقیقات بر روی آنها توسط استاندارد لیید مشخص شده و جهت ارزیابی هر چه بهتر عمل کرد ساختمان بهتر است از این دستورات در مدل‌سازی استفاده شود. طبق استاندارد لیید:

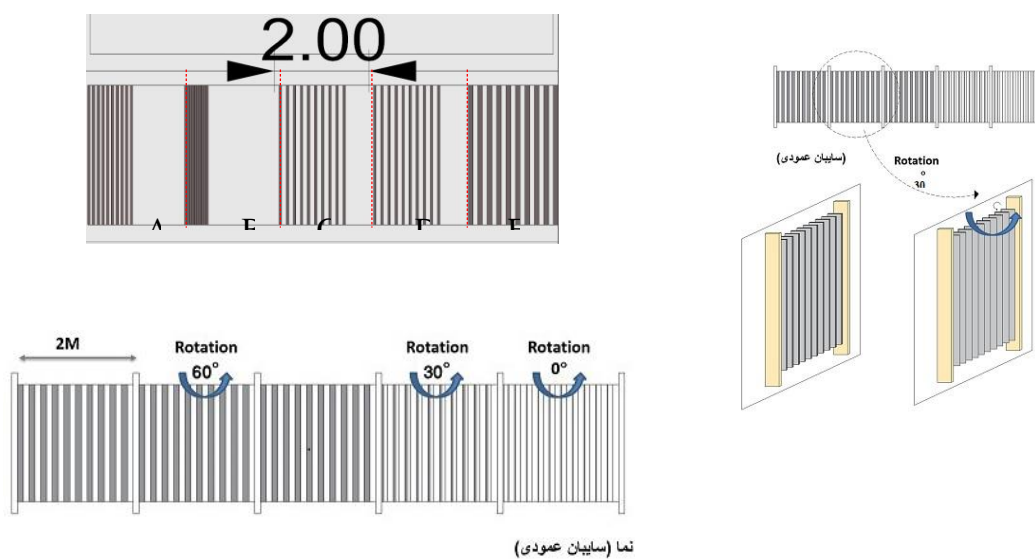
- مقدار عددی عرض و عمق مدل همواره بزرگتر، مساوی 1.5 برابر ارتفاع باشد.
  - مقدار عددی عمق مدل همواره بزرگتر، مساوی عرض آن باشد.
  - برای بررسی بهتر عملکرد بنا فقط یک جبهه مدل باز شو یا پنجره داشته باشد. (صرفاً برای مدل‌های تحقیقاتی)
  - باز شو یا پنجره مذکور معادل مقدار عددی بیش از 50 درصد مساحت جبهه مورد نظر باشد.
- ابعاد توصیه شده در استاندارد لیید (مدل‌های تحقیقاتی) در جدول 4 آمده است:
- برای استاندارد سازی مدل تحقیقی لازم است یکی از مدل‌های تعریف شده توسط استاندارد لیید انتخاب شود. در واقع مدل‌های موجود در جدول 4 در واقعیت ساخته شده و نتایج آن در مرکز اطلاعات آن ذخیره شده است. <sup>24</sup> پس از ساخت مدل انرژی مورد نظر، نتایج آن با استاندارد لیید مقایسه می‌شود. در صورتی که مدل در محدوده معین قرار داشته باشد آن مدل استاندارد و برای انجام کارهای تحقیقاتی مناسب است (Ryana & Sanquist, 2012).

مدل‌های معرفی شده توسط استاندارد لیید با موتور انرژی پلاس که برای تحلیل‌های این نرم‌افزار استفاده شده، تحلیل شده و نتایج آن در نمودار شکل 6 آمده است. مطابق با نمودار هر قدر نتایج نزدیک به نمودار  $x=y$  باشد، بدان معنا است که نتایج به دست آمده منطبق یا نزدیک به نتایج خروجی از مدل‌های واقعی استاندارد

جدول 4- مدل های پیشنهادی برای تحقیقات انرژی توسط استاندارد لیید (Turner & Frankel, 2008)

Tab. 4 Proposed models for energy research by LEED Standard

مدل	عمق	عرض	ارتفاع	جبهه بازشو	درصد بازشو	مشخصات دیوارها	مشخصات سقف	مشخصات کف	مشخصات بازشو	میانگین شاخص - EUI
A-55	5	5	3	جنوب	50	Ref:50%, R-value=1.43 Thickness=25cm, layers=4	Ref:70%, R-value=3 Thickness=35cm, layers=4	Ref:65%, R-value=2 Thickness=35cm, layers=3	Transmission=70%, airgap=0.01, layer=3	43
B-105	10	5	3.5	جنوب	60	Ref:60%, R-value=2 Thickness=20cm, layers=6	Ref:65%, R-value=2.1 Thickness=30cm, layers=5	Ref:70%, R-value=2.5 Thickness=45cm, layers=2	Transmission=70%, airgap=0.01, layer=3	46
B-75	7	5	3	جنوب	55	Ref:60%, R-value=0.85 Thickness=15cm, layers=3	Ref:60%, R-value=1.43 Thickness=30cm, layers=6	Ref:70%, R-value=2.1 Thickness=20cm, layers=3	Transmission=70%, airgap=0.01, layer=3	47
G-1010	10	10	3	جنوب	100	Ref:50%, R-value=1.22 Thickness=20cm, layers=5	Ref:65%, R-value=3 Thickness=35cm, layers=5	Ref:60%, R-value=2 Thickness=40cm, layers=3	Transmission=80%, airgap=0.01, layer=3	50
H-65	6	5	3	جنوب	55	Ref:50%, R-value=1.52 Thickness=20cm, layers=4	Ref:70%, R-value=3.1 Thickness=35cm, layers=6	Ref:60%, R-value=2.3 Thickness=40cm, layers=2	Transmission=70%, airgap=0.01, layer=3	45
H-85	8	5	3.5	جنوب	50	Ref:70%, R-value=1.1 Thickness=20cm, layers=5	Ref:65%, R-value=2.7 Thickness=35cm, layers=5	Ref:60%, R-value=2 Thickness=50cm, layers=3	Transmission=90%, airgap=0.01, layer=3	45

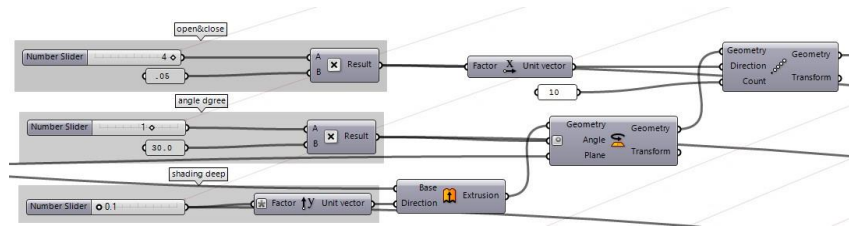


شکل 7- پنج دسته سایبان نما و حالات مختلف دسته ها با توجه به فاصله و زاویه چرخش متغیر لوورها

A: نیمه باز      B: باز      C: نیمه بسته      D: نیمه بسته      E: بسته  
 فاصله: 10      فاصله: 5      فاصله: 15      فاصله: 15      فاصله: 20

Fig. 7-Five types of façade shading and different states of them according to the variable distance and rotation angle of the louvers

A: semi-open      B: open      C: semi-closed      D: semi-closed      E: closed  
 distance: 10      distance: 5      distance: 15      distance: 15      distance: 20



شکل 8- الگوریتم سایبان متحرک دسته A  
**Fig. 8-Category A movable shading algorithm**

### الگوریتم شبیه‌سازی انرژی پلاس و دیسیم

پس از تکمیل فرآیندهای اخیر که توضیح داده شده به تعریف کدهای شبیه‌سازی نور و انرژی می‌پردازیم. تمامی کامپوننت‌های شبیه‌سازی در پلاگین هانی‌بی قرار دارد و با استفاده از کامپوننت‌های مربوطه اطلاعات به‌وسیله گرسه‌پایر در اختیار نرم‌افزار تحلیل دیسیم و انرژی پلاس قرار می‌گیرد (شکل 9)، و پس از تحلیل نتایج دوباره در محیط گرسه‌پایر و راینو قابل مشاهده هستند. در تحلیل انرژی پلاس کم‌ترین مدت‌زمان برای تحلیل 24 ساعت است که گام زمانی آن را می‌توان به‌صورت ساعتی، روزانه و یا ماهانه تنظیم کرد، در این پژوهش از آنجا که مطالعه به‌صورت لحظه‌ای است پس گام زمانی روی آنالیز ساعتی قرار گرفته می‌شود؛ تا امکان بررسی ساعتی مشخص وجود داشته باشد.

داده‌های دریافت شده برای هر آنالیز انرژی پلاس برای 24 ساعت بوده که هر یک از داده‌ها نشان‌دهنده میزان مصرف انرژی بار حرارتی مجموع، سرمایشی، گرمایشی است. چون هدف آنالیز بار حرارتی در یک ساعت به‌خصوص است، با کامپوننت item list داده مورد نظر از مجموعه داده‌ها جدا و در ادامه برای آنالیز میزان نور فضای داخلی از کامپوننت شبیه‌ساز نور روز هانی‌بی استفاده می‌شود. (شکل 10). دستورالعمل آنالیز از نوع شبیه‌ساز مبتنی بر شبکه<sup>27</sup> است که شبکه‌ها در محیط داخلی در ارتفاع 80 سانتی‌متری از سطح کف یعنی سطح میز کار که رو به بالا واقع شده قرار گرفته‌اند. این آنالیز ما را قادر می‌سازد تا روشنایی داخلی در ساعات مختلف سال اندازه‌گیری شود.

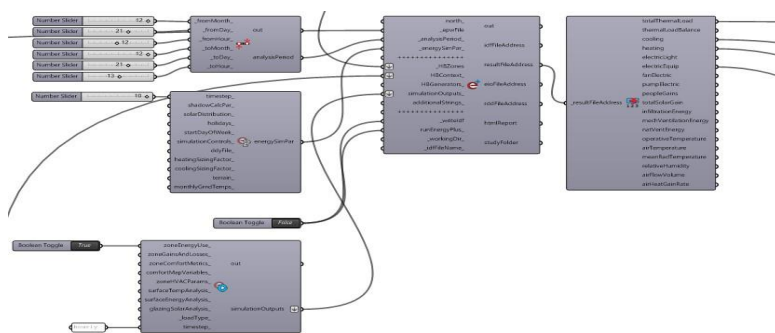
شبیه‌ساز مبتنی بر شبکه برای میزان نور ورودی در ساعات مختلف مورد نظر در تصاویر 11-14 آمده است. شبیه‌سازی شاخص خیرگی

برای بررسی میزان خیرگی محیط و یا همان شاخص‌های DGI و DGP از شبیه‌ساز نور مبتنی بر تصویر<sup>28</sup> (شکل 15) استفاده می‌شود که در این تحلیل موقعیت دوربین یا همان ناظر که خیرگی نسبت به موقعیت آن شبیه‌سازی می‌شود در نقطه مرکزی پلان اداره قرار دارد و جهت‌گیری آن رو به پنجره و عمود بر آن است (اشکال 16-19).

در مورد بهینه‌یابی که نحوه کار در شکل 20 آمده پس از مدل‌سازی و تعریف مدل در افزونه هانی‌بی، محاسبات UDI, DGP, DGI

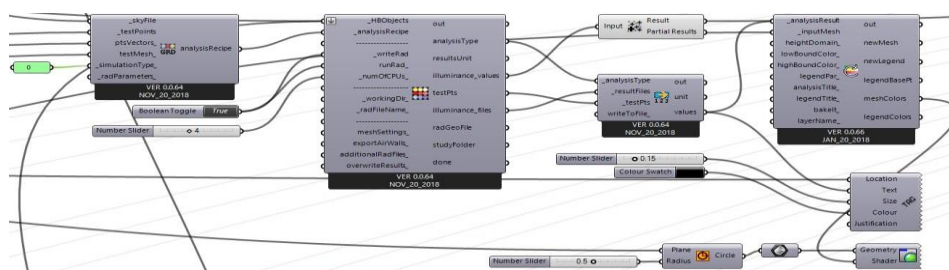
و مقدار انرژی در یک ساعت خاص با توجه به متغیرهایی که افزونه گالاپاگوس (زاویه و موقعیت سایبان‌ها) با استفاده از الگوریتم بهینه‌یابی ژنتیک تولید می‌کند، انجام می‌شود. همان‌طور که گفته شد شاخص خیرگی تنها در بازه خاص قابل قبول است

( $DGI < 24$ ,  $DGP < 0.4$ ) بنابراین گزینه‌هایی که در شبیه‌سازی نتیجه شاخص DGI, DGP آنها از مقدار قابل قبول بیشتر هستند باید حذف شوند. برای این کار از کامپوننت (بیشتر از X و کمتر از X) استفاده شده تا موقعیت‌هایی از سایبان که باعث ایجاد خیرگی نامطلوب در محیط می‌شوند در عملیات بهینه‌یابی از امتیاز کمتری برخوردار باشند و از نتایج نهایی حذف شوند.



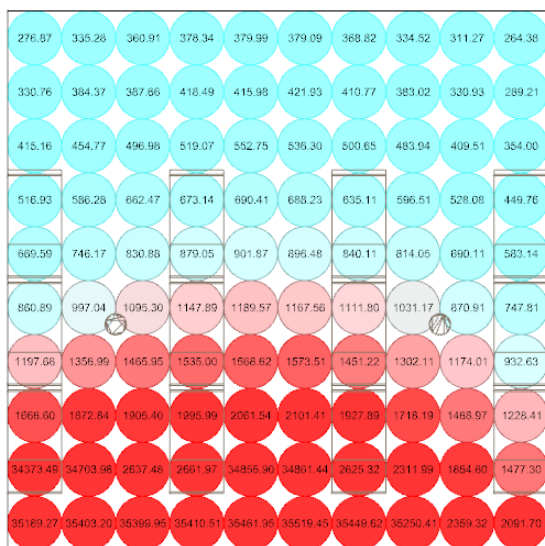
شکل 9- الگوریتم انرژی پلاس در گرسهپا

Fig. 9-Energy-Plus Algorithm in Grasshopper



شکل 10- الگوریتم آنالیز نور روز

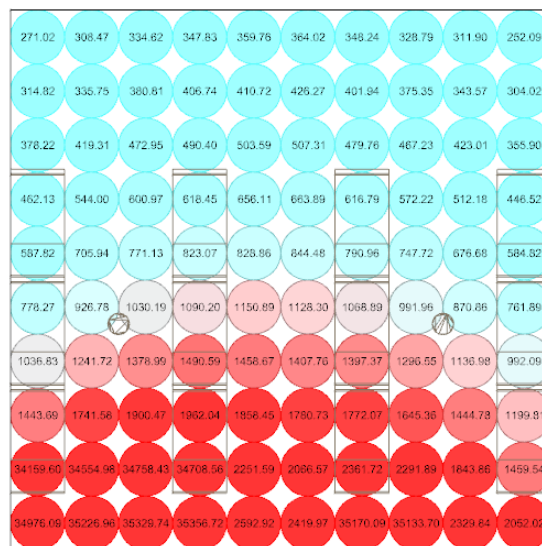
Fig. 10 Daylight analysis algorithm



شکل 12- آنالیز میزان نور ورودی، 21 جون - ساعت 12

Fig. 12-Analysis of the amount of incoming light, June incoming light,

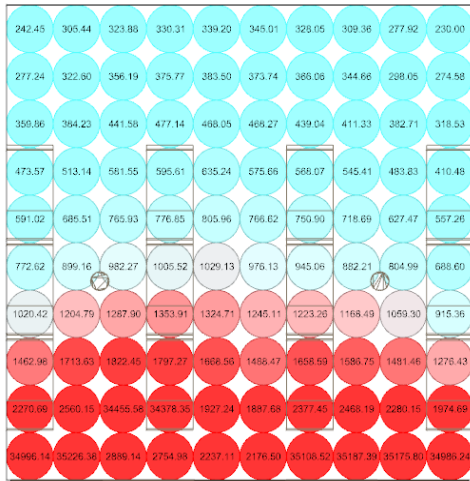
21- 12 o'clock



شکل 11- آنالیز میزان نور ورودی، 21 مارس - ساعت 12

Fig. 11 Analysis of the amount of

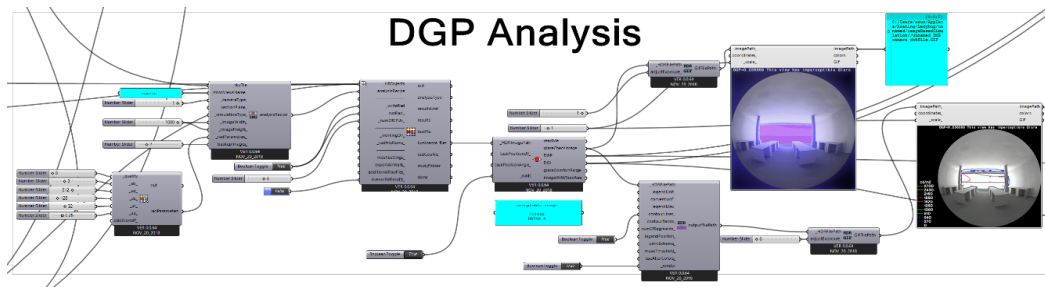
March 21- 12 o'clock



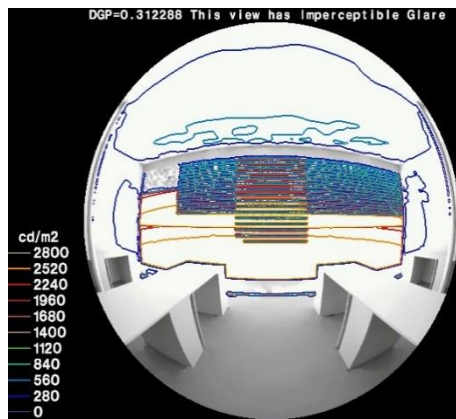
شکل 14- آنالیز میزان نور ورودی، 21 دسامبر - ساعت 12  
 Fig. 14 Analysis of the amount of incoming light,  
 December 21- 12 o'clock



شکل 13- آنالیز میزان نور ورودی، 21 سپتامبر - ساعت 12  
 Fig. 13 Analysis of the amount of incoming light,  
 September 21- 12 o'clock

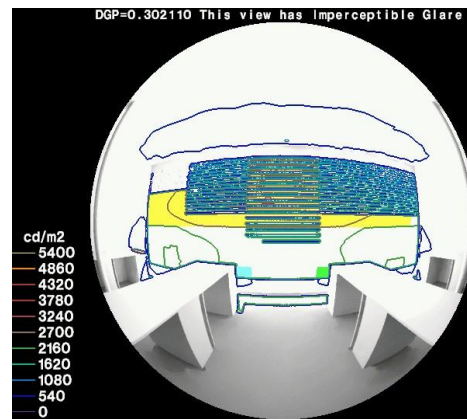


شکل 15- الگوریتم شبیه ساز میزان خیرگی  
 Fig. 15 Algorithm for simulating glare



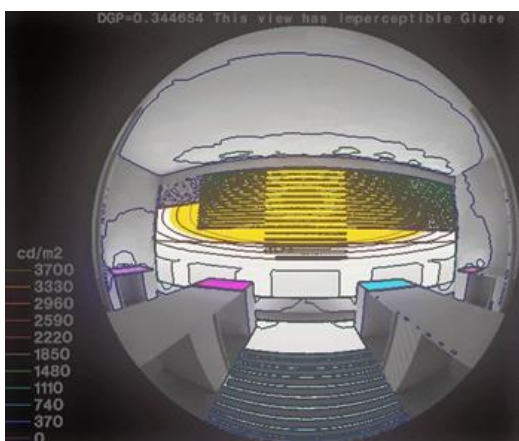
شکل 17- خیرگی در محیط داخلی، دید عمود بر پنجره،  
 21 جون ساعت 12

Fig. 17- Glare in the indoor environment, vertical  
 vertical

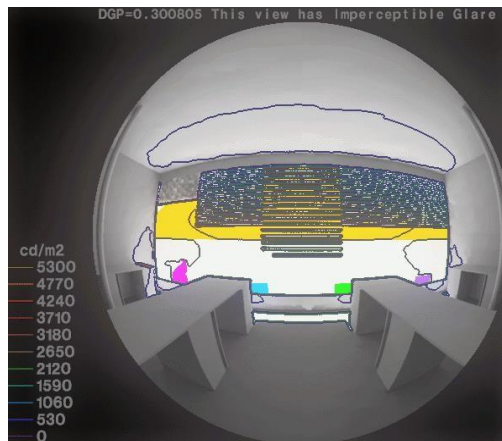


شکل 16- خیرگی در محیط داخلی، دید عمود بر پنجره،  
 21 مارس - ساعت 12

Fig. 16- Glare in the indoor environment,  
 March 21 - 12 o'clock view of the window, June 21 - 12 o'clock



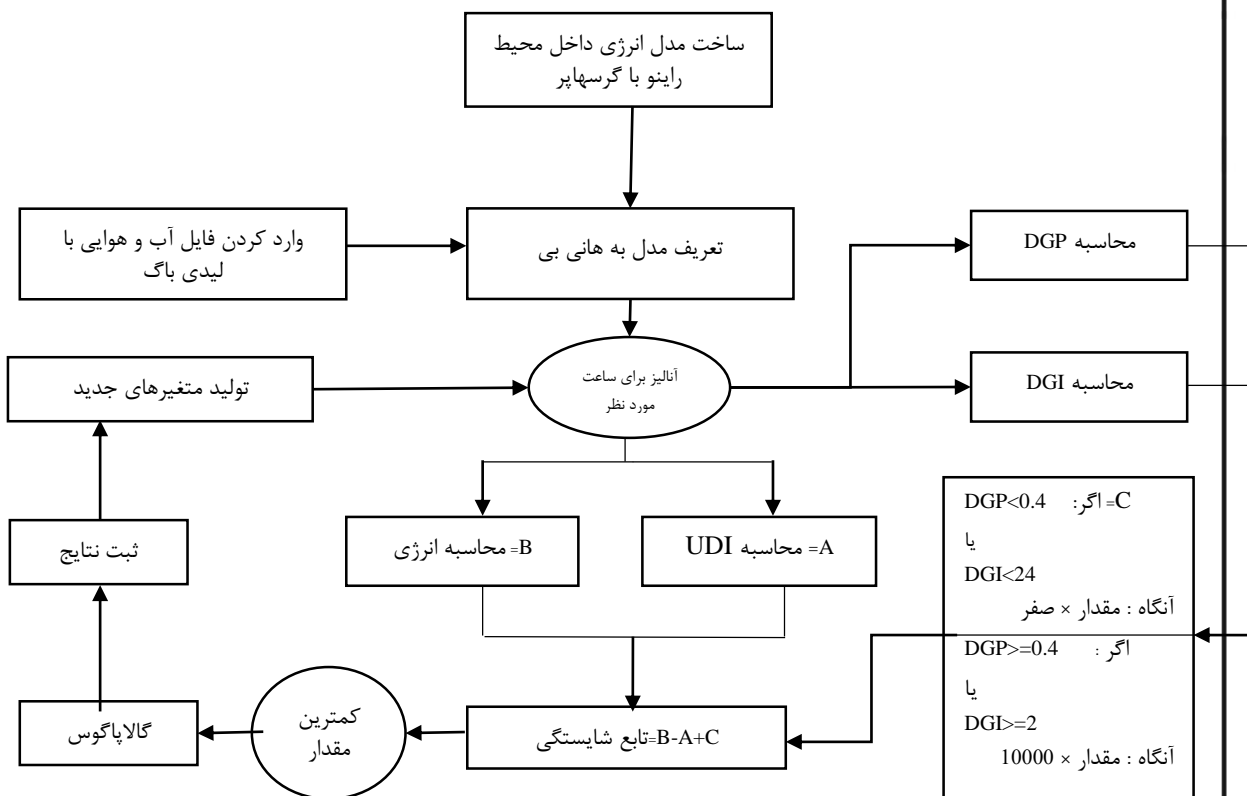
شکل 19-خیرگی در محیط داخلی، دید عمود بر پنجره، 21 دسامبر ساعت 12



شکل 18-خیرگی در محیط داخلی، دید عمود بر پنجره، 21 سپتامبر ساعت 12

Fig. 18-Glare in the indoor environment, vertical view of the window, September 21 -

Fig. 19-Glare in the indoor environment, vertical view of the window, December 21 - 12 o'clock



شکل 20- الگوریتم بهینه یابی در محیط گرسهپار با افزونه گالاپاگوس

Fig. 20 - Optimization algorithm in Grasshopper environment with Galapagos plugin

در این الگوریتم (طبق شکل 20) عددهای شاخص خیرگی که نامطلوب هستند برای مثال DGP بیشتر از 0.4 که قابل قبول نیست به یک مقدار ثابت بزرگ ضرب می‌شوند تا از دایره بهینه‌یابی خارج شوند (چون هدف پیدا کردن کمترین مقدار است با این عمل از صف اعداد بهینه‌یابی خارج می‌شوند) و گزینه‌هایی که شاخص آنها عدد مطلوبی است در صفر ضرب می‌شوند (ضرب صفر در داخل نرم‌افزار به معنای عدم تغییر در عملیات بهینه‌یابی است). در نهایت این اعداد با تفاضل مقدار انرژی و UDI شبیه سازی شده جمع می‌شوند، از آنجا که مقدار انرژی در کامپوننت گالاپاگوس باید کمترین حالت ممکن باشد با جمع شدن عدد بزرگ با این مقدار انرژی این گزینه از گزینه‌های بهینه‌یابی کنار گذاشته می‌شود و گزینه‌هایی که شاخص خیرگی آنها مطلوب هستند به مرحله بهینه‌یابی راه می‌یابند. پیش‌تر در مورد شاخص UDI صحبت شد که شاخصی است که به صورت درصد بیان می‌شود و بیان‌کننده آنست که قسمت مشخصی از مساحت پلان ساختمان در طول سال درصد تعریف‌شده‌ای از زمان یک سال، تابش قابل قبول که معمولاً بین 300 تا 2000 لوکس در نظر گرفته می‌شود را دارد (Galatioto & Beccali, 2016). از آنجا که برای محاسبه مقدار نور دریافتی قابل قبول و بررسی آن در این پروژه باید نور دریافتی به صورت ساعتی محاسبه شود تا بتوان مقدار آن را با میزان مصرف انرژی به حد بهینه رساند، لذا در این تحقیق از شاخص hUDI استفاده می‌کنیم که به صورت درصدی اعلام می‌شود و مقدار مساحت پلان ساختمان که در آن زمان مشخص، نور قابل قبول دریافت کرده‌اند را به صورت درصدی بیان می‌کند.

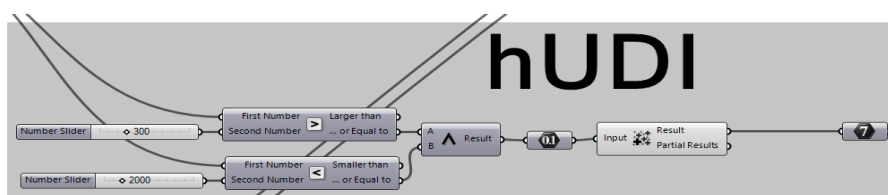
برای یافتن مقدار hUDI در گرسهاپر، شبکه آنالیز واحد اداری را که صد قسمت شده است را به صورت لیستی از اعداد که نشان‌دهنده مقدار روشنایی ثبت شده در هر قسمت است را با دستور - کمتر از و بیشتر از - اعدادی که مورد نظر هستند را به

صورت صحیح<sup>29</sup> و اشتباه<sup>30</sup> نمایش می‌دهیم (شکل 21). اشتراک لیست‌های قبلی به صورت عدد بازنویسی می‌شود به طوری که صحیح معادل 1 و اشتباه معادل 0 است. نهایتاً تعداد جزءهای شبکه که در مقدار موردنظر واقع شده به صورت عددی از 100 بیان می‌شود که همان مقدار درصد مساحتی است که در روشنایی تعریف شده قرار دارد.

### آنالیز و بهینه‌یابی

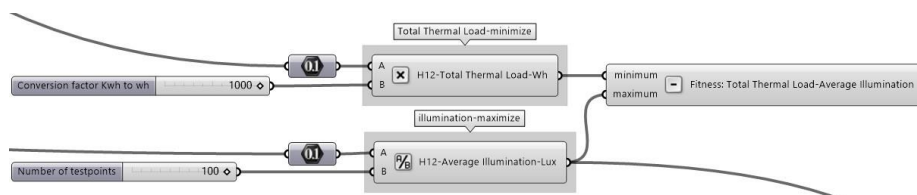
در پژوهش حاضر هدف نهایی، انتخاب بهینه‌ترین حالات سایبان‌ها برای ساعات مختلف سال است؛ به نحوی که کمترین مصرف انرژی و بیشترین نور روز را مهیا کند. برای این عمل در این قسمت از پژوهش از کامپوننت گالاپاگوس استفاده شده است. گالاپاگوس نرم‌افزار بهینه‌یابی است که چندین ورودی با عنوان ژنوم (احتمالاً متغیر مستقل) و یک ورودی با عنوان فیتنس<sup>31</sup> (متغیر وابسته) قبول می‌کند. مشکلی که وجود دارد این است که در این پژوهش هدف بهینه‌یابی مصرف انرژی به کمترین مقدار و هم‌زمان رسیدن به بیشترین مقدار نور روز دریافتی است، و کامپوننت بهینه‌یابی قادر به دریافت بیش از یک فیتنس نیست. برای حل این مسئله متغیرهای فیتنس با هم با استفاده از کامپوننت تفریق ادغام شدند (شکل 22) تا نهایتاً یک متغیر به بخش فیتنس گالاپاگوس تعریف شود (شکل 22). در نهایت با یک کامپوننت ضبط داده (شکل 23) و هم‌چنین کامپوننت ارزیابی<sup>32</sup> مجموعه تغییرات حین بهینه‌یابی توسط گالاپاگوس ثبت می‌شوند تا در نهایت در اکسل جمع‌آوری شده و تفسیرات لازم مربوط به این داده‌ها انجام شوند.

تحلیل نور روز و انرژی برای روزهای اول هر فصل انجام می‌شود. در ابتدا شرایط بهینه‌یابی برای روز 21م ماه‌های مارس (اسفند-فروردین)، جون (خرداد-تیر)، سپتامبر (شهریور-مهر)، دسامبر (آذر-دی) در ساعات اداری (جداول 5 تا 8) و ساعت 12 که شرایط بحرانی آب‌وهوا در هر فصل هستند و خورشید در عمودی‌ترین موقعیت خود نسبت به نورگیر نما قرار دارد، انجام می‌شود.



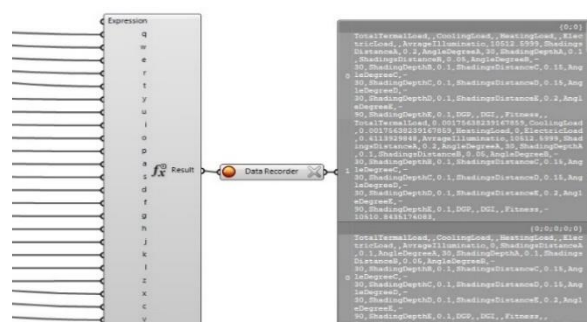
شکل 21- تعریف شاخص hUDI در گرسهپا

Fig. 21-Definition of hUDI indicator in Grasshopper



شکل 22- تفریق متغیرهای فیتنس برای یافتن مقدار کمینه مصرف انرژی و بیشترین مقدار روشنایی

Fig. 22 Subtraction of fitness variables to find the minimum value of energy consumption and the maximum value of light



شکل 23- ضبط داده‌ها

Fig. 23-Data recording

جدول 5 - نتایج تحلیل حرارتی و نور روز، 21 مارس - ساعات اداری

Tab. 5 Thermal and daylight analysis results, March 21- office hours

زمان (ساعت)	میانگین تابش (Wh/m <sup>2</sup> )	دمای هوا (درجه سانتی گراد)	بار گرمایشی (Wh/m <sup>2</sup> )	بار سرمایشی (Wh/m <sup>2</sup> )	بار حرارتی کل (Wh/m <sup>2</sup> )	hUDI (%)	DGP	DGI	کد موقعیت سایتان
8:00	1382.1148	22	.	.	.	52	0.268655	20.814236	3435251311
9:00	2946.5627	23	.	.	.	77	0.283776	19.133867	3425241111
10:00	4778.7197	23	.	.	.	79	0.293776	21.133867	3425241111
11:00	4780.7787	24	.	.	.	78	0.283776	19.133867	3425241111
12:00	4326.0509	24	.	.	.	78	0.313676	19.133867	2431341533
13:00	5035.3292	25	.	.	.	76	0.293548	19.133867	1543263626
14:00	4619.2821	25	.	.	.	75	0.290378	19.133867	1543263626
15:00	4749.2821	25	.	.	.	78	0.283546	19.133867	1126212214





جدول 6- نتایج تحلیل حرارتی و نور روز، 21 جون- ساعات اداری

Tab. 6-Thermal and daylight analysis results, June 21- office hours

زمان (ساعت)	میانگین تابش (Wh/m <sup>2</sup> )	دمای هوا (درجه سانتی گراد)	بار گرمایی (Wh/m <sup>2</sup> )	بار سرمایی (Wh/m <sup>2</sup> )	بار حرارتی کل (Wh/m <sup>2</sup> )	hUDI (%)	DGP	DGI	کد موقعیت سایبان
8:00	485.5084	22	0	28.34	28.34	59	0.278655	22.92251	3435251311
9:00	624.9964	23	0	33.72	33.72	70	0.292991	22.91623	3425241111
10:00	721.3976	23	0	42.03	42.03	74	0.301456	22.55457	3425241111
11:00	730.6852	24	0	42.03482	42.03482	72	0.301513	22.56554	3425241111
12:00	1306.737	24	0	55.24045	55.24045	84	0.318888	23.52204	2431341533
13:00	832.1598	25	0	59.60181	59.60181	76	0.312241	22.7694	1543263626
14:00	707.5912	25	0	65.23873	65.23873	74	0.299175	22.84566	1543263626
15:00	620.9976	25	0	68.45412	68.45412	66	0.284273	23.3876	1126212214

جدول 7- نتایج تحلیل حرارتی و نور روز، 21 سپتامبر- ساعات اداری

Tab. 7-Thermal and daylight analysis results, September 21- office hours

مان (ساعت)	میانگین تابش (Wh/m <sup>2</sup> )	دمای هوا (درجه سانتی گراد)	بار گرمایی (Wh/m <sup>2</sup> )	بار سرمایی (Wh/m <sup>2</sup> )	بار حرارتی کل (Wh/m <sup>2</sup> )	hUDI (%)	DGP	DGI	کد موقعیت سایبان
8:00	485.5084	22	0	28.34	28.34	59	0.278655	22.92251	3435251311
9:00	624.9964	23	0	33.72	33.72	70	0.292991	22.91623	3425241111
10:00	721.3976	23	0	42.03	42.03	74	0.301456	22.55457	3425241111
11:00	730.6852	24	0	42.03482	42.03482	72	0.301513	22.56554	3425241111
12:00	1306.737	24	0	55.24045	55.24045	84	0.318888	23.52204	2431341533
13:00	832.1598	25	0	59.60181	59.60181	76	0.312241	22.7694	1543263626
14:00	707.5912	25	0	65.23873	65.23873	74	0.299175	22.84566	1543263626
15:00	620.9976	25	0	68.45412	68.45412	66	0.284273	23.3876	1126212214

جدول 8- نتایج تحلیل حرارتی و نور روز، 21 دسامبر- ساعات اداری

Tab. 8-Thermal and daylight analysis results, December 21- office hours

زمان (ساعت)	میانگین تابش (Wh/m <sup>2</sup> )	دمای هوا (درجه سانتی گراد)	بار گرمایی (Wh/m <sup>2</sup> )	بار سرمایی (Wh/m <sup>2</sup> )	بار حرارتی کل (Wh/m <sup>2</sup> )	hUDI (%)	DGP	DGI	کد موقعیت سایبان
8:00	1382.1148	22	0	0	0	52	0.268655	20.814236	3435251311
9:00	2946.5627	23	0	0	0	77	0.283776	19.133867	3425241111
10:00	4778.7197	23	0	0	0	79	0.293776	21.133867	3425241111
11:00	4780.7787	24	0	0	0	78	0.283776	19.133867	3425241111
12:00	4326.0509	24	0	0	0	78	0.313676	19.133867	2431341533
13:00	5035.3292	25	0	0	0	76	0.293548	19.133867	1543263626
14:00	4619.2821	25	0	0	0	75	0.290378	19.133867	1543263626
15:00	4749.2821	25	0	0	0	78	0.283546	19.133867	1126212214

بهینه‌ترین موقعیت سایبان‌ها برای 21 مارس و ساعت 12 طبق داده‌های به‌دست‌آمده حاکی از آن است که بار حرارتی در این فصل نزدیک به صفر است و در واقع فضای داخلی نیاز به گرم شدن یا سرد شدن ندارد و بهینه‌ترین مقدار ممکن برای میانگین روشنایی داخلی 7842 لوکس ثبت شده است (شکل 24 و جدول 9). علت زیاد بودن روشنایی در این زمان پایین بودن ارتفاع خورشید نسبت به فصل تابستان است که باعث می‌شود نور در عمق بیشتری از محیط داخلی نفوذ کند.

برای نمایش بهترین حالت با نمودار؛ از نوع مقایسه‌ای استفاده شده؛ نمودار از سه متغیر میزان مصرف انرژی، مقدار نور مفید فضا در ساعت مورد نظر و تابع هدف تشکیل شده است. با توجه به این که برای تابع هدف مقدار کمینه مورد نظر گرفته شده است، محل تلاقی کمترین مقدار تابع هدف با دیگر نمودارها به‌عنوان محل اشتراکی بیشترین نور و کمترین مصرف انرژی در نظر گرفته شده است و در نمودارهای فوق محل بهینه با خط‌چین قرمز رنگ مشخص شده است. در نمودارهای فوق محور افقی ردیف هر یک از آنالیزهای انجام شده، محور عمودی سمت چپ مقدار hUDI و محور عمودی سمت راست مقدار بار حرارتی کل بر حسب وات ساعت بر مترمربع است.

در روز 21 ماه جون و ساعت 12 ظهر کم‌ترین مصرف انرژی 22.47 وات ساعت بر مترمربع ثبت شده است که این مقدار مربوط به بار حرارتی لازم برای سرمایش ساختمان است و بیشترین مقدار روشنایی داخلی 81% است (شکل 25 و جداول 10 تا 12).

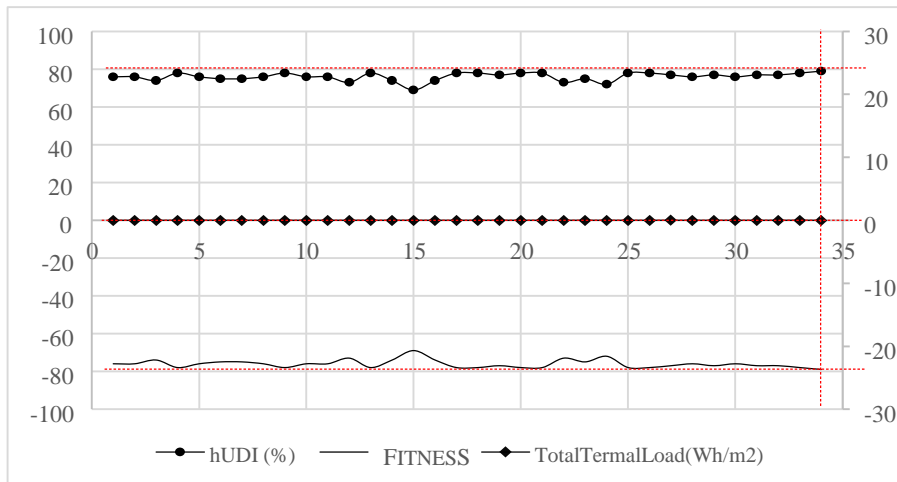
در ادامه نمودارهای مربوط به روز 21 ماه‌های سپتامبر و دسامبر بررسی می‌شوند که در اینجا آورده نمی‌شوند. در تحلیل داده‌های به دست آمده از تحلیل 21 ماه سپتامبر نیز طبق روزهای دیگر اولین، کمترین بار حرارتی محیط داخلی با توجه به طبقه‌بندی نزولی مقدار روشنایی داخلی به‌عنوان بهینه‌ترین مقدار انتخاب می‌شود. کمترین مقدار بار حرارتی در این ساعت 9.72

وات ساعت بر مترمربع و بیشترین نور تابشی دریافت شده 81 درصد است که به لحاظ مضیقه در اینجا نمایش داده نمی‌شود. در تحلیل مربوط به 21 ماه دسامبر با توجه به نمودار مربوطه بار حرارتی ناچیزی در این ساعت از روز ثبت شده که قابل چشم‌پوشی است، ولی با این حال کم‌ترین مصرف انرژی مقدار 88.0 وات ساعت و بیشترین نور دریافتی 10632 لوکس ثبت شده است که بهینه‌ترین حالت، همان کم‌ترین بار حرارتی انتخاب شده است.

### بررسی متغیر عمق لوورها

از آنجا که عمق لوورها امکان تغییر در هر لحظه را در واقعیت نخواهند داشت و یا اعمال این قابلیت هزینه‌هایی را در پی خواهد داشت بنابراین به عنوان متغیری در نظر گرفته می‌شود که باید از پژوهش حذف شود تا امکان تحلیل داده‌ها در ادامه تحلیل‌ها وجود داشته باشد. وارد شدن این متغیر از بدو پژوهش صرفاً برای انتخاب عمق مناسب برای بهینه‌یابی انجام پذیرفت. برای حذف این متغیر باید یکی از دو حالت تعریف شده انتخاب شود. روش کار به این حالت است که تحلیل‌هایی که پیشتر مورد بررسی قرار گرفتند و برای اوایل فصول انجام شده بودند را برای ساعات 9:00 و 15:00 نیز انجام شده و 3 ردیف از بهینه‌ترین تحلیل‌ها برای هر ماه و ساعت انتخاب می‌شود.

وضعیت عمق لوورها در گام اول بر اساس بهینه‌ترین حالت‌ها و ساعات مورد مطالعه تقسیم و در گام دوم بر اساس هر دسته سایبان و ماه‌های مورد مطالعه تقسیم‌بندی می‌شود و در نهایت با ارائه نمودار مربوطه سعی می‌شود بیشترین فراوانی عمق سایبان به عنوان بهینه‌ترین عمق برای ادامه کار انتخاب شود. با توجه به نمودار و جدول زیر فراوانی لوور به عمق 10 سانتی‌متر نسبت به لوور 20 سانتی‌متر بیشتر است (شکل 26، جدول 13). بنابراین در ادامه این متغیر حذف و فقط از لوورهای 10 سانتی‌متری استفاده می‌شود.



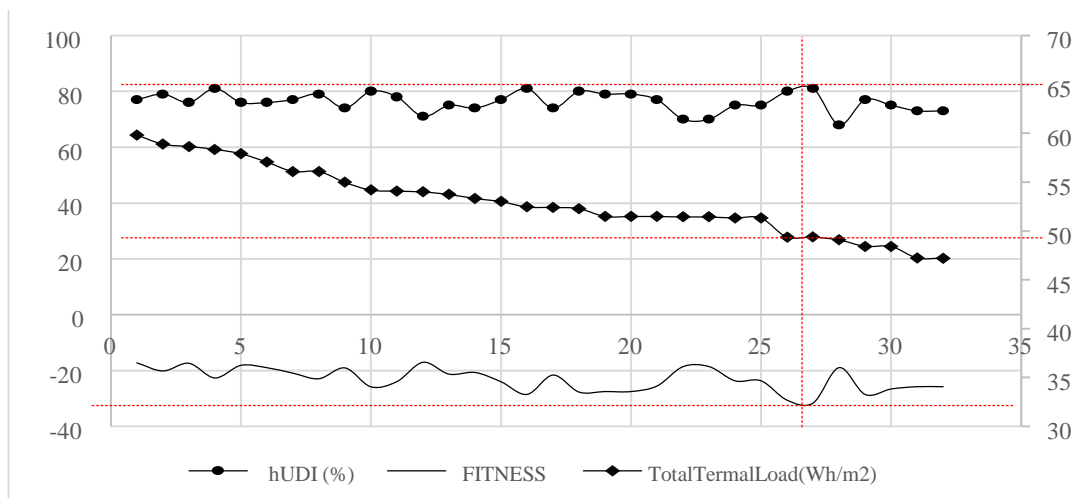
شکل 24- تغییر مقدار بار حرارتی نسبت به مقدار hUDI و تابع هدف در آنالیزهای مختلف، 21م ماه مارس، ساعت 12

Fig. 24-The change of the heat load value compared to the hUDI value and the objective function in different analyses, March 21, 12 o'clock

جدول 9- بهینه ترین شرایط و متغیرهای سایبان، روز 21م ماه مارس

Tab. 9-The most optimal conditions and variables of the shading, March 21

تحلیل 21 مارس - ساعت 12 - بهینه/بیشترین نور		A	B	C	D	E
فاصله لپورها (Wh/m <sup>2</sup> )	0	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
بار سرمایشی	0	-90	-60	-60	60	0
بار گرمایشی	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
hUDI (%)	79	افقی	افقی	افقی	افقی	افقی
Fitness				-79		



شکل 25- تغییر مقدار بار حرارتی نسبت به مقدار hUDI و تابع هدف در آنالیزهای مختلف، 21م ماه جون، ساعت 12

Fig. 25-The change of the heat load value compared to the hUDI value and the objective function in different analyses, June 21, 12 o'clock

جدول 10 - بهینه ترین شرایط و متغیرهای سایبان، روز 21م ماه جون

Tab. 10-The most optimal conditions and variables of the shading, June 21

تحلیل 21 جون - ساعت 12 - بهینه / بیشترین نور		A	B	C	D	E
فاصله لوورها	49.38 (Wh/m <sup>2</sup> بار حرارتی کل)	0.05	0.1	0.05	0.1	0.05
زاویه	49.38	0	60	-90	-90	-90
عمق	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
راستا	81	افقی	عمودی	افقی	افقی	افقی
Fitness				-31.6		

جدول 11- کمترین مقدار بار حرارتی و متغیرهای سایبان، روز 21م ماه جون

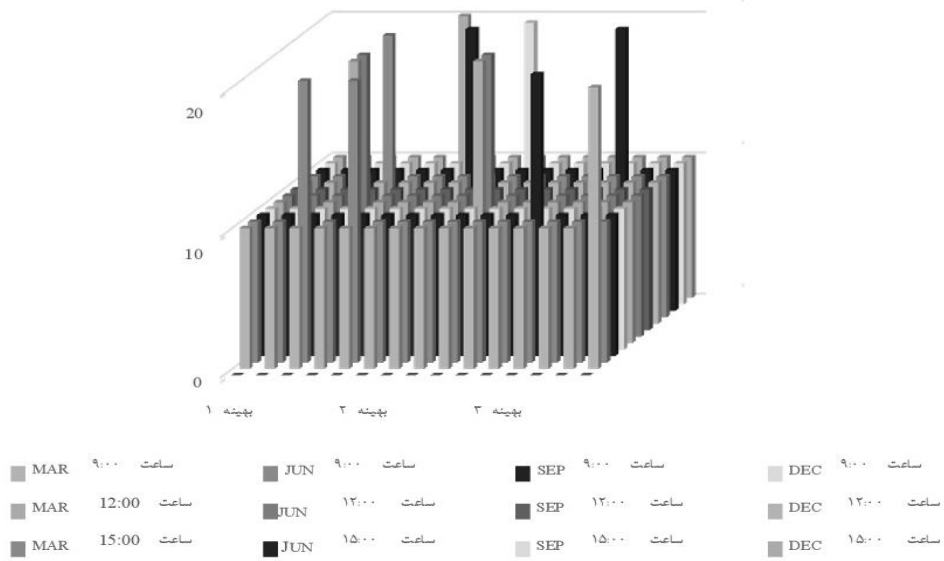
Tab. 11-The minimum heat load and shading variables, on June 21

تحلیل 21 جون - ساعت 12 - کمترین بار حرارتی		A	B	C	D	E
فاصله لوورها	47.22 (Wh/m <sup>2</sup> بار حرارتی کل)	0.05	0.1	0.05	0.1	0.05
زاویه	47.22	30	60	-90	-60	-90
عمق	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
راستا	73	افقی	عمودی	افقی	افقی	افقی
Fitness				-25.77		

جدول 12- بیشترین مقدار نور تابیده شده و متغیرهای سایبان، روز 21م ماه جون

Tab. 12-The maximum amount of radiated light and variables of the shading, on the 21<sup>st</sup> of June

تحلیل 21 جون - ساعت 12 - بیشترین نور		A	B	C	D	E
فاصله لوورها	52.46 (Wh/m <sup>2</sup> بار حرارتی کل)	0.05	0.1	0.05	0.15	0.05
زاویه	52.46	0	60	-90	-90	-90
عمق	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
راستا	81	افقی	افقی	افقی	افقی	افقی
Fitness				-28.61		



شکل 26- نمودار فراوانی لوور 10 نسبت به 20 سانتی متری

Fig. 26-Frequency diagram of Louver 10 compared to 20 cm

جدول 13- وضعیت عمق لوورها نسبت به زمان و تحلیل های مختلف

Tab. 13-The condition of the depth of louvres in relation to time and different analyses

15:00 ساعت				12:00 ساعت				9:00 ساعت						
DEC	SEP	JUN	MAR	DEC	SEP	JUN	MAR	DEC	SEP	JUN	MAR			
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	A	آنالیز 1
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	B	
10	20	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	C	
10	10	10	20	10	10	20	20	10	10	10	10	10	D	
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	20	10	10	E	
20	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	A	آنالیز 2
10	10	20	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	B	
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	C	
10	20	10	10	10	10	20	20	10	10	10	10	10	D	
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	E	
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	A	آنالیز 3
10	10	10	10	10	10	10	10	10	20	10	10	10	B	
10	10	20	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	C	
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	D	
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	20	10	E	

### بررسی متغیر راستای سایبان

متغیر راستای سایبان نیز مانند عمق لوورها امکان تغییر در هر لحظه را در واقعیت نخواهد داشت و یا اعمال این قابلیت هزینه‌هایی را در پی خواهد داشت بنابراین به‌عنوان متغیری در نظر گرفته می‌شود که باید از پژوهش حذف شود تا امکان تحلیل داده‌ها در ادامه تحلیل‌ها وجود داشته باشد. وارد شدن این متغیر از اول پژوهش صرفاً برای انتخاب بهترین راستا با بیشترین فراوانی در تحلیل‌های بهینه‌یابی انجام پذیرفت. برای حذف این متغیر باید یکی از دو حالت تعریف شده انتخاب شود. روش کار به این حالت است که طبق عملیات انجام شده برای متغیر عمق سایبان، آنالیزهایی که پیشتر مورد بررسی قرار گرفتند و برای اوایل فصول انجام شده بودند برای ساعات 9:00 و 15:00 نیز انجام شده و 3 ردیف از بهینه‌ترین آنالیزها برای هر ماه و ساعت انتخاب می‌شود. وضعیت راستای لوورها در گام اول بر اساس بهینه‌ترین حالت‌ها و ساعات مورد مطالعه تقسیم شده و در گام دوم بر اساس هر دسته سایبان و ماه‌های مورد مطالعه تقسیم‌بندی می‌شوند. در نهایت با ارائه نمودار مربوطه سعی می‌شود بیشترین فراوانی عمق سایبان به‌عنوان بهینه‌ترین عمق برای ادامه کار انتخاب شود. با توجه به شکل 27 فراوانی لوور راستای افقی بیشتر از حالت عمودی است بنابراین در ادامه این متغیر حذف و فقط از لوورهای افقی استفاده می‌شود.

### 3- نتایج و بحث

پس از اتمام تحلیل محیط اداری و بررسی کمترین مقدار بار حرارتی و بیشترین مقدار نور ورودی، برای صحت‌سنجی موضوع بهینه‌سازی، پایایی و روایی طبق اکثر مقالات مثل تبادکانی و همکاران، حسینی و همکاران، و شیخ و همکاران پس از اعمال سایبان مورد نظر مدل با مدل‌های بدون سایبان و سایبان ثابت مقایسه شده و نتیجه نهایی اعلام می‌شود.

در مقالات مذکور بعد از مقایسه، درصد تغییر به‌عنوان درصد صرفه‌جویی یا بهینه‌یابی لحاظ می‌شود. پس از بررسی موارد ذکر شده و مقایسه سایبان متحرک با مطالعات قبلی، نتایج به‌دست آمده کارآمدی سایبان

جدید را اثبات می‌کند. در جدول 14 مقدار 2 درصد افزایش صرفه‌جویی در مصرف انرژی و 5 درصد افزایش میزان نور دریافتی داخلی نسبت به مطالعات پیشین را نشان می‌دهد.

با توجه به نمودار شکل 28 که در آن اطلاعات مربوط به تغییرات روز 21م ماه جون، ساعات اداری آمده است، اگر حداقل میزان UDI مورد قبول را طبق کتاب استاندارد محیط‌های داخلی (Andersen et al, 2014) 50 درصد در نظر بگیریم هر سه مورد در شرایط مطلوب قرار دارند. با در نظر گرفتن میزان کاهش مصرف انرژی سایبان متحرک در بهینه‌ترین حالت قرار دارد. 32 درصد نسبت به حالت بدون سایبان کاهش مصرف انرژی داشته است. طبق بررسی‌های انجام شده به نسبت پژوهش‌های قبلی (جدول شماره 1) میزان 32% برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و مقدار 55% برای مقدار روشنایی داخلی حاکی از این است که روش کار این پژوهش از مطالعات قبلی کارآمدتر بوده است. پروژه حاضر که 32 درصد کاهش مصرف انرژی دارد با لوور متحرک که جزییات آن در بخش "الگوریتم ساخت سایبان در گرسهاپر" آمده است، با بهترین نتیجه اعلام شده در پیشینه پژوهش (Manzan, 2014) (در جدول 1) که با لوور ثابت در محدوده 19 الی 30 درصد است و از بهترین شرایط آن 2 درصد بیشتر بوده و میزان روشنایی تحقیق فعلی که 55 درصد است با میزان روشنایی بهترین پژوهش ثبت شده در پیشینه که 50 درصد است سنجیده شده و 5 درصد افزایش میزان روشنایی را داشتیم.

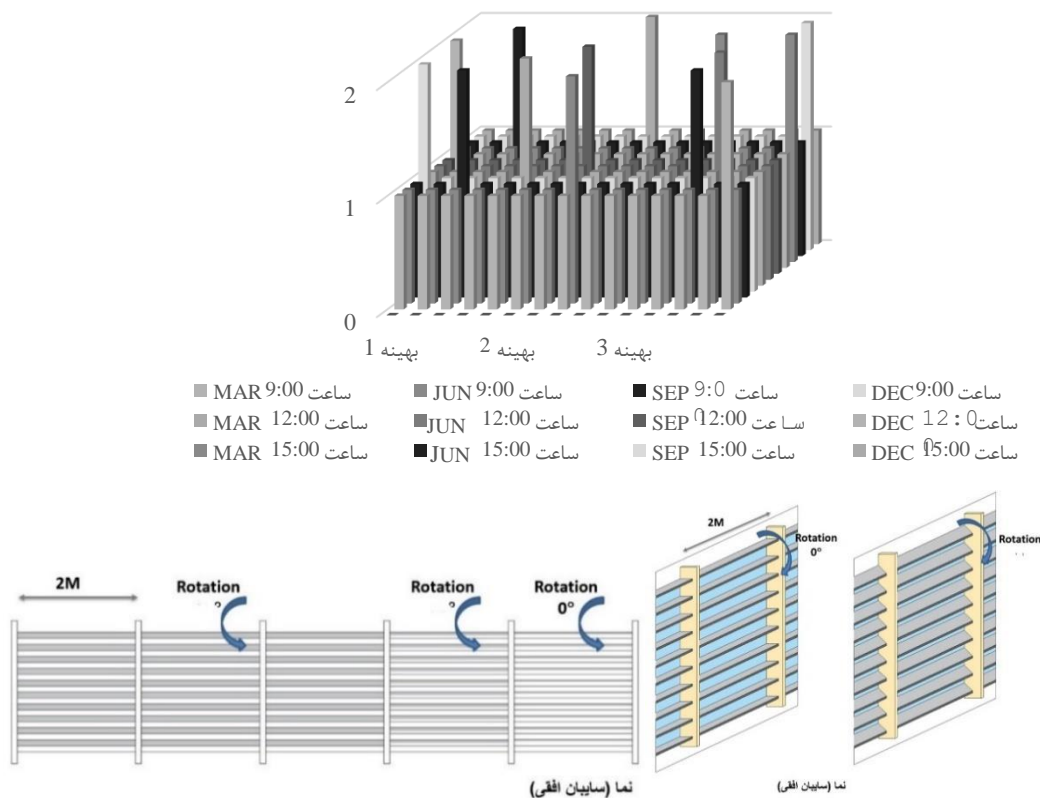
یکی دیگر از شاخص‌های ارزیابی نتایج پژوهش بررسی شاخص KPI<sup>33</sup> است که میزان موفقیت مقاله در نیل به هدف اولیه را مشخص می‌کند. برای استخراج این شاخص از ضرایب و امتیازهای مقالات قبلی استفاده می‌شود (Oliver, 2020). در جدول 15 مقادیر مربوط به امتیازها و ضرایب برای بررسی میزان موفقیت نتایج پژوهش آمده است.

شاخص KPI برای این پژوهش با مقادیر میانگین UDI=55، DGP=0.29، DGI=21، تعداد سال از شروع اولین پژوهش (Zalatan, 1993) تاکنون (سال 2021) برابر با 28 سال و مقدار صرفه‌جویی در مصرف 2 درصد

است که با گذر زمان نتایج ثبت شده برای این پژوهش در محدوده عالی یعنی بالاتر از محدوده KPI میانه قرار دارد. با نتایج به دست آمده، کارآمدی سایبان طراحی شده، روش و الگوریتم اعمال شده برای بهینه‌یابی، ملموس است که می‌تواند پله‌ای برای پژوهش‌های بعدی باشد.

نسبت به آخرین مقاله (Manzan, 2014)، در نظر گرفته شده است (جدول 16). مقدار KPI برای نتایج پژوهش حاضر (مجموع مقادیر امتیازها با اعمال ضرایب) برابر است با 36 که طبق نمودار شکل 29 در دسته عالی قرار می‌گیرد.

با بررسی عملکرد شاخص KPI برای مقاله حاضر و مقایسه آن با مقالات قبلی این نتیجه در شکل 30 مشهود



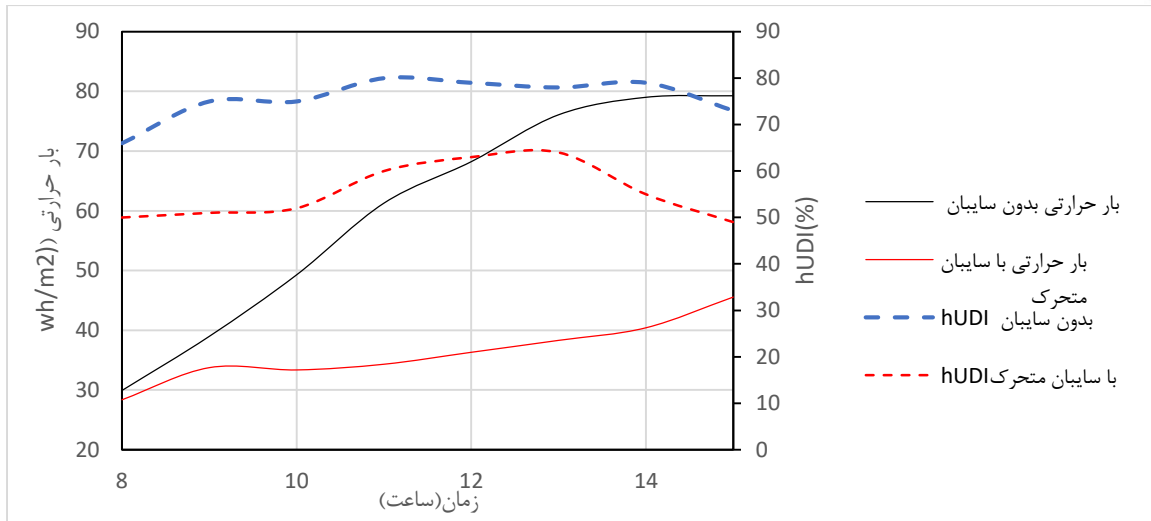
شکل 27- فراوانی متغیر راستای سایبان (1:افقی، 2:عمودی)

Fig. 27-Frequency of shading alignment Variable (1: horizontal, 2: vertical)

جدول 14- مقایسه نتایج پژوهش حاضر با مطالعات قبلی

Tab. 14-Comparison of the results of the present study with previous studies

میانگین نور دریافتی %Hudi	میانگین مصرف انرژی (Wh/m2)	حالت سایباندازی
76	60.25	بدون سایبان
55	36.274 (معادل 32% کاهش مصرف انرژی)	با سایبان متحرک (پروژه حاضر)
محاسبه نشده	19-30%	بیشترین مقدار کاهش مصرف انرژی در مقالات قبلی (با لوور ثابت) (Manzan, 2014)
50%	محاسبه نشده	بیشترین مقدار میزان نور دریافتی در مقالات قبلی

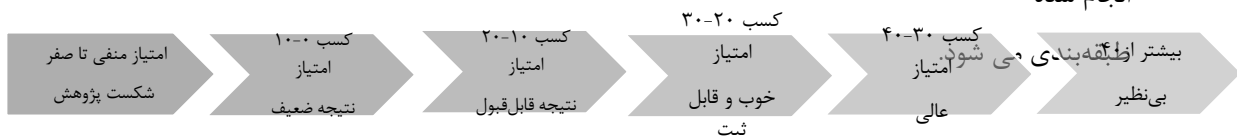


شکل 28- نمودار نحوه تعامل متغیرها نسبت به هم، 21 جون - ساعات اداری  
 Fig. 28- The diagram of the way of variables interaction with each other, June 21 - office hours

جدول 15- امتیاز و ضرایب شاخص عملکرد پژوهش (KPI) (Oliver, 2020)  
 Tab. 15- The score and coefficients of the research performance index

UDI		DGP		DGI		تعداد سالها از شروع اولین پژوهش تاکنون		مقدار صرفه جویی انرژی نسبت به آخرین پژوهش ثبت شده	
مقدار	امتیاز	مقدار	امتیاز	مقدار	امتیاز	مقدار	ضریب	مقدار	ضریب
30 <	غیر قابل قبول	0.45 >	غیر قابل قبول	35 >	غیر قابل قبول	5 الی 10	1.2	3 الی 1	1.2
عدم محاسبه	-8	0.40 الی 0.45	-3	24 الی 35	-2	10 الی 5	1.5	3 الی 6	1.4
50 الی 30	-4	0.35 الی 0.40	-2	24 <	+3	15 الی 10	1.8	6 الی 9	1.8
50 =	0	0.35 <	+3			20 الی 15	2	9 الی 12	2.2
60 الی 50	+4					25 الی 20	2.5	12 الی 15	2.6
70 الی 60	+8					30 الی 25	3	15 >	3.5
بیشتر از 70	+15					30 >	3.8		

مجموع امتیازها با اعمال ضرایب بر آن طبق نمودار شکل 29 در شش دسته (Oliver, 2020) طبق بررسی های انجام شده



شکل 29- نمودار دسته بندی نتایج KPI با امتیازهای مختلف (Oliver, 2020)  
 Fig. 29- KPI results classification chart with different scores

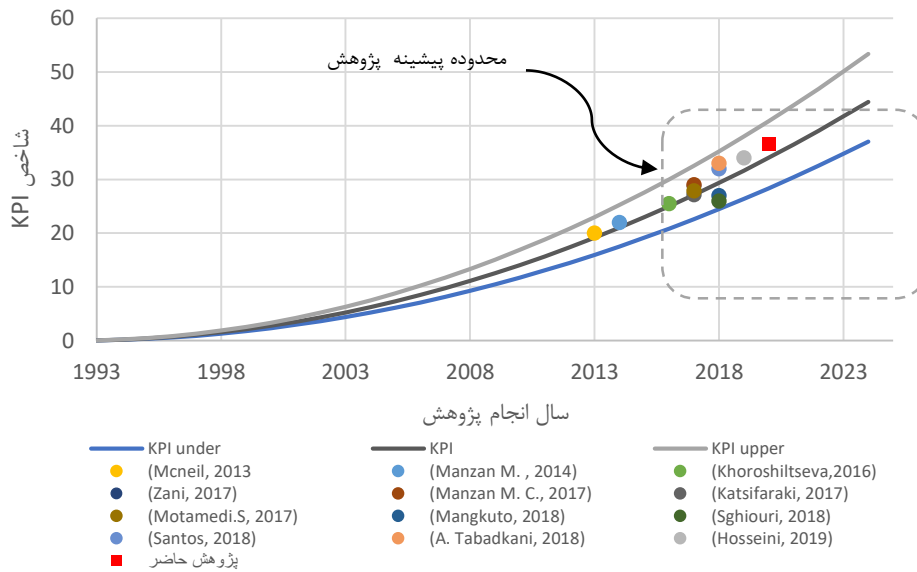


جدول 16- امتیاز و ضرایب شاخص عملکرد این پژوهش (KPI) بر مبنای جدول 15

Tab. 16-The score and coefficients of this research performance index (KPI) based on table 15

UDI		DGP		DGI		تعداد سال ها از شروع اولین پژوهش تاکنون		مقدار صرفه جویی انرژی نسبت به آخرین پژوهش ثبت شده	
مقدار	امتیاز	مقدار	امتیاز	مقدار	امتیاز	مقدار	ضریب	مقدار	ضریب
(50 الی 60) 55	+4	0,29(0,35<)	+3	(24<) 21	+3	(25 الی 30) 28	3	(1 الی 3) 2	1.2

$$KPI = (4+3+3) \times 3 \times 1.2 = 36$$



شکل 30 - نمودار روند افزایشی مقدار شاخص KPI با گذشت زمان (Oliver, 2020). ثبت پیشینه در نمودار

Fig. 30-The graph of the increasing trend of the value of the KPI index with the passage of time

(Oliver, 2020). The background is recorded in the chart

جدول 17- مشخصات پژوهش فعلی (در قیاس با تحقیقات قبلی در پیشینه پژوهش)

Tab. 17-Characteristics of the current research (compared to previous researches in the background of the research)

نویسنده	روش محاسبات	روش بهینه یابی	الگوریتم	ابزار مورد استفاده	نوع ساختمان	میزان خطا در مدل	اعتبار سنجی مدل	نوع ساین	میزان صرفه جویی در مصرف انرژی	میزان روشنایی	نواوری
(مقاله حاضر)	۴، و انرژی پلاس	*ریدیس دیسی	*PB_MO	ژنتیک	شیشه سازی	اداری	*LEED	*ساین متحرک	*32%	*55%	*روش کار

\* نوآوری های پژوهش



#### 4- نتیجه گیری

در سال‌های اخیر ضرورت صرفه‌جویی در مصرف انرژی و توجه به انرژی‌های تجدیدپذیر، به کارگیری نور روز در ساختمان‌ها را به‌عنوان یکی از عوامل مهم دخیل در طراحی معماری پیش رو قرار داده است. بهره‌گیری از نور طبیعی در فضاهای داخلی، سبب کاهش نیاز به روشنایی مصنوعی و لذا کاهش مصرف انرژی در بنا می‌شود. هم‌چنین اطمینان از ورود مقادیر مناسبی از نور روز به درون فضا، به‌ویژه در فضاهای اداری از اهمیت خاصی برخوردار است زیرا در کنار تاثیر مثبت نور طبیعی بر انسان و کیفیت کار انجام شده، وجود نور بیش از حد نیاز و عدم کنترل آن، باعث ایجاد خیرگی و نارضایتی بصری می‌شود. بنابراین استفاده صحیح از نور روز لازم است تا موجبات ارتقای سطح سلامت جسمی و روحی کاربران و بهبود کارایی آنها را فراهم آورد. بدین‌منظور کاربرد سایبان‌های متحرک بالاخص می‌تواند مؤثر باشد هم‌چنان که در این پژوهش عملاً ملاحظه شد.

ارقام به‌دست آمده شامل افزایش 2 درصدی کاهش مصرف انرژی و 5 درصد افزایش میزان روشنایی مقادیر قابل ملاحظه‌ای هستند که در قیاس با تحقیقات قبلی، نشان از روش محاسبات برگرفته از کاربرد سه نرم‌افزار شامل ریدینس، انرژی پلاس و دیسیم است.

هم‌چنین استفاده از نرم افزار گالاپاگوس و قابلیت آن برای بهینه‌یابی، و روش بهینه‌یابی چندهدفه که در آن هم صرفه‌جویی در مصرف انرژی و هم افزایش روشنایی قابل‌استفاده در فضا به‌طور هم‌زمان، با کاربرد سایبان دینامیک تامین می‌شود از دیگر نتایج خاص این تحقیق است. به‌علاوه استفاده از لیید برای اعتبارسنجی مدل نیز در نتیجه این پژوهش تاثیرگذار است. لذا روش محاسبات، تحلیل و ارزیابی‌های انجام‌شده در این تحقیق می‌تواند برای تحقیقات کاربردی بعدی نیز قابل بهره‌گیری باشد.

#### پی‌نوشت

- <sup>1</sup> Ladybug
- <sup>2</sup> Honeybee
- <sup>3</sup> Energy-Plus
- <sup>4</sup> DAYSIM
- <sup>5</sup> Galapagos
- <sup>6</sup> Louvres

- <sup>7</sup> Multi-objective
- <sup>8</sup> Thermal comfort
- <sup>9</sup> Visual comfort
- <sup>10</sup> Rhino
- <sup>11</sup> Grasshopper
- <sup>12</sup> <http://www.radiance-online.org/>
- <sup>13</sup> American National Standard Institute
- <sup>14</sup> <https://energyplus.net/testing>
- <sup>15</sup> Open Studio
- <sup>16</sup> Useful daylight illuminance
- <sup>17</sup> Illuminating Engineering Society of North America
- <sup>18</sup> Chartered Institution of Building Services Engineers
- <sup>19</sup> Daylight Glare Index
- <sup>20</sup> Daylight glare Probability
- <sup>21</sup> EnergyPlus Weather File
- <sup>22</sup> LEED (The Leadership in Energy and Environmental Design)
- <sup>23</sup> Energy use intensity
- <sup>24</sup> <https://www.leadonline.com/>
- <sup>25</sup> Extrude
- <sup>26</sup> Array
- <sup>27</sup> Grid Based Simulation
- <sup>28</sup> Image Based Simulation
- <sup>29</sup> True
- <sup>30</sup> False
- <sup>31</sup> Fitness
- <sup>32</sup> Evaluate
- <sup>33</sup> Key Performance Indicators

#### منابع

Andersen, P. A., Duer, K., Foldbjerg, P., Roy, N., Christoffersen, J., Færing Asmussen, T., Andersen, K., Plesner, C., Helms Rasmussen, M., & Hansen, F. (2014). *Daylight, Energy and Indoor Climate Basic Book*. VELUX. Ed. 3.

Bellia, L., Cesarano, A., Iuliano, G. F., & Spada, G. (2008). *Daylight glare: a review of discomfort indexes*. In: Visual quality and energy efficiency in indoor lighting: today for tomorrow, 31 Mar 2008, Roma, Italia.

Caloeytoy, K., Ichinose, M. & Chen, S. (2020). Determination of the simplified daylight glare probability (DGPs) criteria for daylight office spaces in Thailand. *Buildings*, 10(10), 1-20. <https://doi.org/10.3390/buildings10100180>

Carlucci, S., Causone, F., De Rosa, F., & Pagliano, L. (2015). A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 1016-1033. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.062>

Chauvel, P., Collins, J. B., Dogniaux, R., & Longmore, J. (1982). Glare from windows:



- Katsifaraki, A., Bueno, B., & Kuhn, T. E. (2017). A daylight optimized simulation-based shading controller for venetian blinds. *Build. Environ*, 126, 207- 220. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.10.003>.
- Khoroshiltseva, M., Slanzi, D., & Poli, I., (2016). A Pareto-based multi-objective optimization algorithm to design energy-efficient shading devices. *Appl. Energy*, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.05.015>.
- Koo, S.Y., Yeo, M.S. & Kim, K.W., (2010). Automated blind control to maximize the benefits of daylight in buildings. *Building and Environment*, 45(6), 1508-1520.
- Loonen, R.C.G.M. Trčka, M. Cóstola, D. & Hensen, J.L.M. (2013). Climate adaptive building shells: State-of-the art and future challenges, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 483-493. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.016>.
- Loutzenhiser, P. G., Manz, H., Moosberger, S., & Maxwell, G. M. (2009). An empirical validation of window solar gain models and the associated interactions. *International Journal of Thermal Sciences*, 48(1), 85-95. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2008.01.011>
- Mangkuto, R. A., Feradi, F., Putra, R. E., , Atmodipoero, R. T., & Favero, F.(2018). Optimisation of daylight admission based on modifications of light shelf design parameters. *building eng.* 18, 195-209. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.03.007>.
- Manzan, M. (2014). Genetic optimization of external fixed shading devices. *Energy Build*, 72, 431-440. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.01.007>.
- Manzan, M., & Clarich, A. (2017). FAST energy and daylight optimization of an office with fixed and movable shading devices. *Build. Environ*, 113, 175-184. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.09.035>
- McNeil, A., & Lee, E. S. (2013). Annual daylighting performance of a passive optical light shelf in sidelit perimeter zones of commercial buildings. *Building Technol. Urban Syst.*, 1-32.
- current views of the problem. *Lighting Research & Technology*, 14, 31-46. doi:10.1177%2F096032718201400103.
- Chen, Q., Huang, M., Xu, Q., Wang, H., & Wang, J. (2020). Reinforcement Learning-Based Genetic Algorithm in Optimizing Multidimensional Data Discretization Scheme. *Mathematical Problems in Engineering*, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2020/1698323>
- CIBSE. (2006). Guide A: Environmental design. Chartered Institute of Building Services Engineers, London.
- International Commission on Illumination (CIE). (1983 ) *Discomfort Glare in the Interior Working Environment*; Commission Internationale de l'Eclairage: Vienna, Austria, p. 52.
- Galatioto, A. & Beccali, M. (2016). Aspects and issues of daylighting assessment: A review study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 852-860. DOI: 10.1016/j.rser.2016.08.018
- Hoes, P., Hensen, J. L.M., Loomans, M.G.L.C., Vries, de, B., & Bourgeois, D. (2009). User behavior in whole building simulation. *Energy and Buildings*, 41(3), 295-302. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.09.008>
- Hopkinson, R.G. (1972). Glare from daylighting in building. *Applied Ergonomic*, 3(4):206-215. doi:10.1016/0003-6870(72)90102-0
- Hosseini, S. M., Mohammadi, M., & Guerra-Santin, O. (2019). Interactive kinetic façade: Improving visual comfort based on dynamic daylight and occupant's positions by 2D and 3D shape changes. *Building and Environment*, 165, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106396>
- IESNA. (2000). *Illuminating Engineering Society of North America*. New York: Illuminating Engineering Society of North America. <https://www.ies.org/>
- Karadag, I., & Keskin, Z. (2021). Development of a Daylight Simulation Software for Early Design Stage: A Case Study of a Container House, 52(1), Periodica Polytechnica Architecture



- Shakouri Hassanabadi, M., & Banihashemi Namini, S. (2012). Developing an empirical predictive energy-rating model for windows by using Artificial Neural Network. *International Journal of Green Energy*, 20-21. <https://doi.org/10.1080/15435075.2012.738451>
- Sheikh, W.T., & Asghar, Q. (2019). Adaptive biomimetic facades: Enhancing energy efficiency of highly glazed buildings. *Frontiers of Architectural Research*, 8(3), 319-331. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.06.001>
- Solvang, H., Kristiansen, T., Bottheim, R. M., & Kampel, W. (2020). Comparison and development of daylight simulation software – A case study. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 172, p. 19001). Oslo: Multiconsult Norway AS, Department of Building Physics and Energy.
- Tabadkani, A., Banihashemi, S., & Hosseini, M. R. (2018). Daylighting and visual comfort of oriental sun responsive skins: a parametric analysis. *Build. Simul.* 11, 663-676. <https://doi.org/10.1007/s12273-018-0433-0>
- Tabadkani, A., Roetzel, A., Xian Li, H., & Tsangrassoulis, A. (2021). Daylight in buildings and visual comfort evaluation: the advantages and limitations. *Daylighting*, 8(2), 181-203. <https://dx.doi.org/10.15627/jd.2021.16>
- The CIBSE SLL Code for Lighting* (2012). Chartered Institution of Building Services Engineers, Retrieved June 2, 2023, from <https://www.cibse.org/knowledge-research/knowledge-portal/sll-code-for-lighting>.
- Turner, C., & Frankel, M. (2008). *Energy Performance of LEED® for New Construction Buildings*. Vancouver: U.S. Green Building Council.
- Zalatan, K. (1993). A practical way to optimization building energy efficiency. *energy and building*, 35-55.
- Zani, A., Andaloro, M., Deblasio, L., Ruttico, P., & Giovanni Mainini, A. (2017). Computational design and parametric optimization approach with genetic algorithms of an innovative concrete shading device system. *Procedia Eng.* 180, 1473-1483. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.310>
- McNeil, A., & Burrell, G. C. (2016). Applicability of DGP and DGI for evaluating glare in a brightly daylight space. ASHRAE and IBPSA-USA SimBuild., Building performance modeling conference, August 8-12, (pp. 57- 64).
- Miri, M., & Saeed Company, M. (2013). Process design to achieve suitable natural lighting for an office work space in Tehran by calculating the optimal dimensions of window, canopy and useful depth of the room, the second international conference on lighting and illumination of Iran, Tehran: Olympic Hotel. (in Persian)
- Motamedi, S., & Liedl, P. (2016). Integrative algorithm to optimize skylights considering fully impacts of daylight on energy. *Energy and Buildings*, 138, 655-665. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.12.045
- Oliver, P. (2020). Real-world use of key performance indicators for point-of-Care Testing building energy Optimization accredited by ISO 22870. *Practical Laboratory Medicine* .50-62.
- Reinhart, C. F., & Andersen, M. (2006). Development and validation of a Radiance model for a translucent panel. *Energy and Buildings*, 38(7), 890-904. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.006>
- Ryana, E. M., & Sanquist, T. F. (2012). Validation of building energy modeling tools under idealized and realistic. *Energy and Buildings*, 47, 375-382. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.12.020>
- Santos, L. Menezes Leitão, A., & Caldas, L. (2018). A comparison of two light-redirecting fenestration systems using a modified modeling technique for Radiance 3-phase method simulations. *Solar Energy*, 161, 47-63. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.12.020>.
- Sghiouri, H., Mezrhab, A., Karkri, M., & Naji, H. (2018). Shading devices optimization to enhance thermal comfort and energy performance of a residential building in Morocco. *Build. Eng* , 18, 292-302. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.03.018>