DOI : 10.22034/jrenew.2023.185041

سال یازدهم، شماره اول، بهار و تابستان 1403، ص ص 60- 69

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

Online ISSN 2676-2994 print ISSN 2423-4931

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: 1402/02/16

تاریخ پذیرش: 1402/06/11

بررسی تأثیر استفاده از دیوار آبی بر کاهش خیرگی ناشی از تابش جبهه‌ی غربی در ساختمان‌های اقلیم معتدل و مرطوب

مصطفی قلی‌پور گشنیانی [1*]، مهسا رمضان‌پور [2]، فاطمه صالحی [2]

1- استادیار، مهندسی معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

2- کارشناسی ارشد، معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

* بابلسر، 47411-51167، m.gholipour@umz.ac.ir

چکیده

امروزه با توجه به این‌که انسان‌ها، درصد قابل‌توجهی از ساعات روز را در محیط‌های بسته می‌گذرانند، تأمین نور طبیعی امری ضروری بوده، اما "خیرگی" یکی از چالشهای اساسی آن است. جبهه غربی، همواره با مشکل خیرگی و بار حرارتی زیاد همراه بوده که بهره‌گیری از روشنایی نور روز در این جداره را با چالش‌های بسیار مواجه نموده است. امروزه با توسعه جداره‌هایی با ظرفیت حرارتی بالا، "دیوار آبی" یکی از آنهاست که امکان نفوذ نور را دارا است. پژوهش در تلاش است با ارائه راهکارهایی جهت ایجاد آسایش بصری، بتواند از جبهه‌ی غربی برای نورگیری بهره ببرد. سؤال اینکه: دیوار آبی در جداره غربی تا چه میزان در بهبود شرایط آسایش بصری از منظر خیرگی مؤثر است؟ رنگ سیال و ابعاد دیوار آبی، چقدر در کاهش میزان خیرگی مؤثر است؟ در ادامه گام‌های پژوهش، با شبیه‌سازی مدل پایه در نرم‌افزار "راینو"، مشخص کردن متغیرها در "گراس‌هاپر" و از افزونه‌های "لیدی‌باگ" و "هانی بی" نتایج حاصله به روش تطبیقی قیاس شده است. نتایج نشان می‌دهند که دیوار آبی و نوع رنگ‌دانه در دیوار، نقش حائز اهمیتی در کاهش میزان خیرگی نسبت به بازشو متداول در جداره غربی داشته و در تنظیم شرایط بصری مؤثر است. میزان خیرگی در دیوار آبی بدون رنگ‌دانه، با 0.36 واحد، دیوار آبی با رنگ آبی 0.32 واحد و دیوار آبی با مساحت همسان پنجره با 0.3 واحد، کاهش نشان می دهد. درنتیجه بررسی، با استفاده از دیوار آبی می‌توان از میزان خیرگی ناشی از نور مزاحم در جبهه غربی ساختمان را کاهش داد.

کلیدواژگان: سیستم غیرفعال خورشیدی، دیوار آبی، آسایش بصری، خیرگی، نور خورشید

Investigating the Effects of Water-Wall on Glazing in the Western Facades of Buildings in a Moderate and Humid Climate

Mostafa Gholipour Gashniani[1*], Mahsa Ramzanpour[2], Fatemeh Salehi[2]

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

Received: 6 May 2023 Accepted: 2 September 2023

Abstract

Currently, people spend a significant portion of their waking hours in enclosed spaces; therefore, it is essential to provide them with access to natural light. The western facade has long been associated with issues such as glare and a high thermal load. With the developments in the construction industry, the "water wall" was introduced as a window with high thermal capacity that allows light to penetrate. This research aims to leverage the western wall by offering solutions to enhance visual comfort. The question is: To what extent is the water wall on the west front effective in improving visual comfort? By simulating the basic model in the Rhino software, specifying the variables in the Grasshopper program, and utilizing Ladybug and Honey Bee plugins, the results are compared using the comparative method. The results indicate that the water wall and the pigment used in the wall play a significant role in reducing glare, as compared to the typical opening found in the western wall. The amount of glare in the water wall without pigment is 0.36 units. However, when the water wall is blue, the glare reduces to 0.32 units. Additionally, when the

water wall has the same area as the window, the glare further decreases to 0.3 units. The investigation suggests that the use of a blue wall may effectively reduce glare.
Keywords: Passive solar system, Solar water wall, Visual comfort, Glazing, Sunlight

1- مقدمه

انسان‌ها در طی سالیان متمادی، بـا نور طبیعی سازگاری یافته‌اند، ازاین‌رو روشنایی نور روز برای آسایش افراد ضروری اسـت. از طرفی با توجه به این‌که بسیاری از افراد، ساعات زیادی از روز را در فضاهای بسته سپری می‌کنند، فراهم نمودن نور طبیعی مطلوب در این فضاها، ضرورت خواهد داشت [1]. تأمین نور طبیعی کافی در ساختمان، علاوه بر ارتقای آسایش افراد و تأثیراتی که بر سلامتی و روان کاربران دارد، می‌تواند باعث کاهش مصرف برق در بخش روشنایی ساختمان نیز گردد و ازاین‌رو نقش مؤثری در طراحی پایدار ایفا کند. از طرفی باید دقت شود همان‌گونه که نور طبیعی وارد فضاهای داخلی می‌شود، تابش خورشید می‌تواند منجر به ورود گرما به این فضاها نیز شود. این وضعیت در فصول سرد که به گرمایش نیاز است، می‌تواند بار گرمایشی را کاهش دهد و از این نظر یک ویژگی مطلوب به‌شمار می‌آید؛ ولی در فصول گرم باعث افزایش بار سرمایشی می‌شود. ازاین‌رو ضروری است تا در طراحی، علاوه بر کنترل خیرگی، گرمای حاصل از تابش خورشید نیز کنترل شود [2].

در معماری پیشین ایران جهت حل این چالش‌ها، راه‌کارهای مختلفی به‌کاربرده شده است که یکی از آن‌ها، بهره‌گیری از پنجره‌های رنگی ارسی در برابر تابش خورشید است تا علاوه بر تأمین نور طبیعی، آسایش بصری را به همراه داشته و از خیرگی جلوگیری می‌کند. این ویژگی به این دلیل است که درگذشته، به‌منظور جلوگیری از عبور برخی از رنگ‌های موجود در نور سفید، از شیشه‌های رنگی در ارسی‌ها اسـتفاده می‌کردند [3]. تأمین آسایش کاربر در فضای داخلی ساختمان، دارای جنبه‌های مختلفی است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به آسایش بصری اشاره کرد .فراهم کردن شرایط نوری به‌گونه‌ای که آسایش بصری کاربران تأمین شود و پیام‌های دیداری به وضوح از محیط دریافت شوند، متأثر از عوامل مختلفی است که مقدار نور و نحوهٔ توزیع آن، انعکاس‌های آزاردهنده، طبق نتایج درجهٔ خیرگی و دمای رنگ نور ازجملهٔ آن‌هاست [4]. ازاین‌رو برنامه‌ریزی برای استفادهٔ کارآمد از نور طبیعی و برقراری شرایط آسایش بصری برای کاربران، از مواردی است که لازم است موردتوجه قرار گیرد .برای ارزیابیِ دو عامل مهم مؤثر برآسایش بصری مرتبط با نور روز، یعنی کافی بودن مقدار نور دریافتی و عدم وقوع خیرگی آزاردهنده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که در پژوهش حاضر کنترل خیرگی در جداره غربی جهت حصول آسایش بصری مدنظر خواهد بود.

از طرفی در اقلیم معتدل و مرطوب شمال کشور، جبهه‌ی غربی ساختمان‌ها همواره در معرض تابش مزاحم خورشید بوده که این تابش به دلیل زاویه‌ی خاص خورشید در فصول مختلف، بر آسایش بصری کاربران اثر نامطلوب داشته و با ایجاد خیرگی برای کاربران مزاحمت ایجاد می‌کند. در فصل پاییز و زمستان که بهره‌گیری از منبع نوری جهت تامین بار حرارتی ساختمان از ترجیحات اقلیمی این منطقه به شمار می‌رود، مشکل ایجاد خیرگی و عدم آسایش بصری از مشکلات مهمی محسوب می‌شود که تحقق همزمان آسایش حرارتی و آسایش بصری را در جداره‌های غربی به چالش خواهد کشید. از سویی دیگر در اقلیم مورد نظر، با توجه پتانسیل حرارتی مناسب جداره غربی در فصل پاییز و زمستان و بهره‌گیری از آن توسط ظرفیت‌های حرارتی بالا (آب) که قابلیت تعدیل و تغییر رنگ و تخلیه در بهار و تابستان را دارا باشند از مزیت بهره‌گیری از دیوار آبی در جداره غربی خوهد بود [5].

راهکارهایی که امروزه در مقابله با این معضل ارائه می‌شوند عمدتاً جهت مقابله با عوامل اقلیمی جبهه‌ی غربی ساختمان بوده و راهکاری جهت کنترل عوامل و سازگاری با محیط وجود ندارد. با افزایش جمعیت و ساختمان‌سازی و در پی آن افزایش تراکم، نیاز به استفاده از تمام جهات نمای ساختمان جهت نورگیری کاملاً محسوس است؛ اما نور مزاحم این امکان را از ما برای استفاده‌ی آسان‌تر از جبهه‌ی غربی ساختمان از بین برده است. در سال‌های اخیر، بهره‌گیری از نور روز به‌مثابه‌ی یک استراتژی طراحی برای کاهش مصرف انرژی روشنایی، بهبود آسایش بصری و بهره‌وری کاربران در فضا توسعه‌یافته است. نور طبیعی و ارتباط بصری با محیط خارج در فضاهای زیستی انسان، اعم از محیط کار، تفریح، سکونت، تحصیل و...، علاوه برافزایش کارایی و بازدهی، موجب کاهش اضطراب، بهبود رفتار و نیز حفظ و افزایش سلامتی نیز می‌شود [6].

پژوهش حاضر درصدد یافتن پاسخ سؤال‌های زیر پیش خواهد رفت: چگونه می‌توان توسط دیوار آبی از تابش جبهه‌ی غربی جهت تأمین آسایش بصری استفاده کرد؟ چگونه دیوار آبی می‌تواند نور کنترل شده‌ای برای کاربران ساختمان فراهم کند؟ چه عواملی می‌تواند بر کاهش خیرگی توسط دیوار ترومب آبی تأثیرگذار باشد؟ هدف این پژوهش بررسی عملکرد دیوارهای آبی به‌عنوان یکی از راهکارهای کنترل نور طبیعی واردشده به فضاهای داخلی ساختمان‌ها در معماری ایران و جهان است و در آن سعی شده تا با کمک شبیه‌سازی رایانه‌ای، ویژگی‌هایی مانند طیف نور عبوری و جذب‌شده در ناحیه‌ی مرئی توسط دیوار ترومب آبی در فضای شبیه‌سازی‌شده و درصد انرژی عبورکرده از آن (در تابش ناحیه‌ی مرئی) مورد تحلیل قرار گیرند.

این پژوهش در راستای یافتن معیارهایی جهت بهبود بخشیدن به سطح کیفی فضاهای داخلی ساختمان گام برداشته است و با توجه به ترجیحات و نیازهای کاربران و تأثیراتی که الگوی شکلی، ابعاد دیوار یا بازشو، خصوصیات مایع استفاده‌شده بین دوجداره شیشه‌ای دیوار ترومب نمای غربی بر ذهن و سیستم عصبی کاربران می‌گذارند، به دنبال الگویی مناسب در جهت هماهنگ‌سازی و ارتقای دانش طراحی‌نما و ایجاد تعادل با آسایش بصری می‌باشد. به نظر می‌رسد با استفاده از دیوار آبی به دلیل ضخامت زیاد آن و شکست زاویه نور خورشید در آب بتوان به آسایش بصری مناسب‌تری دست‌یافت؛ به نظر می‌رسد با اصلاح دیوار آبی ترومب می‌توان به‌نوعی دیوار آبی چند جداره با لایه‌هایی از آب‌وهوا دست‌یافت که زاویه تابش غربی خورشید را تغییر داده، شدت آن را کنترل کرده و درنتیجه موجب کاهش اثر خیرگی آن بر کاربران می‌شود؛ احتمالاً دیوار ترومب آبی می‌تواند بر نیازها و تمایلات جذاب و خوشایند فعالیت‌های نورونی مغز کاربران محیط تأثیر مفیدی داشته باشد؛

از این رو و مبتنی بر فرضیه های مطرح شده، پیشنهاد الگوی هندسی و ابعاد مناسب برای بازشوها با رنگ و غلظت مناسب مایع پرکننده جداره

شیشه‌ای بر اساس نیازهای بصری کاربران محیط باهدف فراهم نمودن حداکثر میزان آسایش بصری مدنظر خواهد بود.

1-1- مروری بر پیشینه پژوهش

پژوهش‌های متعددی در مورد اهمیت بهره‌مندی از نور طبیعی در ساختمان‌ها صورت گرفته است. توجه به نور طبیعی نقش مهمی را در شکل‌گیری یک طرح پایدار ایفا می‌کند. چراکه درنظرگرفتن ملاحظات نور طبیعی در طراحی می‌تواند موجب کاهش مصرف برق در بخش روشنایی ساختمان شود و از این طریق دست‌یابی به ساختمان‌هایی که به لحاظ زیست‌محیطی پایدارند، کمک می‌کند [7].

دابیوس[1] در پژوهشی تحت عنوان اثر انواع شیشه در کیفیت نور روز در فضای داخلی: نتیجه‌گیری از مطالعات سه مدل مقیاسی، سه مطالعه بر روی مدل‌هایی با مقیاس‌های متفاوت (یک مطالعه در دانمارک و دو مطالعه در کانادا) به صورت تجربی صورت گرفت. در این پژوهش مشخص شد که میزان عبور نور در شیشه‌ها، با میزان روشنایی، احساس زیبایی، طبیعی بودن، وضوح و دقت، همبستگی مثبت دارد. هم‌چنین مشخص شد که میزان عبور نور با بروز پدیده چشم‌زدگی رابطه‌ی مستقیم دارد و اگرچه کاهش میزان عبور نور از شیشه می‌تواند موجب کاهش خیرگی گردد، ولی آزمایش‌ها نشان دادند که با کاهش عبور نور، فضای داخلی تاریک‌تر به نظر می‌رسد و میزان زیبایی، دقت و وضوح آن نیز کاهش می‌یابد. بنابراین بهتر است به‌منظور کاهش بروز چشم‌زدگی، به‌جای این‌که مساله‌ی چشم‌زدگی را به‌عنوان یک پارامتر مستقل درنظر گرفته شود، آن را در کنار سایر پارامترها در زمینه‌ی نورپردازی مشاهده می‌شود [8].

یاو[2]، نیز در مقاله‌ای با عنوان بررسی تأثیر سایه‌های خورشیدی متحرک بر بهبود مصرف انرژی، حرارت و آسایش بصری در محیط داخلی، می‌گوید: ساختمان‌ها، مصرف کننده انرژی بزرگی هستند و مسئول بخش بزرگی از انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان هستند. در بین اقدامات تأثیرپذیری انرژی ساختمان، سایه خورشیدی نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی ساختمان به ویژه در مناطق گرم-تابستان و سرد-زمستان چین ایفا می‌کند. این مقاله با استفاده از بررسی سایه‌های سایه‌بان‌های متحرک نصب شده در نمای جنوبی یک ساختمان مسکونی در شهر نینگبو[3] چین، اندازه‌گیری چندساله‌ای انجام داده است و درنتیجه مطالعات اندازه‌گیری و شبیه‌سازی اولیه در مورد تأثیر سایه‌بان‌های خورشیدی متحرک بر روی انرژی، حرارت داخلی و آسایش بصری در ساختمان مسکونی با استفاده از یکپارچه‌سازی باهدف انجام‌شده است. نتایج آزمایش اول نشان می‌دهد که سایه‌بان‌های خورشیدی متحرک خارجی می‌توانند میزان انتقال انرژی خورشیدی را در مقایسه با بازشوهای برهنه (فاقد سایبان) در حدود 8٪ کاهش دهند و نور روز را به میزان مناسبی برای ساکنان کنترل کنند. به بیانی دیگر، سایه‌بان‌های متحرک، در ماه‌های نیاز به نور (فصل زمستان) تا 8 درصد در کاهش نور دریافتی از پنجره در مقایسه با پنجره بدون سایبان نقش دارند. از مطالعه شبیه‌سازی ساختمان نشان می‌دهد که سایه‌بان خورشیدی متحرک نه تنها آسایش حرارتی داخلی در تابستان را بهبود می‌بخشد بلکه اثرات بسیار نامطلوب آسایشی را نیز کاهش می‌دهد. استفاده از سایه‌بان خورشیدی متحرک پتانسیل صرفه‌جویی در مصرف انرژی نسبتاً بالایی در فصل تابستان دارد (30.87٪، که برابر است با کاهش سطح عایق‌بندی دیواره به نیمی از مقدار استاندارد انرژی مورد نیاز با ترکیبی از برنامه‌های کاربردی از بهترین پنجره‌های کارآمد اما کم هزینه). در این منطقه در مقایسه با سایر اقدامات، زمان مطلوب آسایشی 21٪ افزایش یافته و زمان نامطلوب آسایشی 80.4٪ کاهش یافته است. هم‌چنین وضعیت آسایش بصری 19.9٪ بهبودیافته است. بنابراین سایه‌بان خورشیدی متحرک ازنظر انرژی ،آسایش حرارتی و دید بصری عملکرد قابل‌توجهی دارد و می‌تواند در مناطق گرم-تابستان و سرد-زمستان چین بسیار مورداستفاده قرارگیرد [9].

در میان پژوهش های مرتبط با موضوع آسایش بصری و خیرگی انجام گرفته در سالهای 2018 - 1949 در سالهای اخیر تعدادی از پژوهش ها به کمک مقایسه ارزیابی های حاصل از روش میدانی و شبیه سازی رایانه ای، به اعتبارسنجی این شاخصها از نظر هماهنگی با نظریات کاربران پرداخته اند. در سال 2012 طی تحقیقی گسترده در فضاهایی با کاربری متنوع در ایالت متحدهٔ آمریکا، شاخص های sDA و ASE به عنوان دو شاخص مناسب برای پیشبینی رضایت کاربران از مقدار نور و آزاردهندگی خیرگی پیشنهاد شدند [10]. در همین سال طی پژوهشی در دانشگاه کمبریج آمریکا به این نتیجه رسیدند که شاخص sDA با در نظر گرفتن 300 لوکس به عنوان حداقل روشنایی، بیشترین هماهنگی را با نظر کاربران داشته است؛ این در حالی است که شاخصهای DF و UDI در این زمینه عملکرد ضعیفی داشته اند [11].

التاویل[4] و همکاران در مقاله‌ای با عنوان طراحی پارامتریک و روشنایی روز: مروری بر ادبیات، یک بررسی ادبی در مورد منشأ، اصل، اجرا و کاربردهای مفهوم طراحی پارامتریک به‌طورکلی، و به‌طور خاص ارتباط بین طراحی پارامتریک و تحقیقات نور روز پرداختند. طراحی پارامتریک در سال-های اخیر با توجه به پیچیدگی طراحی ساختمان‌های مدرن، با استفاده از ابزار مدل‌سازی پیشرفته برای به‌طور هم‌زمان پارامترهای طراحی، موردتوجه قرارگرفته است. طراحی پارامتریک به‌طور گسترده در زمینه‌های معماری، طراحی سازه، برنامه‌ریزی شهری، طراحی مد و غیره مورداستفاده قرارگرفته است، درحالی‌که برنامه‌های کاربردی آن برای تحقیقات روشنایی روز در حال رشد است. رایج‌ترین نرم‌افزار مورداستفاده برای این جنبه، گراس‌هاپر[5] مبتنی بر نرم افزار راینو[6] به‌عنوان یک روش مدل‌سازی پارامتریک است. گراس‌هاپر به‌منظور تسهیل ارتباط بین رشته‌های مختلف، با همان روش شبیه‌سازی، به چندین پلاگین متصل شده است. برای شبیه‌سازی نور روز؛ پلاگین های دیوا، لیدی‌باگ و هانی‌بی[7] به‌عنوان پلاگین‌هایی برای تولید شبیه‌سازی هوا و آنالیز نور روز استفاده می‌شوند. علاوه بر این، با استفاده از فایل EPW ، ویژگی‌های آب‌وهوایی یک قلمرو خاص را تعریف می‌کنند. افزونه ژنتیکی الگوریتمی پلاگین گالاپاگوس[8] به‌عنوان ابزار بهینه‌سازی برای یافتن بهترین راه‌حل استفاده می‌شود. ویژگی مثبت این نرم‌افزار پارامتریک این است که می‌تواند تمام عناصر طراحی را به‌صورت جداگانه یا یکپارچه کنترل و اصلاح‌کرده و هرگونه تغییر در محیط، بر کل مدل به‌طور هم‌زمان تأثیر می-گذارد. بنابراین، استفاده از طراحی پارامتریک در نور روز می‌تواند باعث بهبود عملکرد طراحی ساختمان، نور روز و صرفه‌جویی در مصرف انرژی در مراحل

1. Dubois
2. Yao
3. Ningbo
4. Eltaweel
5. Grasshopper
6. Rhinoceros 3D
7. Diva, Ladybug, Honeybee
8. Galapagos

اولیه طراحی شود. پیوند با شبیه‌سازی عملکرد حرارتی ساختمان‌ها و راحتی بصری جهشی جذاب برای طراحی پارامتریک در نور روز برای تحقیقات آینده خواهد بود [12].

محمد و همکاران در سال 2019 در مقاله‌ای تحت عنوان استفاده از دیوار ترومب در شرایط اقلیمی سرد و گرم، طراحی جدیدی برای گرمایش و تهویه‌ی اتاق‌ها با استفاده از انرژی خورشیدی در فصل زمستان و برای کاهش بار خنک‌کننده در فصل تابستان پیشنهاد دادند. این سیستم از مخزن آب، که بخشی از دیوار ساختمان است برای ذخیره‌سازی و تأمین آب گرم استفاده می‌کند. سیستم منفعل پیشنهادی می‌تواند برای گرم کردن یک اتاق در روز استفاده شود و اگر گرما بیش‌ازحد باشد، یک شبانه‌روز؛ گرمای اضافه می‌تواند برای گرم کردن آب مصرفی خانه نیز استفاده شود. این مقاله به تجزیه‌وتحلیل امکان‌پذیر بودن سیستم پیشنهادی می‌پردازد و درنتیجه، دیوار ترومبی اصلاح‌شده برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی در ساختمان‌ها معرفی می‌کند. این سیستم برای گرمایش در فصل زمستان قابل استفاده است. این سیستم هم‌چنین اثر گرمایش خورشیدی را در فصل تابستان کاهش می‌دهد. با این وجود، به جای تهویه هوای گرم شده از انرژی خورشیدی، می‌توان از این انرژی برای اهداف گرمایش آب خانگی استفاده کرد. علاوه بر این، سیستم با اثر دودکش می‌تواند در تهویه هوا کمک کند. تجزیه‌وتحلیل اولیه برای نشان دادن حساسیت سیستم برای چند پارامتر کنترل‌کننده انجام شد. این سیستم نشان داد که ضریب انتقال حرارت هوای جانبی یک پارامتر مهم است که باید به درستی تخمین زده شود. افزودن سطوح طولانی، می‌تواند به‌عنوان عاملی مؤثر بر انتقال حرارت باشد؛ با این حال، این به هزینه و وزن سیستم خواهد افزود. از آن‌جایی که سیستم برای مدت معینی مقدار مشابه انرژی را دریافت می‌کند، کاهش اندازه مخزن باعث افزایش دما می‌شود. با این حال، مقدار انرژی ذخیره شده در مخزن به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر اندازه مخزن، حداقل برای محدوده موردبررسی قرار نمی‌گیرد. کارآیی ذخیره انرژی حرارتی بیش از 70٪ است که نشان می‌دهد سیستم در صرفه‌جویی انرژی حرارتی مؤثر است [13].

خلیلی و همکاران، در مقاله‌ای با عنوان طراحی دیوارانباره‌ی آبی با استفاده از زباله‌های ماندگار، با اشاره به اهمیت محیط‌زیست و استفاده بهینه از مصالح زیست‌محیطی جهت ذخیره حرارت نور خورشید از دیوار، به‌عنوان انباره‌ی آبی استفاده نموده؛ دیواری که سبک است و مصالح آن بطری‌های پلاستیکی است. دیوار آبی تا حدی مؤثرتر از دیوار بنایی است اما نگهداری آب به روشی خوشایند و زیبا، به‌طوری که قابل عرضه باشد، بررسی و طراحی‌ای دقیق‌تر می‌طلبد. در این طرح تلاش کرده‌اند تا با بهره‌مندی از خاصیت بطری‌ها، که حجم زیادی از زباله‌های شهری را تشکیل می‌دهند، به مفهوم تازه‌ای از دیواره‌ی ذخیره‌ی آبی دست یابند [14]. درنتیجه: مصالح در ساختار این دیوار کم‌هزینه و تا حد ممکن ساده است تا هیچ‌گونه پیچیدگی و نیاز به نیروهای متخصص نباشد؛ پیش‌ساختگی جداره‌های داخلی و خارجی موجب سرعت بالای نصب و ساخت میشود؛ توجه به اوضاع اقلیمی منطقه از پایه‌های طرح و ساخت این دیوار بوده است. این دیوار، اگر بطری‌ها خالی باشد، با لایه هوای محبوس شده، عایق حرارتی موثری است و اگر با پرکننده‌ای با ظرفیت حرارتی بالا مانند آب پر شود، دیوار ذخیره‌ی حرارتی خواهد بود؛ در مقایسه با دیگر دیوارهای بررسی‌شده، این جداره به‌اندازه‌ی کافی سبک است و موجب کاهش بار زلزله می‌شود؛ تخریب دیوار آسان است و استفاده‌ی مجدد از مصالح و بازیافت مجدد آن، ممکن است؛ مقاومت نسبی در برابر انتقال صوت دارد؛ این دیوار به نگه‌دارنده در طول یا ارتفاع نیازی ندارد؛ چرا که بطری‌ها یک‌درمیان یک‌دیگر را می‌پوشانند؛ از معایب این دیوار عدم انعطاف‌پذیری برای اجرای تیغه‌های منحنی شکل است. می‌توان در تلاش‌های آینده به این موضوع پرداخت.

سخندان سرخابی و خان‌محمدی، در مقاله‌ای تحت عنوان بهینه‌کردن کارکرد انرژی دیوارهای بدون بازشو در جبهه‌های آفتاب‌گیر، راهکاری نوین برای ارتقای کیفیت گرمایشی دیوارهای بدون‌بازشو در جبهه‌های آفتاب‌گیر و مجاور آن ارائه می‌دهند. در زمستان چنان‌چه یکی از جبهه‌های آفتاب‌گیر به دلایلی مانند باد نامطلوب قابلیت ایجاد سطوح شیشه‌خور را نداشته باشد، گرمایش طبیعی بنا مختل خواهد شد، بنابراین نیاز است تا راهکارهایی برای ارتقای کیفیت گرمایشی دیوارهای بدون بازشوی سه جبهه ارائه شود. در روش پیشنهادی به بررسی سامانه‌های جذب مستقیم، غیرمستقیم و دیوار ترومب پرداخته می‌شود و با استفاده از قابلیت‌های دیوار ترومب آبی و جرم حرارتی دیوار سنگی، سامانه‌ای با قابلیت توسعه، با لوله‌های آب گرم طراحی می‌شود. در نتایج آزمایش‌های عملی، گرمایش مازاد دیوار ترومب در دیوارسنگی برای شب ذخیره‌شده و بازده گرمایشی مناسب‌تری به دست می‌آید، عیوب گرمایشی دیوار ترومب آبی رفع شده و هدررفت حرارتی به حداقل رسیده، به نحوی که دیوار سنگی را از فضای حائل باد به منبع گرمایشی مؤثری تبدیل کرده است. با ترکیب سامانه دیوار ترومب آبی و جرم حرارتی دیوار سنگی به واسطه‌ی لوله‌های آب گرم می‌توان حرارت مازاد دیوار ترومب را در دیوار سنگی ذخیره و از گرمای مطبوع آن استفاده کرد و دیوار ترومب آبی را به دیوار حرارتی گسترش‌پذیری در سایر اضلاع بنا تبدیل کرد و از طرفی دیوار سنگی را از بدنه‌ای حائل در برابر باد نامطلوب به بدنه حرارتی مناسبی برای گرمایش داخل بنا مبدل کرد [15].

اسلامی، در پژوهشی با عنوان بررسی عوامل مؤثر بر خیرگی و راه‌های کاهش آن (مطالعه موردی: کتابخانه ملی مرکزی کرمان)، به این نکته اشاره می‌کند که شدت روشنایی محیط تأثیر به‌سزایی بر افراد و درنتیجه، راندمان آن‌ها دارد. محیط‌های کتابخانه یکی از اصولی‌ترین مکان‌ها برای مطالعه افراد می‌باشد که مسائلی مثل خیرگی و وضعیت روشنایی محیط بر افراد داخل این سالن‌ها اثرگذار بوده و باعث مشکلاتی در افراد می‌شود بنابراین هدف از انجام این پژوهش، بررسی عوامل مؤثر بر خیرگی در کتابخانه ملی شهرستان کرمان بود که در همین راستا نتایج ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که وضعیت نور طبیعی در کتابخانه بیشترین میزان ضریب همبستگی با شدت نور در کتابخانه را دارد، لذا با افزایش نور طبیعی در محیط کتابخانه شدت نور نیز افزایش خواهد یافت. از مطالعات انجام گرفته در این زمینه به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که برای کاهش خیرگی در محیط کتابخانه ملی شهرستان کرمان ابتدا باید فکری برای نور طبیعی ورودی به داخل سالن کرد و با استفاده از ابزارهای مناسب تا حد امکان شدت آن را کاهش داد و پس از آن محیط اطراف و اجسام را با رنگ‌هایی انتخاب کرد که کم‌ترین میزان بازتاب شدید را داشته باشد. از نتایج این پژوهش برآورد می‌شود روی سطح میزهای نزدیک پنجره و هم‌چنین تعدادی میز که از پنجره فاصله زیادی دارند به دلیل ارتفاع زیاد و تابش مایل که باعث می‌شود تابش به عمق بیشتری در داخل ساختمان نفوذ کند و هم‌چنین شفاف بودن شیشه‌ها میزان شدت

روشنایی تعدادی میز را از میزان استاندارد کشوری بالاتر برده است و مشکل خیرگی ناشی از نور طبیعی را به وجود آورده است [16].

بررسی پژوهش‌ها نشان از این دارد که در بخش دیوار های ترومب آبی در حوزه کیفیت بصری و خیره‌گی پژوهش منسجمی انجام نشده و بیشتر مطالعات معطوف به عمکرد حرارتی دیواره ها می باشد. از سویی با توجه به نورگذری دیواره آبی و تأثیر در کیفیت نوری فضای داخلی، خلا پژوهشی در حوزه بررسی شاخصهای کیفی نور در فضاهای مجاور دیوار آبی مشهود است. با بررسی پیشنه پژوهش در حوزه شاخص های موثر در اندازه گیری خیرگی، شاخص خیرگی نور روز (DGI) به عنوان شاخص مورد بررسی انتخاب گردید.

2- روش تحقیق

در این تحقیق جهت بررسی رفتار کیفی نور در دیوار آبی جداره غربی، از روش شبیه‌سازی استفاده‌شده است. این پژوهش از نوع کاربردی است که به‌صورت پیمایشی صورت گرفته است. در این پژوهش از روش‌های توصیفی- تحلیلی، نمونه موردی و کمی برای رسیدن به نتیجه در گام‌های مختلف پژوهش بهره گرفته‌شده است. با بهره‌گیری از مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای، اعم از کتب، مقالات و سایت‌های علمی فعال در این زمینه و هم‌چنین مطالعات میدانی و مشاهده و شبیه‌سازی توسط نرم‌افزارها اطلاعات مورد نیاز به‌دست‌آمده است. نخستین گام در روند این تحقیق جمع‌آوری اطلاعات بستر موردمطالعه است. در ادامه به چارچوب نظری پژوهش پرداخته خواهد شد.

2-1- چارچوب نظری

2-1-1 نور

پیش از حدود سال 1800 میلادی، فرض بر این بود که نور جریانی است از ذرات ریز که به خط راست حرکت می‌کنند، و بر اثر برخورد با شبکیه‌ی چشم حس بینایی را به وجود می‌آورد. هرتز پس از آشکارسازی امواج الکترومغناطیسی نشان داد که این امواج همان پدیده‌های تداخل، بازتابش، شکست و قطبشی را بروز می‌دهند که نور دارد. هم‌چنین هرتز طی این آزمایش‌ها پدیده فتوالکتریک را نیز کشف کرد، که بعدها اینیشتین آن را با این فرض توضیح داد که نور دارای خاصیت ذره‌ای است. امروزه به نور (و همه‌ی تابش‌های الکترومغناطیسی با طول موج‌های گوناگون) هم خواص موجی و هم خواص ذره‌ای نسبت می‌دهند [17].

ضریب شکست: سرعت نور در خلا عبارت است از 108*c:3/0 در سایر محیط‌ها نور کندتر منتشر می‌شود. نسبت c/ʊm را که در آن ʊm سرعت نور در محیط شفاف m است، ضریب شکست محیط m می‌نامند، این کمیت را با حرف n نشان می‌دهند (جدول 1) [همان].

$$ʊ = \frac{c}{n} \qquad (1)$$

جدول 1 ضریب شکست نور خورشید [14]

ماده	ضریب شکست
هوا	1/0003
آب	1/33
شیشه کراون	1/52
شیشه فلینت	1/66
پلکسی گلاس	1/51

شکست نور در مرز بین دو محیط، با ضریب شکست متفاوت، منشا بسیاری از پدیده‌ها به شمار می‌آید؛ مثلا کوتاه شدن طول ظاهری اجسام در آب و تغییر مکان ظاهری اجسامی که به‌طور مورب از پشت شیشه ضخیم مشاهده می‌شوند. برای یافتن رابطه میان زاویه تابش و زاویه شکست، از اصل هویگنس[1] استفاده می‌شود. زاویه شکست، بنابر تعریف، عبارت است از زاویه‌ای که پرتو شکست با خط عمود بر فصل مشترک شکست دهنده می‌سازد که در رابطه زیر، n ضریب شکست و θ زاویه شکست است. [18].

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \qquad (2)$$

در توضیح فرمول‌های بالا، با ورود موج از محیطی با ضریب شکست کم به محیطی با ضریب شکست زیادتر، نور به طرف خط عمود بر فصل مشترک خم می‌شود. برعکس، اگر نور از محیطی با ضریب شکست زیاد وارد محیطی با ضریب شکست کمتر شود، می‌شکند و از خط عمود بر سطح دور می‌شود.

2-1-2 خیرگی

تغییر در شدت و کمیت نور در طول روز می‌تواند عملکرد بصری حاضرین را تحت تأثیر قرار دهد. افزایش شدت نور روز می‌تواند باعث اختلال در عملکرد بینایی و درنتیجه، خیرگی گردد. علی‌رغم علاقه‌ی معماران به استفاده‌ی هرچه بیشتر از روشنایی روز، به مساله‌ی خیرگی کمتر توجه می‌شود. بنابراین آسایش بصری و خیرگی ناشی از نور روز باید به دقت بررسی شود؛ چرا که نبود آسایش بصری می‌تواند بهره‌گیری مناسب از نور روز را مختل کند.

برای تحلیل خیرگی در فضاهای معماری، شاخص‌های متفاوتی مانند: شاخص خیرگی نور روز (DGI)، درجه‌بندی خیرگی یکپارچه (UGR)، احتمال خیرگی نور روز (DGP)، احتمال آسایش بصری (VCP) و عدم آسایش بصری فضایی (SVD) رواج یافته است. شاخص‌های خیرگی از وجوه مختلف قابل دسته‌بندی هستند؛ ازنظر معیار ارزیابی به دو دسته ارزیابی بر اساس درخشندگی و ارزیابی بر اساس روشنایی و ازنظر زمان بررسی نیز به دو دسته‌ی شاخص‌های ایستا (لحظه‌ای) و پویا (سالیانه) قابل تقسیم است [6].

آسایش بصری: آسایش بصری آسایش بصری در مکان‌هایی وجود دارد که به علت کمیت و کیفیت مطلوب اطلاعات و شرایط، از آن‌ها به‌صورت سالم‌تر، ایمن‌تر و مطلوب‌تر استفاده می‌شود و نظارت‌های رسمی و اجتماعی بالاتری بر آن‌ها صورت می‌گیرد [15].

تعاریف فاکتورهای موثر در آسایش بصری به شرح زیر می‌باشد:

1. میزان روشنایی نور روز: مقدار نوری که با معیار سنجش لوکس بر روی یک سطح به ازای هر واحد سطح اندازه‌گیری می‌شود. در مطالعات بیش‌تر طیف مناسب نور (300 لوکس) برای کارهای بصری و دیداری پیشنهاد گردیده است.

2. شدت درخشندگی نور روز: اندازه‌گیری شدت روشنایی به ازای یک واحد سطح می‌باشد و میزان توصیف شده نوری می‌باشد که از یک سطح خاص تابیده شده یا بازتاب یافته است و با فوت کندل اندازه‌گیری می‌شود.

3. یکنواختی: به صورت نسبت فاکتور حداقل نور روز به میانگین آن در درون فضا، تعریف شده است. نسبت فاکتور نور روز حداقل به میانگین آن در بسیاری از استانداردهای روشنایی تعریف شده است [19].

یکنواختی فضایی نور روز و عدم آسایش بصری: تقریبا در همه‌ی مطالعات در خصوص نور روز، شاخص‌های استاتیک نور، نظیر فاکتور نور روز،

1. Huygens

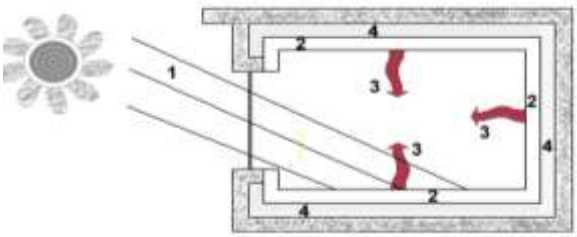
یکنواختی و روشنایی به کار می‌روند. در حالی که شاخص‌های دینامیک جدید، نظیر یکنواختی نور روز، یکنواختی فضایی نور روز، قرارگیری در معرض تابش خورشید سالیانه و روشنایی نور روز قابل استفاده، برای تحلیل ترکیبات طراحی پنجره در مطالعات محدودی به‌کار رفته است. یکنواختی نور روز فضایی نشان دهنده‌ی درصد مساحت فضایی است که حداقل در 50 درصد زمان تصرف، حداقل 300 لوکس روشنایی طبیعی تأمین کند. طبق استاندارد لید [1]، بر مبنای شبیه‌سازی، دستیابی به حداقل 55 درصد از یکنواختی فضایی نور روز در فضا برای گرفتن امتیاز الزامی است [20].

از آنجاییکه، در جداره غربی مسئله اساسی میزان خیرگی نور می‌باشد و کاربر با مشاهده خیره گی تصمیم بر انسداد بازشو و خذف نور می‌گیرد، لذا امکان بهره از روشنایی نور روز را برای فضای غربی سلب خواهد نمود. از اینرو اقدامی که منجر به کاهش میزان خیرگی گردد در اولویت خواهد بررسی بود و در پژوهش های آتی می‌توان مولفه های دیگر کمی و کیفی نور را مورد ارزیابی قرار داد.

2-1-3 سیستم های خورشیدی

به دلیل چرخش زمین به دور خورشید، مقدار انرژی خورشیدیِ دریافتی توسط زمین تا حدود 3.4 ± درصد در طول سال کاهش و افزایش دارد. سطوحی که دقیقا با خورشید زاویه‌ی 90 درجه می‌سازند بیش‌ترین انرژی را از آن دریافت می‌کنند اما اکثر سطوح ساختمان دارای چنین زاویه‌ای نیستند. این زاویه در طول سال و در طول روز با یک ریتم مشخصی تغییر پیدا می‌کند[21]. سیستمهای خورشیدی به دو دسته کلان فعال و غیر فعال تقسیم بندی می‌شوند.

سیستم‌های خورشیدی فعال: سیستم‌های خورشیدی فعال به وسیله‌ی کلکتورهای خورشیدی، تانک‌های ذخیره، پمپ‌ها، مکنده‌ها، کنترل‌کننده‌ها و... طراحی و کنترل می‌شوند [21]. سیستم‌های خورشیدی غیرفعال: چهار فاکتور اصلی (دریافت، ذخیره، آزادسازی، عایق) با همدیگر دخیل هستند تا سیستم خورشیدی غیرفعال در ساختمان در جهت استفاده بهینه از انرژی به درستی عمل کند [همان] (شکل 1).



شکل1 سامانه غیرفعال (1-دریافت، 2-ذخیره، 3-آزادسازی، 4-عایق) [همان]

2-1-4 انواع سیستم‌های غیرفعال خورشیدی

دریافت مستقیم[2]: یکی از ساده‌ترین راه‌های دریافت انرژی خورشید می‌باشد به این صورت که نور مستقیما وارد ساختمان می‌شود.

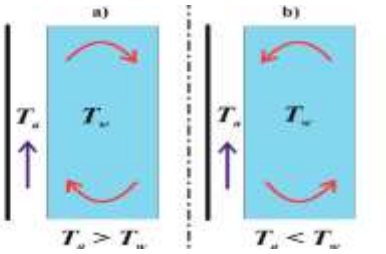
دریافت به وسیله بخش گلخانه‌ای متصل[3]: انرژی خورشید در طول روز به وسیله بخش گلخانه‌ای در طول روز دریافت می‌شود و به وسیله بازشوها به محیط داخلی انتقال پیدا می‌کند.برای بردن بیش‌ترین بهره از این روش باید رنگ دیوار خارجی تیره باشد.

دیوار خورشیدی با دریافت ایزوله[4]: یک دیوار تیره رنگ نقش مخزن دریافت انرژی را در این نوع ایفا می‌کند که توسط لایه‌ای از شیشه پوشانده شده و لایه شیشه‌ای مانع خارج شدن انرژی گرمایی دریافتی از دیوار به بیرون می‌شود و بدین صورت گرما می‌تواند به‌صورت تدریجی وارد محیط داخلی شود [21].

دیوار ترومب[5]: دیوار ترومب نوعی دیوار خورشیدی محسوب می‌شود که قسمت بالا و پایین آن دریچه ورود و خروج هوا دارد. عملکرد آن به این صورت است که در طول روز انرژی خورشید سبب گرم شدن هوای بین شیشه و دیوار می‌شود و از آن‌جایی که هوای گرم تمایل به حرکت به سمت بالا دارد این هوا وارد ساختمان شده و هوای سرد از زیر دیوار وارد محفظه می‌شود.

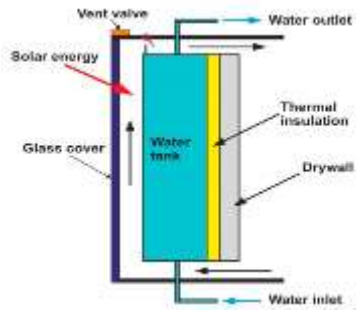
2-1-5دیوار آبی[6]

نوعی دیوار ترومب است که از آب در میان دولایه شیشه‌ای یا یک‌لایه شیشه و یک‌لایه مواد بنایی به‌عنوان منبع ذخیره انرژی استفاده می‌شود تا در فصل سرما سبب گرمایش محیط داخلی شود. این دیوار می‌تواند جلوی خیرگی نور را نیز بگیرد (شکل 2). با توجه به تأثیرپذیری آب از نور آفتاب و جلوگیری از جلبک بستن آن، می‌توان از افزودنی‌ها و همچنین ترکیب رنگ‌دانه با شفافیت 30 درصد بهره برد [19].



شکل2 تغییرات دما [13]

دیوار آبی از 5 لایه تشکیل‌شده است: شیشه، قسمتی که هوا در آن جریان دارد، لایه اول شیشه‌ی نگه‌دارنده تانک آب، آب و لایه دوم شیشه نگه‌دارنده تانک آب (شکل 3).



1. LEED
2. Direct gain
3. Attached Greenhouse
4. Solar Wall
5. Trombe Wall
6. Water Wall

شکل3 نمودار دیوار ترومب اصلاح‌شده [همان]

شکل4 دیوار ترومب، بطری‌های پر از آب [22]

برای جلوگیری از جلبک بستن دو راه‌حل وجود دارد: یکی استفاده از آب در گردش، روش دیگر استفاده از آب‌سنگین که دارای پروتون‌های بیش‌تری نسبت به مولکول‌های عادی می‌باشند و امکان زیست جلبک‌ها در آن وجود ندارد (شکل 4) .

3- گام‌های آزمون و گردآوری داده‌ها

3-1- تبیین مشخصات آزمون و انتخاب ابزار گرداوری داده‌ها

متغیرها شامل: الگوهای شکلی (افقی و عمودی)، ابعاد دیوار آبی، رنگ مایع به‌کاررفته در فضای مابین دوجداره‌ی شیشه‌ای دیوار آبی می‌باشند که به‌صورت نمونه‌هایی ثبت‌شده به آزمایش گذاشته می‌شوند تا میزان تأثیر آن‌ها بر آسایش بصری توسط نرم‌افزار مشخص شود.

در دیوار آبی، به‌منظور کنترل جرم حرارتی دیوار در فصول گرم و شب-های تابستان، با ایجاد دریچه‌هایی در قسمت فوقانی دیوار و اتصال آن به داکت‌های عمودی [1] با استفاده از مکانسیم "دودکش خورشیدی"، جریان تهویه هوا از خارج به داخل بنا ایجادشده و گرمای آزادشده از مصالح را به خارج هدایت می‌کند که از جرم حرارتی آن کاسته خواهد شد [23]. به‌منظور افزایش نرخ تهویه برای فرایند خنک‌سازی در شب‌های فصل گرم، سطح داخلی دیوار نیز عایق‌بندی می‌گردد. این روش، همچنین از افزایش نامطلوب دمای هوای اتاق، به دلیل انتقال گرما از دیوار آبی جلوگیری به عمل می‌آورد. ازاین‌رو با بهره‌گیری از پرده‌های تابش‌بند داخلی، به‌منظور بازتابش امواج مادون‌قرمز دیوار به خارج، از دیگر راه‌کارهای کنترل بار حرارتی خواهد بود [24].

اطلاعات مربوط به ساختار ساختمان به‌منظور در نظر گرفتن معیارهای هندسی و سطوح ساختمان (شامل دیوارهای خارجی، طبقات، سقف‌ها و پنجره‌ها) و همچنین اطلاعات سایت و جهت‌گیری ساختمان، نمای ساختمان، مشخصات مصالح و ... بر مبنای استانداردهای متداول طراحی، منعکس در کلیات ضوابط و مقررات ساختمانی و شهرسازی مندرج در طرح جامع شهر بابلسر، مصوب سال 1384، گردآوری گردید و در نرم‌افزار شبیه‌سازی به کار گرفته شد.

3-2- انتخاب ابزار گرداوری داده‌ها

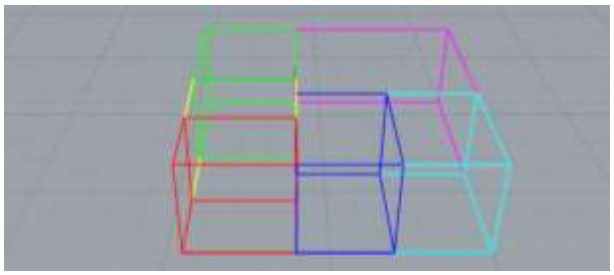
در هر گام از این پژوهش از روش تحقیق مناسب با آن مرحلـه استفاده‌شـده - است که به شرح ذیل است:

گام اول: به‌منظور بررسی میزان خیرگی در مدل پایه بازشو معمول در اقلیم بابلسر، توسط نرم‌افزار راینو مدل‌سازی گشته و در مرحله بعد توسط نرم‌افزار گراس‌هاپر و با بهره‌گیری از پلاگین‌های لیدی‌باگ، هانی‌بی[2]، بر پایه موتور رادینس، وضعیت کیفی روشنایی فضای داخلی متأثر از بازشو متداول حاصل می‌گردد.

گام دوم: در گام بعدی، به‌منظور بررسی میزان خیرگی در مدل دیوار آبی، در اقلیم بابلسر، مدل پایه بر اساس مشخصات آزمون توسط نرم‌افزار راینو مدل‌سازی می‌گردد. متغیرهای این بخش، رنگ سیال میان جداره و ابعاد دیوار آبی می‌باشد. سپس با روش مقایسه‌ای این نمونه‌های شبیه‌سازی‌شده را با نمونه پنجره‌ی متداول مقایسه نموده و نتایج ارائه می‌گردد.

3-3- انتخاب مدل آزمون

مدل مورداستفاده در آزمون‌ها، ساختمانی یک‌طبقه، با سقف صاف و با مساحت ثابت در چند الگوی متفاوت دیوار آبی در نظر گرفته‌شده است. مساحت و الگوی مدل پایه مدل بر اساس متراژ متداول الگوی پلان مسکونی بر اساس فراوانی سطح اشغال پروانه‌های صادرشده سال 1389 مستخرج از داده‌های مرکز آمار برای ساختمان‌های مسکونی تک‌واحدی در منطقه تعیین گردیده است.[3] ساختمان نیز به نحوی در سایت قرارگرفته که جبهه غربی بدون همسایگی در مواجهه نور روز قرار گیرد. مدل پیشنهادی، کاربری مسکونی و با پلان مربع به ابعاد 10*10 در زمین 20*10 است. ارتفاع هر طبقه تا کف 3.00 متر در نظر گرفته‌شده است. در مرحله بعد، فضاها زون-بندی شده و زون‌های مربوطه در لایه‌های مختلف از یکدیگر جداسازی شدند (شکل 5) و (جدول 2).



شکل5 زون بندی ساختمان (مدل پایه)

جدول 2 کاربری و زون‌بندی فضاها

زون	کاربری
زرد	ورودی
سبز	آشپزخانه
سرخابی	پذیرایی
آبی	اتاق‌خواب
سرمه‌ای	اتاق‌خواب
قرمز	سرویس

1. Summer air vent

2. Honeybee

2. مساحت زیربنا مستخرج از جدول 12 مرکز آمار : تعداد پروانه‌های احداث ساختمان مسکونی بر حسب مساحت زیربنا در استان مازندران

ویژگی‌های مصالح شبیه‌سازی‌شده مدل پایه در نرم‌افزار در جدول 3 آمده است.

جدول 3 ویژگی‌های مصالح شبیه‌سازی‌شده

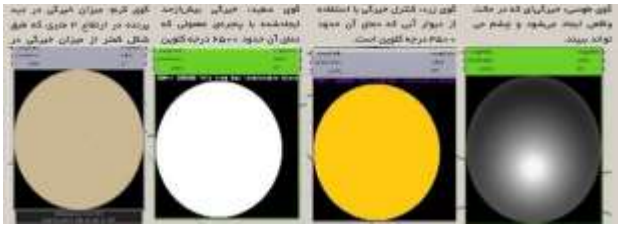
عناصر کالبدی	میزان انعکاس
میزان انعکاس دیوار	70 درصد
میزان انعکاس سقف	70 درصد
میزان انعکاس کف	40 درصد
میزان انعکاس مبلمان	50 درصد
میزان عبور بصری پنجره‌ها	80 درصد

3-4 شبیه‌سازی و گردآوری داده‌ها

شبیه‌سازی در دو مرحله انجام گرفت؛ هدف از شبیه‌سازی در مرحله اول، تعیین وضعیت خیرگی در بازشو متداول در مدل پایه برنامه‌ریزی گردید. در مرحله دوم، شبیه‌سازی پارامترهای دیگر تأثیرگذار شامل، ابعاد دیوار آبی، رنگ سیال میانی جهت دستیابی به کمترین میزان خیرگی انجام گرفت که در این مرحله نیز، فضای مجاور بازشوی غربی ملاک عمل می‌باشد.

در ابتدای فرایند کد نویسی، فایل آب‌وهوایی شهر بابلسر را با فرمت EPW وارد نرم‌افزار گردید. سپس، زون موردنظر برای آنالیز را به کامپوننت در افزونه‌ی گرس‌هاپر نسبت داده شد.در مرحله‌ی اول از این فرآیند پنجره‌ی دوجداره‌ی یوپی‌وی‌سی را که پنجره معمول مورداستفاده در ساختمان‌های امروزه‌ی شمال ایران است را با مساحت 9 درصد جداره‌ی غربی در مدل-سازی قرار داده شد. ارتفاع کف‌پنجره 70 سانتی‌متر و ضخامت شیشه با توجه به بهره‌گیری از دیوار آبی، ده میلی‌متر (10mm) در نظر گرفته می‌شود. متریال شیشه‌ی مورداستفاده در این پنجره نیز بر اساس مشخصات آزمون در کد نویسی در نظر گرفته شد. در این پژوهش احتمال خیرگی نور روز در دو زاویه دید ناظر در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان در ساعت پیک دریافت نور در جداره غربی، روز پانزدهم هرماه بررسی‌شده، اعداد مربوط به آن در شکل‌های معرفی کننده خروجی نرم‌افزار ارائه‌شده است.

در ارزیابی اولیه جهت آزمودن مدل پایه، با قرارگیری شبکه حس‌گر خیرگی بر روی پنجره غربی، در حالت مدل پایه (بازشو متداول)، بیشترین دریافت در تیرماه و ساعت 19 عصر و به میزان خیرگی مستقیم بیش از 70 درصد ضریب انعکاس اندازه‌گیری شده که خیرگی بسیار بالایی محسوب می-گردد. در محاسبه بعدی در صورت قرار گرفتن دیوار آبی در همان مساحت و قرار گرفتن شبکه حس‌گر خیرگی در همان نقطه‌ی قبلی میزان خیرگی کاهش پیداکرده است (شکل 6). تمایز خیرگی‌ها در گوی‌های متفاوت مشخص است، گوی طوسی: خیرگی‌ای که در حالت واقعی ایجاد می‌شود و چشم می‌تواند ببیند. گوی سفید: خیرگی بیش‌ازحد ایجادشده با پنجره‌ی معمولی که دمای آن حدود 6500 درجه کلوین می‌باشد. گوی زرد: کنترل خیرگی با استفاده از دیوار آبی که دمای آن حدود 3500 درجه کلوین است. گوی کرم: میزان خیرگی در دید پرنده در ارتفاع 3 متری که طبق شکل کمتر از میزان خیرگی در حالت مستقیم است.

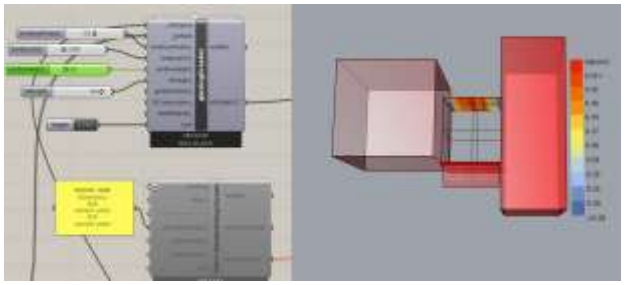


شکل6 میزان خیرگی در وضعیت‌های متفاوت (بازشو و دیوار آبی)

با توجه به بررسی فوق، جهت دریافت میزان عددی عبور نور و خیرگی، علاوه بر کد نویسی‌های، از کامپوننت‌های دیگری در گرس هاپر استفاده شد.

4- تجزیه‌وتحلیل نتایج و یافته‌ها

در گام بعدی، به‌منظور جلوگیری از جلبک بستن در دیوار آبی از آب‌سنگین استفاده‌شده است. مشخصات کالبدی بازشو، با ارتفاع کف پنجره صفر و ابعاد 2.5 متر در 3 متر می‌باشد. بر این مبنا، کد نویسی انجام‌شده و خروجی آن به شرح زیر است (شکل 7).



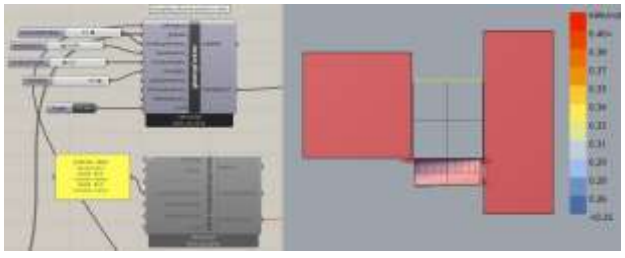
شکل7 کد نویسی و خروجی خیرگی پنجره دیوار آبی (آب‌سنگین)

نتایج حاصل نشان از این دارد میزان خیرگی با استفاده از دیوار آبی به تراز مناسبی کاهش می‌یابد (جدول 4).

جدول 4 مقایسه میزان خیرگی پنجره ساده متداول و دیوار آبی

مقطع	خیرگی min	خیرگی max
پنجره شیشه‌ای متداول	035	0.53
دیوار آبی	0.29	0.43

در گام بعدی، متغیرهای رنگی وارد آزمون شده و بر اساس رنگ‌دانه‌های موجود در دیوار آبی، وضعیت خیرگی سنجیده خواهد شد (شکل 8).



شکل8 کد نویسی و میزان خیرگی پنجره دیوار آبی (رنگ‌دانه آبی)

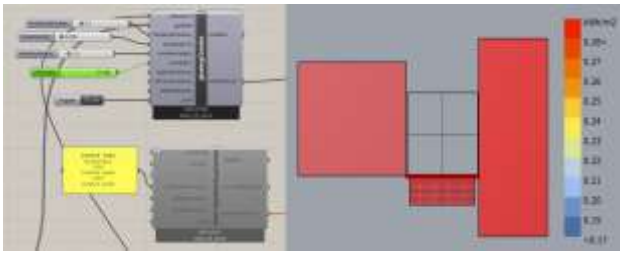
مقطع	میانگین خیرگی	میزان کاهش خیرگی
پنجره شیشه‌ای متداول	0.45	-
دیوار آبی	0.36	1.25
دیوار آبی با رنگ آبی	0.32	1.40
دیوار آبی با مساحت کمتر	0.3	1.50

مقایسه میزان خیرگی پنجره متداول با دیوار آبی (با رنگ سیال آبی) نشان می‌دهد رنگ آبی آب سبب کاهش میزان خیرگی می‌گردد (جدول 5).

جدول 5 مقایسه میزان خیرگی پنجره متداول و دیوار آبی (رنگ‌دانه آبی)

مقطع	خیرگی min	خیرگی max
پنجره شیشه‌ای متداول	035	0.53
دیوار آبی با رنگ آبی	0.25	0.40

در گام بعدی، ابعاد دیوار آبی به‌اندازه ابعاد پنجره متداول کاهش داده شد و میزان خیرگی در این شرایط نیز مورد آزمون قرار گرفت (شکل 9).



شکل9 کد نویسی و خروجی خیرگی پنجره دیوار آبی با ابعاد همسان بازشو

مقایسه میزان خیرگی پنجره شیشه‌ای متداول با دیوار آبی با مساحت اندازه پنجره معمولی نشان می‌دهد تغییر مساحت تأثیر چشم‌گیری در میزان خیرگی دارد (جدول 6).

جدول 6 مقایسه میزان خیرگی پنجره ساده و دیوار آبی با ابعاد همسان

مقطع	خیرگی min	خیرگی max
پنجره شیشه‌ای متداول	035	0.53
دیوار آبی با مساحت کم	0.17	0.28

در ادامه میانگین خیرگی بازشو متداول و هر یک دیوارهای آبی در شرایط متفاوت آورده شده است (شکل 10) و (جدول 7).

جدول 7 مقایسه میزان کاهش خیرگی در شرایط مختلف

شکل10 نمودار میزان کاهش خیرگی در شرایط مختلف

5- نتیجه‌گیری

جبهه‌ی غربی ساختمان‌های شمال کشور همواره به دلیل زاویه‌ی تابش خورشید به‌خصوص در فصل زمستان موجب خیرگی و ورود نور مزاحم به داخل ساختمان شده است. در این پژوهش تأثیر استفاده از دیوار آبی که نوعی دیوار ترومب می‌باشد بر آسایش بصری ناشی از نور جبهه غربی موردبررسی قرار گرفت. پس از مطالعات و بررسی‌های توصیفی-تحلیلی نمونه‌ای از پنجره‌ی معمولی مورداستفاده در ساختمان‌های امروزه شبیه‌سازی شد و میزان خیرگی آن با میزان خیرگی دیوار آبی، دیوار آبی با رنگ آبی و دیوار آبی با مساحت کمتر شبیه‌سازی‌شده مقایسه گردید. نتیجه‌ی حاصل از یافته‌ها نشان می‌دهد که دیوار آبی (بدون رنگ‌دانه) دارای کاهش 1.25 برابری خیرگی می‌باشد. دیوار آبی با رنگ آبی دارای کاهش 1.4 برابری خیرگی است و دیوار آبی با مشخصات بازشو تعریف‌شده (ارتفاع کف پنجره صفر و ابعاد 2.5 متر در 3 متر) دارای کاهش 1.5 برابری میزان خیرگی است. درنتیجه با استفاده از دیوار آبی می‌توان از میزان خیرگی ناشی از نور مزاحم غربی در جبهه غربی ساختمان کم نمود.

6- مراجع

[1] GC. Brainard, JP. Hanifin, JM. Greeson, Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *J Neurosci*, Vol. 21, No. 16, pp. 6405-6412. 2001. doi:10.1523/JNEUROSCI.21-16-06405, 2001.

[2] A.Sayigh. Sustainability, *Energy and Architecture, Case Studies in Realizing Green Buildings*, Academic Press, Cambridge, Cambridge, England, 2014.

[3] M. Emrai. Ersi, a window facing the light, *Organization for Studying and Compiling Humanities Books of Universities*, samt, 2011. (In Persian)

[4] Garretón, J. Yamin, R. Rodriguez, A. Pattini. Effects of Perceived Indoor Temperature on Daylight Glare Perception. *Building Research and Information*, Vol. 44, No. 8, pp. 907–919, 2016.

[5] M. Tahbaz, s. Jalilian, *The Principles Of Climate-Compatible Design In Iran With An Approach To Mosque Architecture,* Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, 2008. (In Persian)

[6] M.A. Fadaei Ardestani, H. Naseri Mobaraki, M.R. Ayatollahi, Z. Zamardian, Evaluation of daylight and glare in classrooms using dynamic indicators. *Scientific-Research Quarterly of Architecture and Urban Planning*, Vol 28, No. 83,pp. 25-40, 2018. (In Persian)

[7] S.W. Zhenjun Ma. Building energy research in hong kong: a review, *Energy Reviews,* Vol. 13,pp. 1870-1883, 2009.

[8] M.C. Dubois, Effect of glazing types on daylight quality in interiors: conclusions from three scale model studies, *Conference Proceedings Experiencing Light,* Eindhoven, Holland, 2009.

[9] J. Yao, An investigation into the impact of movable solar shades on energy, indoor thermal and visual comfort improvement, *Building and Environment,* Vol. 71, pp. 24-32, 2013.
[10] L. Heschong. Daylight Metrics: PIER Daylighting Plus Research Program: Final Project Report. *California Energy Commission,* 2012.
[11] A. Reinhart, F.Christoph, and Daniel A. Weissman, The Daylight Area-Correlating Architectural Student Assessments with Current and Emerging Daylight Availability Metrics, *Building and Environment*, Vol. 50, pp. 155–164, 2012.
[12] A. Eltaweel, S.U. Yue Hong, Parametric Design and Daylighting: A Literature Review*, Architecture and Build Environment*, University of Nottingham, Nottingham NG7 2RD, UK, 2017.
[13] A. Mohamad, J. Taler, P. Oclon, Trombe wall utilization for cold and hot climate condiyions. *Energies*, Vol. 12, pp. 284-303, 2019.
[14] M. Khalili, Mashhadi-Baqermokher, Z. Qiyabaklou, Designing the wall of thermal water storage using sustainable waste, *Safa*, Vol. 20, No. 1, pp. 77-84, 2009. (In Persian)
[15] Z. Sokhdan Sorkhabi, M.A. Khan-Mohammadi, Optimizing the energy of non-opening walls in sunny fronts, *City Identity*, Vol. 23, pp. 73-82, 2014. (In Persian)
[16] S, Eslami, Investigating factors affecting glare and ways to reduce it; case study: Kerman Central National Library, *Architecture*, Vol. 1, No. 4, 2017. (In Persian)
[17] B. Frank J., Translator: Nasser Moqbali, *Basic Physics Book (Light and Modern Physics),* Volume IV, Publications: Fatemi, 2014. (In Persian)
[18] T. Sadeghlou, L. Johari, Measuring the performance of visual comfort components in improving the quality of the city environment using the Vaycor technique; case study: Mashhad metropolis*, Human Geography Research*,Vol. 19, No. 1, pp. 183-1367, 2014. (In Persian)
[19] A. Noorani, Ahmadreza, S.M. Mofidi Shemirani, M. Tahbaz, Measuring the effect of the atrium inclination angle on the visual comfort of students by daylight efficiency in educational buildings of Tehran ;a field study and simulation, *Journal of Urban Planning and Research*, Vol. 8, No. 31, pp. 249-266, 2016. (In Persian)
[20] Z.S. Zamardian, SH. Pourdihemi, Evaluation of thermal and visual performance of windows in classrooms in the climate of Tehra, *Sofeh*, Vol. 78, pp. 6-2, 2014. (In Persian)
[21] D. Hooper, *Passive solar Architecture*, LEDeG, 25, 2000.
[22] O. Saadatian, C.H. Lim, K.Sopian, E. Sallah, Astate of the aret review of solar walls: concepts and applocations, *Building physics,* Vol. 37, No. 1, pp. 55-79, 2013.
[23] G. Gan, A parametric study of trombe walls for passive cooling of buildings, *Energy and buildings*, Vol. 27, No. 1, pp. 37- 43, 1998.
[24] M. DeKayG, Z. Brown, *Sun, Wind & Light: Architectural Design Strategies,* America, 2001.