



بهره‌گیری نور طبیعی در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان در قالب طراحی مرکز گیاه‌شناسی¹

یاسمن مقصودی فر¹، مهدی شعبانیان^{2*}

1- کارشناس ارشد، گروه معماری، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران.
2- گروه معماری، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران. (نویسنده مسئول)
* همدان، ایران، 123456789، (Shaabanianmahdi@iau.ac.ir)

چکیده

این پژوهش به بررسی نقش نور طبیعی در طراحی پایدار مراکز گیاه‌شناسی می‌پردازد. هدف اصلی کاهش مصرف انرژی و فراهم آوردن شرایط مناسب برای رشد گیاهان با استفاده بهینه از نور روز است. در این تحقیق، از روش کتابخانه‌ای برای مطالعه مبانی نظری و نمونه‌های مشابه استفاده شد و همچنین شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای با نرم‌افزار دیزاین بیلدر جهت تحلیل میزان بهره‌وری نور و تأثیر آن بر مصرف انرژی انجام گرفت. در شبیه‌سازی‌ها، تأثیر طراحی عناصر معماری مانند نورگیرها، پنجره‌ها و آتریوم‌ها بر میزان روشنایی داخلی و مصرف انرژی بررسی شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که طراحی مناسب و کنترل شده نور طبیعی می‌تواند به طور قابل توجهی مصرف انرژی را کاهش داده و کیفیت محیط داخلی را بهبود بخشد. این مطالعه با ارائه راهکارهایی در زمینه طراحی نور روز، می‌تواند به عنوان الگویی موثر در طراحی پایدار مراکز گیاه‌شناسی و فضاهای مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌گان: نور طبیعی، بهینه‌سازی، انرژی، توسعه پایدار، گیاه‌شناسی.

Optimizing building energy consumption by integrating natural light in the design of a botanical center

Yasaman Maghsoodifar¹, Mahdi Shaabnian^{2*}

1- Master of Architecture, Department of Architecture, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.
2- Department of Architecture, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran. (Corresponding Author)
* P.O.B. 123456789 Hamadan, Iran, Shaabnianmahdi@iau.ac.ir

Received: 8 December 2024 Accepted: 6 April 2025

Abstract

This study examines the role of natural light in the sustainable design of botanical centers. The main goal is to reduce energy consumption and provide optimal conditions for plant growth through the effective use of daylight. The research employed a literature review to study theoretical foundations and similar cases, along with computer simulations using Design Builder software to analyze lighting efficiency and its impact on energy consumption. The simulations evaluated how architectural elements such as skylights, windows, and atriums affect indoor illumination levels and energy use. The results indicate that properly designed and controlled natural lighting can significantly reduce energy consumption while improving indoor environmental quality. This study offers design strategies for daylight utilization that can serve as effective models for sustainable design in botanical centers and similar spaces.

Keywords: Natural Light, Optimization, Building Energy Efficiency, Sustainable Architectural Design, Botanical Center Design.

¹ Y. Maghsoodifar, Ecological design of the botanical center in Hamadan city in an energy consumption optimization building, MSc Thesis, Islamic Azad University, Hamadan Branch, Abbaspour Faculty of Art and Architecture, Hamadan, Iran, 2024. (In Persian)

1- مقدمه

این پژوهش تمرکز بر بهره‌گیری نور طبیعی دارد که به عنوان یکی از عناصر مهم معماری پایدار و اکولوژیک در طراحی مرکز گیاه‌شناسی تلقی می‌شود. استفاده از راهکارهای هوشمندانه از نور روز و مسائل آسایش حرارتی به همراه سیستم بار سرمایشی و گرمایشی در کاهش مصرف انرژی کمک شایانی می‌کند. هدف اصلی این تحقیق ایجاد تعادلی بین نیازهای نوری گیاهان و رفع رفاه کاربران با رعایت اصول پایداری است. ویژگی خاص تحقیق اینست که با استفاده از ترکیب تحلیل‌های معماری و شبیه‌سازی‌های عملکردی به دنبال یافتن راه‌حلی برای بهینه‌سازی و مدیریت نور طبیعی و هماهنگ بین مسائل زیستی و فضایی باشد. جنبه این پژوهش به بررسی سیستم‌های هوشمند در فضای گلخانه و داخلی ساختمان به کار روند. شرایط و داده‌های محیطی، شدت و جهت کیفیت نور را به طور خودکار می‌توان تنظیم کرد. اما به کارگیری حسگرهای نوری، برای عبور و کنترل‌های پنل‌های خورشیدی برای شیشه‌های شفاف در سطح گلخانه در نظر گرفته شود. طراحی الگوریتم‌های بهینه‌سازی چندهدفه بین عملکردهای انرژی و زیست محیطی و مسائل اقتصادی تعادل مناسبی برقرار کند. هم‌اینکه از نوگیرهای دینامیکی با سقف‌های چندلایه شفاف به صورت پوسته‌های پلاستیکی و شیشه‌ای نقش مهمی در نوسانات دمایی و رطوبت هوا دارند. در نهایت، این مدل ترکیبی از معماری و فناوری‌های نوین در خصوص بهره‌گیری نور هست که می‌تواند در فضاهای فرهنگی، آموزشی و زیستی با توجه به شرایط اقلیمی مختلف به کار رود. آریانپورکاشانی و همکاران [1] به بهره‌گیری از نور طبیعی در معماری پایدار پرداختند. با توجه به لزوم بهره‌گیری از فناوری‌های دوست‌دار محیط‌زیست، استفاده از نور طبیعی به عنوان جایگزینی برای منابع انرژی فسیلی مورد توجه قرار گرفته است. این رویکرد نه تنها آگاهی عمومی درباره مزایای نور طبیعی را افزایش داده، بلکه منجر به طراحی و تولید سیستم‌هایی شده است که ضمن تأمین نیاز به نور روز، برخی چالش‌های ناشی از آن را نیز برطرف می‌سازند. نورپردازی، به‌عنوان عاملی کلیدی در تجربه بصری فضا، تأثیر قابل توجهی بر عملکرد محیطی و مصرف انرژی ساختمان دارد. ابراهیمی و همکاران [3] نیز به طراحی باغ گیاه‌شناسی در شهرستان مریوان پرداختند. با توجه به پایین بودن سرانه فضای سبز در این منطقه نسبت به میانگین کشوری، هدف پژوهش آن‌ها فراهم آوردن بستری آموزشی و تفریحی از طریق طراحی پارکی پژوهشی و غنی از گونه‌های گیاهی متنوع بود. این طرح در راستای ارتقای کیفیت زندگی و ایجاد فضایی دل‌پذیر برای ساکنان منطقه ارائه شده است. احمدیان [4] نیز در مطالعه‌ای، راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان را بررسی کرده است. وی با تأکید بر بحران انرژی و کاهش ذخایر سوخت‌های فسیلی، مدیریت مصرف انرژی در فرآیند ساخت و ساز را ضروری می‌داند. بهینه‌سازی مصرف انرژی نه تنها از اتلاف منابع جلوگیری می‌کند، بلکه نقشی اساسی در حفظ محیط‌زیست و تضمین حقوق نسل‌های آینده ایفا می‌نماید. رئیسی و نیلفروشان [10] نیز در پژوهشی به بررسی نقش نور طبیعی در کیفیت فضایی و بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان پرداختند. با توجه به اهمیت فضاهای مسکونی در زندگی روزمره انسان‌ها، نور طبیعی نقش مؤثری در ادراک فضایی، ارتقای کیفیت زندگی، ایجاد آرامش و حفظ سلامت روان ایفا می‌کند. این پژوهش با روش توصیفی-

تحلیلی و بهره‌گیری از پرسشنامه، تأثیر نور طبیعی را بر ساکنان یک مجتمع مسکونی در اصفهان ارزیابی کرده و نشان داد که کمبود نور طبیعی در زندگی آپارتمانی می‌تواند پیامدهای روانی منفی به همراه داشته باشد. در مقابل، طراحی مناسب می‌تواند ضمن کاهش مصرف انرژی کیفیت زندگی ساکنان را بهبود بخشد. زارع و همکاران [11] در پژوهشی با هدف طراحی معماری کتابخانه‌ای در تهران با رویکرد بهره‌گیری حداکثری از نور طبیعی، بیان کردند که حدود ۴۰٪ از انرژی مصرفی انسان در بخش ساختمان‌ها مصرف می‌شود. آن‌ها بهره‌گیری از نور روز را راهکاری مؤثر برای کاهش مصرف انرژی، به‌ویژه در حوزه روشنایی معرفی کردند. طراحی فضاهایی با تمرکز بر نور طبیعی می‌تواند نقش مهمی در کاهش سرانه مصرف انرژی در کشور ایفا کند. سربای و همکاران [12] نیز به معرفی و تحلیل کاربرد نرم‌افزارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها پرداختند. ایشان بر اهمیت بهره‌گیری از ابزارهای شبیه‌سازی و مدل‌سازی انرژی به‌عنوان راهکاری مؤثر در کاهش مصرف انرژی تأکید کردند. استفاده از نرم‌افزار Micro DOE نخستین‌بار توسط عدنان شریه و همکارانش در سال 1997 گزارش شد. نتایج حاصل از این مطالعات نشان داد که به کارگیری چنین نرم‌افزارهایی می‌تواند نقش قابل توجهی در کاهش اتلاف انرژی ایفا کند. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهد که استفاده از دیوارهایی با ضخامت ۵ سانتی‌متر و بهره‌گیری از عایق حرارتی مناسب، به‌طور معناداری موجب کاهش بار سرمایشی ساختمان می‌شود. فاضلی و همکاران [14] طراحی باغ سیستماتیک گیاهی در باغ گیاه‌شناسی دانشگاه تهران را مورد بررسی قرار دادند. به اعتقاد آنان، شناخت علمی و دقیق گونه‌های گیاهی صرفاً از طریق ایجاد باغ‌های سیستماتیک امکان‌پذیر است. هدف اصلی این نوع طراحی، تشکیل کلکسیون‌هایی از تیره‌های گیاهی بر پایه روابط فیلوژنتیکی و سیر تکامل آن‌هاست که در شناسایی تفاوت‌ها و شباهت‌های میان گونه‌های مختلف گیاهی نقش بسزایی ایفا می‌کند. قاسمی‌راد و قربانی [15] در پژوهش خود به بررسی چرخه‌حیات انرژی در ساختمان و عوامل مؤثر بر بهینه‌سازی مصرف آن پرداختند. چرخه‌حیات انرژی، فرآیندی پیوسته است که از مرحله استخراج و تولید مصالح ساختمانی آغاز می‌شود و پس از گذر از مراحل طراحی، ساخت، بهره‌برداری، تخریب و برچیدن، به بازیافت و استفاده مجدد از مصالح ختم می‌گردد. در این میان، انتخاب مصالح با انرژی نهفته پایین و قابلیت بازیافت بالا می‌تواند نقش مهمی در کاهش ردپای انرژی ایفا کند. به‌منظور کاهش مؤثر مصرف انرژی، شناسایی و مدیریت انواع انرژی مصرفی اعم از انرژی عملیاتی، نهفته، مستقیم و غیرمستقیم در تمام مراحل عمر ساختمان امری ضروری است. فیالو و همکاران [19] با هدف ارتقای بهره‌وری انرژی، به بررسی بهینه‌سازی طراحی معماری و ساختار ساختمان‌ها پرداختند. طبق یافته‌های آن‌ها، بخش ساختمان مسئول حدود ۴۰٪ از مصرف انرژی جهانی است و سهمی بیشتر از حمل‌ونقل در انتشار کربن دارد. از این رو، کاهش مصرف انرژی بدون افت کیفیت زندگی، به یک چالش اساسی تبدیل شده است. این پژوهش با بهره‌گیری از الگوریتم‌های تکاملی، بهینه‌سازی طراحی ساختمان‌ها را به‌منظور کاهش مصرف انرژی مورد بررسی قرار داده است. هرچند اجرای ساختمان‌های با بهره‌وری انرژی بالا ممکن است. هزینه‌های اولیه بیشتری داشته باشد، اما امکان دستیابی به تعادلی منطقی میان مصرف انرژی و هزینه‌های ساخت وجود دارد. یکی از مسائل مهم در این حوزه، ایجاد توازن بین استفاده بیشتر از نور طبیعی و حفظ عملکرد عایق

انرژی نور خورشید با ورود به فضا از طریق پنجره، به سطوح داخلی اتاق برخورد کرده، به رنگ‌های آن‌ها طراوت می‌بخشد و ترکیب آن‌ها را نمایان می‌سازد. همچنین با ایجاد طرح‌های نور و سایه، فضای اتاق را زنده کرده و اشکال موجود در آن را از یکدیگر تفکیک می‌کند. شدت و پراکندگی نور خورشید در داخل اتاق می‌تواند شکل فضا را آشکار کرده یا آن را پنهان سازد. رنگ و درخشندگی نور خورشید، فضایی شاد و زنده در اتاق ایجاد می‌کند و در مقابل پراکندگی بیش از حد آن می‌تواند منجر به ایجاد فضایی تاریک و غم‌انگیز شود. از آنجا که شدت و جهت نور خورشید تا حد زیادی قابل پیش‌بینی است، تأثیر بصری آن بر سطوح فرم‌ها و فضای اتاق با استفاده از اندازه، محل و جهت پنجره‌ها قابل کنترل و برنامه‌ریزی است [5]. محیط زندگی ما را نور فراگرفته و ما آن را از طریق حس بینایی درک می‌کنیم. نور یکی از اساسی‌ترین و ضروری‌ترین پدیده‌ها در زندگی انسان است. از گذشته‌های دور، بشر نسبت به پدیده‌ای به نام نور کنجکاو می‌نشان داده و به انتشار آن اعتقاد داشته است، چرا که مشاهده می‌کردند سایه انسان یا هر شیء دیگر در جهت عکس منبع نور و در یک خط مستقیم شکل می‌گیرد. نور، به عنوان عاملی ضروری برای زندگی انسان، حیوانات و گیاهان به صورت نیروی نامرئی در فضا حرکت کرده و با رسیدن به سطح کره زمین به ما کمک می‌کند تا محیط زندگی مان را ببینیم. یکی از حوزه‌هایی که نقش نور در آن بسیار پررنگ است، هنر و معماری به گونه‌ای که بخشی مفصل از این رشته به بهره‌گیری از نور طبیعی در طراحی اختصاص دارد [9].

3-3 تاثیر فرم ساختمان بر نورپردازی طبیعی

باتوجه به محدودیت نفوذ به عمق فضاهای داخلی، انتخاب فرم و جهت مناسب برای ساختمان در توزیع بهینه‌ی تاثیرگذار است. در ساختمان‌هایی با پلان مربع یا دایره، نور و حرارت به سختی به فضاهای میانی نفوذ می‌کنند؛ در حالی که ساختمان‌هایی با پلان کشیده یا آزاد، فضاها معمولاً به صورت یک یا حداکثر دو لایه طراحی می‌شوند و امکان دریافت نور و حرارت در تمامی بخش‌ها وجود دارد. در اقلیم‌های که طراحی ساختمان باید تا حد امکان فشرده و با حداقل تماس با هوای بیرون باشد، یکی از راهکارهای موثر استفاده از حیاط‌های مرکزی کوچک، پاسیو یا آتریوم‌های مرکزی است. ایجاد چنین فضاهای باز در دل ساختمان، از نظر نورپردازی طبیعی و همچنین تهویه، بسیار حائز اهمیت بوده و امکان نفوذ نور و هوای تازه به عمق فضا را فراهم می‌کند این فضاها «آتریوم» نامیده می‌شوند. آتریوم معمولاً فضایی محصور است که دمای آن به شرایط داخلی نزدیک نگه داشته می‌شود. بنابراین ساختمان‌های دارای آتریوم ضمن کنترل شرایط حرارتی داخلی، امکان بهره‌گیری از نور طبیعی را نیز فراهم می‌کنند. در برخی موارد، آتریوم می‌تواند به عنوان فضای سبز داخلی یا محلی برای تعاملات اجتماعی نیز ایفای نقش کند و به ارتقای کیفیت فضایی و روانی محیط کمک نماید. مقدار نور موجود در بخش پایه‌ی آتریوم به عوامل مختلفی بستگی دارد، از جمله: میزان شفافیت سقف آتریوم، ضریب بازتاب دیوارهای آن، و هندسه‌ی فضا (نسبت ارتفاع به عرض و طول آتریوم). زمانی که ابعاد آتریوم آن قدر کوچک باشد نتوان از آن به عنوان فضای مفید استفاده کرد، به آن «چاه نور» گفته می‌شود [16].

3-4 نور و بهینه سازی مصرف انرژی

حرارتی است؛ چرا که افزایش سطح بازوها با وجود افزایش روشنایی طبیعی، می‌تواند منجر به کاهش کارایی حرارتی شده و وابستگی به سیستم‌های گرمایش و سرمایش را افزایش دهد. این موضوع نه تنها بر مصرف انرژی تأثیر می‌گذارد، بلکه ممکن است بر آسایش حرارتی کاربران نیز اثر گذار باشد. کرخه‌آبادی [22] به بررسی راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌ها از طریق طراحی معماری سازگار با محیط‌زیست و متناسب با شرایط اقلیمی پرداخت. این پژوهش با تمرکز بر اقلیم گرم و خشک نشان داد که معماری سنتی شهر دامغان با اصول معماری پایدار انطباق داشته و ضمن کاهش مصرف انرژی، از سازگاری مطلوبی با محیط طبیعی برخوردار است. پیشینه پژوهش‌های بررسی شده نشان می‌دهند که توجه به مفاهیم معماری پایدار و تلفیقی از بحث نور طبیعی و مصرف انرژی نقش بسیار مهمی دارند. بسیاری از محققان به بحث بهینه‌سازی مصرف انرژی از طریق بهره‌برداری و بهینه کردن نور طبیعی با استفاده از فناوری‌ها نوین پرداخته‌اند. در این میان، توجه به نقش نور در ارتقای کیفیت فضایی و بهبود آسایش حرارتی و تهویه مورد تحلیل قرار گرفته است. در نظر گرفتن الگوریتم‌های شبیه‌سازی برای فضاهای استفاده است باغ گیاه‌شناسی به دنبال یک راهکار جدید برای تنوع پذیری بیشتر در مسائل زیست بومی و رشد گیاهان همچنین به حداقل رساندن نیازهای حرارتی و تهویه که با یک سری عوامل مهم می‌تواند آن‌ها را کنترل کرد و هم اینکه از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد. این خلأها در ضرورت انجام پژوهش‌ها و داده‌های دقیق‌تر برای بازبینی بیشتر بسیار اهمیت فراوانی دارند.

2- روش تحقیق

این پژوهش براساس رویکرد ترکیبی براساس مطالعات کتابخانه‌ای از طریق مقاله و مجلات اینترنتی و در خصوص بحث نرم‌افزاری و شبیه‌سازی در سه حوزه متفاوت به طور کامل مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

3- مبانی نظری

3-1- نور طبیعی

برای قرن‌ها، استفاده از نور طبیعی جهت روشنایی مورد توجه معماران بوده است. در گذشته بهره‌گیری از نور طبیعی یکی از ارکان اصلی ساخت و ساز بناها محسوب می‌شد، به گونه‌ای که بدون در نظر گرفتن مسیر حرکت خورشید و نور آسمان، انتخاب جهت، ابعاد، تناسب و ترکیب فضاهای پر و خالی در مجموعه‌های ساختمانی بی‌معنا بود. این نیاز موجب می‌شد که از همان ابتدای فرآیند طراحی، تأمین روشنایی فضاهای داخلی از طریق نور طبیعی به‌عنوان یکی از نیازهای بدیهی مدنظر قرار گیرد [13]. اما در چند دهه‌ی اخیر، استفاده‌ی گسترده از نور مصنوعی به‌جای نور طبیعی، منجر به افزایش مصرف انرژی و بروز مشکلاتی نظیر خستگی، سردرد و اختلال در ریتم فیزیولوژیکی کاربران فضا شده است. از این‌رو، توجه به عواملی چون ارتفاع اتاق، ابعاد پنجره‌ها، نوع و جنس شیشه‌ها، ایوان‌ها، زاویه‌ی تابش و چشم‌اندازها می‌تواند در بهینه‌سازی نور طبیعی مؤثر باشد. مهم‌ترین جهت برای دریافت مطلوب نور طبیعی، جبهه‌ی جنوبی ساختمان است [2].

3-2 تأثیر نور در فضا

شکل 1 تاثیر قوانین انرژی بر پیشرفت بهره‌وری انرژی در کشورهای IEA [23]

7-3 بهینه‌سازی عملکرد ساختمان

بهینه‌سازی عملکرد ساختمان به فرآیندی گفته می‌شود که در آن، از بین چند راه‌حل ممکن، بهترین گزینه برای طراحی ساختمان انتخاب می‌شود. طراحی معماری یعنی پیدا کردن یک راه‌حل مناسب، به ویژه وقتی هدف کاهش مصرف انرژی باشد. در این شرایط، استفاده از روش‌های بهینه‌سازی می‌تواند به معماران کمک کند تا تصمیم‌های بهتری بگیرند. این فرآیند بر پایه مجموعه‌ای از معیارها و محدودیت‌ها انجام می‌شود. این معیارها معمولاً به شکل فرمول‌های ریاضی نوشته می‌شوند و به آن‌ها «تابع هدف» گفته می‌شود. بهینه‌سازی خودکار مصرف انرژی در ساختمان ترکیبی است از الگوریتم‌های مختلف و نرم افزارهای شبیه‌سازی، که برای بهتر کردن یک یا چند بخش از طراحی ساختمان به کار می‌روند [7].

8-3 رویکردهای بهینه‌سازی مصرف انرژی

در این راستا، رویکردهای معماری با هدف صرفه‌جویی در مصرف انرژی که همگی زیر مجموعه‌ای از معماری پایدار و معماری سبز محسوب می‌شوند، با عناوینی مانند معماری ساختمان‌های انرژی صفر و ساختمان‌های با مصرف انرژی کم مطرح می‌گردند. ساختمان انرژی "صفر انرژی" در ساختمان، موضوعی است که در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته و یکی از رویکردهای موثر در راستای تحقق معماری پایدار به شمار می‌رود. این رویکرد در حال حاضر به عنوان هدف آینده‌ی طراحی ساختمان‌ها در نظر گرفته شده و تلاش می‌شود تا برنامه‌ها و سیاست‌های ساخت و ساز به گونه‌ای تدوین شوند که ساختمان‌ها را به سوی انرژی صفر سوق دهند؛ به عبارت دیگر، بخش مسکن از نظر مصرف انرژی به خود کفایی برسد [24].

9-3 تاریخچه باغ گیاه‌شناسی

احداث باغ‌های گیاه‌شناسی در جهان، پیشینه‌ای بسیار طولانی دارد و تاسیس نخستین باغ گیاه‌شناسی را به افلاطون، 500 سال پیش از میلاد مسیح نسبت می‌دهند. این باغ با عنوان آکادمی افلاطون شناخته می‌شد. هم زمان با آن، باغ دیگری به نام اپیکور نیز وجود داشت که محل تجمع فلاسفه‌ی یونان و محل برگزاری بحث‌های علمی بوده است. پس از آن، باغ‌های معلق بابل، باغ‌های الحمراء و جنت العارفیه در اسپانیا توسط مسلمانان احداث شدند. این باغ‌ها براساس نوع گیاهان و مناظر مختلفی که ایجاد می‌کردند، تفکیک و نام گذاری می‌شدند؛ از جمله می‌توان به پاسیوی نارنج، پاسیو انار و غیره اشاره کرد. در سده‌های میانی اروپا نیز باغ‌های گیاه‌شناسی به عنوان مراکز آموزش پزشکی و داروشناسی توسعه یافتند. در ایران، اولین باغ گیاه‌شناسی با هدف مطالعات بوتانیکی در سال 1310 در کرج و در محوطه‌ی دانشکده کشاورزی کرج تاسیس شد که هم اکنون نیز فعال است. پس از آن، در سال 1348 باغ گیاه‌شناسی ملی ایران در زمینی به وسعت 145 هکتار و در فاصله‌ی 15 کیلومتری غرب تهران احداث شد. این باغ شامل مجموعه‌ها و کلکسیون‌های متعددی است و به عنوان مرجع سایر باغ‌های گیاه‌شناسی کشور شناخته می‌شود. از جمله باغ‌های جدید الاحداث در ایران می‌توان به باغ گیاه‌شناسی و کلکسیون گیاهان کوبیری و بیابانی کاشان، باغ گیاه‌شناسی از جمله باغ‌های

یکی از اساسی‌ترین مسائل زندگی بشر، مصرف بی‌رویه‌ی انرژی است؛ به طوری که حدود 40٪ از انرژی مصرفی جهان در ساختمان‌ها استفاده می‌شود. مصرفی جهان در ساختمان‌ها استفاده می‌شود. بنابراین، ساختمان‌ها یکی از بزرگ‌ترین تهدیدها برای منابع انرژی به شمار می‌آیند. بهره‌گیری از نور روز در طراحی ساختمان، راهکاری موثر برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی است [11]. برای نمونه، در کشور کره جنوبی، مصرف انرژی برای نورپردازی حدود 30٪ از کل مصرف انرژی را تشکیل می‌دهد. از این رو، در طراحی فضاها باید به استفاده‌ی بهینه از نور روز و همچنین به کارگیری سیستم‌های کنترل نور توجه ویژه‌ای شود تا مصرف انرژی به طور قابل توجهی کاهش یابد [20]. از آن جایی که بحران انرژی به یکی از چالش‌های تبدیل شده، نور روز و استفاده‌ی مؤثر از آن، نه تنها نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی دارد، بلکه تاثیر بسزایی بر کیفیت فضای داخلی و سلامت روحی و جسمی کاربران نیز خواهد داشت. برای بهره‌برداری مطلوب از این پتانسیل طبیعی در طراحی معماری، لازم است ابتدا نور روز و ویژگی‌های آن را شناخت و سپس با فراگیری راهکارهای موثر در طراحی، از این منبع ارزشمند به درستی بهره‌مند شد [17].

5-3 انرژی

انرژی از مهم‌ترین کارمایه‌ها و اصلی‌ترین نیروهای اساسی زندگی بشری محسوب گشته و تاریخ تمدن بشری بر بنیاد ابداعات و کشفیات در جهت تبدیل انرژی به یکدیگر شکل گرفته است [18].

6-3 بهینه‌سازی انرژی

بهینه‌سازی انرژی کلیه اقداماتی است که در جهت استفاده بهینه و سیانت از منابع انرژی در دو طرف عرضه و تقاضا صورت می‌پذیرد. مدیریت سمت تقاضای انرژی و تلاش برای استفاده بهینه از آن در تمام کشورهای پیشرفته دنیا از مهم‌ترین عوامل پیشرفت صنعتی پایدار بوده است. طرف تقاضا در راستای بهینه‌سازی می‌بایست اقداماتی از جمله استفاده از تجهیزات با راندمان بالا، کنترل رشد مصرف و تقاضا، استفاده از انرژی‌های جایگزین و حداکثر استفاده از منابع انرژی را انجام دهد. توسعه فناوری‌های انرژی‌های جدید و تجدید پذیر مانند: انرژی خورشیدی و نیروی باد باید گسترش و در نتیجه مقدار گازهای گلخانه‌ای و زباله‌های مورد استفاده کاهش یابد. به منظور دستیابی به این اهداف، برنامه‌ریزی انرژی جهت افزایش کارایی مصرف انرژی و کاهش گازهای گلخانه‌ای ارائه می‌شود و در میان این موارد، شبکه هوشمند توجه فراوانی را به خود جلب کرده است [21].

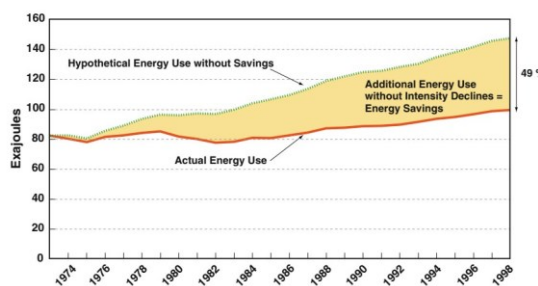


Fig. 2.1 Impact of energy policy on energy efficiency improvement in IEA countries. Source: Yang (2013)

جدید الاحداث در ایران می توان به باغ گیاه شناسی و کلکسیون گیاهان کویری و بیابانی کاشان، باغ گیاه شناسی گرمسیری فدک در دزفول و باغ گیاه شناسی تبریز اشاره کرد که هم اکنون در مراحل تکمیلی خود قرار دارند [3].

شکل 2 نقشه هوایی محدوده مطالعاتی [25]



شکل 3 عکاسی از بستری طراحی (سایت همدان)

10-3 تعریف باغ گیاه شناسی

باغ گیاه شناسی مکانی است که در آن مجموعه ای از گیاهان بومی و غیر بومی در فضای باز یا در گلخانه ها کشت می شوند و نقش مهمی در حوزه های تحقیقاتی از جمله علوم گیاهی، باغبانی، آموزش عمومی و آشنا ساختن مردم با اهمیت گیاهان و ضرورت حفاظت از آن ها ایفا می کند. علاوه بر این، باغ های گیاه شناسی به عنوان ذخیره گاه ژنتیکی گیاهان در معرض خطر انقراض نیز مورد استفاده قرار می گیرند. این گنجینه های ارزشمند، از نظر حضور و تنوع گونه های گیاهی، بسیار قابل توجه اند. اهداف اولیه ای احداث این مجموعه ها در واقع آموزش و تحقیقات بنیادی در زمینه ی علوم زیستی و گیاهی است. در باغ های گیاه شناسی، امکانات لازم برای مطالعه و تحقیق درباره تنوع زیستی و حفاظت از آن ها فراهم است [6].

5- یافته ها و نتایج پژوهش

این پژوهش با استفاده از نرم افزار دیزاین بیلدر، به ارزیابی تأثیر توزیع نور طبیعی و شرایط آسایش حرارتی در طراحی بهینه مرکز گیاه شناسی همدان پرداخته است. شبیه سازی ها نشان دهنده ارتباط میان نور روز، آسایش بصری و نیازهای گرمایشی و سرمایشی در فصول مختلف هستند. نتایج به صورت جداول و نمودارهایی ارائه شده که عملکرد ساختمان را در شرایط محیطی گوناگون نمایش می دهد. این داده ها می توانند به عنوان مبنای علمی برای بهبود طراحی های آینده و ارتقای بهره وری انرژی در ساختمان های مشابه مورد استفاده قرار گیرند.

5-1 نتایج شبیه سازی روشنایی طبیعی در روز

به منظور ارزیابی کارایی طراحی معماری در بهره برداری از روشنایی طبیعی، شبیه سازی نور روز در پلان های مختلف مرکز گیاه شناسی همدان انجام شده است. در این راستا، شاخص ضریب نور (Daylight Factor) به عنوان معیار اصلی سنجش عملکرد نوری در فضاهای مختلف بنا شامل؛ طبقات همکف، اول و دوم باتوجه به اطلاعات کمی دقیق در خصوص نفوذ عمق نور روز برآورد شده است، بررسی عملکردی نور در ساختار فضایی پلان های معماری در هر طبقه به صورت جداگانه محاسبه شده اند. پلان طبقه همکف باتوجه به شکل 4 از دو زون جدا تشکیل شده است که به کاربری اصلی و فرعی تقسیم شده اند شامل؛ گالری، هرباریوم و کافی شاپ و رستوران میزان عمق نفوذ نور در فضا بیش از 90٪ هست نتایج این بخش در شکل های 5 و 6 به طور کامل بررسی شدند. فیلتر فضای ورودی به گلخانه تک واحدی در شکل 7 نشان می دهد که دریافت نور مستقیم از جبهه ی شمالی و بخشی از آن در جبهه غربی گرفته می شود. ولی میزان عمق نفوذ نور طبیعی در تمام سطح گلخانه طبق شکل 8 نشان دهنده اینست که 100٪ نور مستقیم با استفاده از شیشه شفاف به رشد گیاهان و فتوسنتز آن ها کمک های زیادی بکند. شکل 9 یک سطح شیشه ای شفاف برای فضای زیرزمین استفاده می شود که نور را به فضا به صورت غیرمستقیم وارد می شود. اما طراحی طبقه اول در شکل 10 نشان می دهد که از یک زون کاملاً یک پارچه استفاده شده و در آن بخش از دو آتریوم جهت مصرف نور بیشتر در

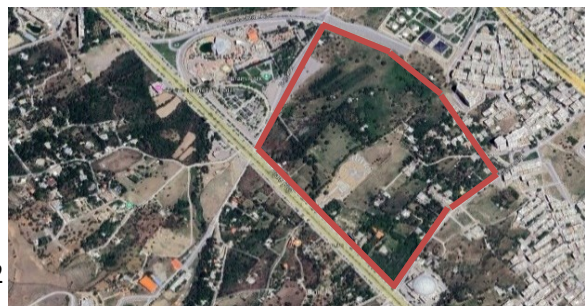
4- بررسی مطالعات اقلیمی و معرفی سایت و بستر طراحی

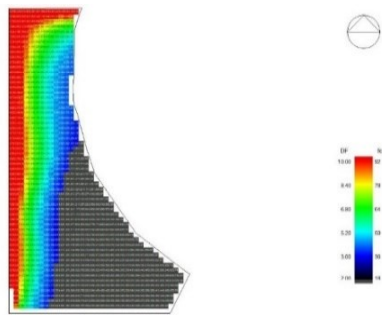
4-1 مطالعات اقلیمی شهر همدان

همدان دارای اقلیم سرد و خشک است که شرایط سخت آب و هوایی در زمستان، اهمیت طراحی اقلیمی در این شهر را دو چندان می کند. جهت گیری مناسب یکی از ارکان اصلی طراحی اقلیمی به شمار می رود. طراحی اقلیمی، که با عنوان زیست اقلیمی ساختمان نیز شناخته می شود، شامل مجموعه ای از اصول علمی و کاربردی است که در نظر گرفتن آن ها توسط طراحان و معماران، می تواند منجر به طراحی فضاهایی بهینه از نظر آسایش انسان و در نهایت صرفه جویی در مصرف انرژی شود [8].

4-2 معرفی سایت و بستر طراحی

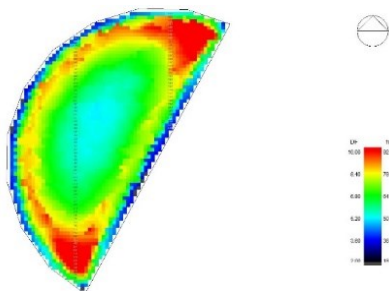
بلوار ارم همدان، به عنوان یکی از محورهای اصلی و پرتردد شهری، از موقعیتی راهبردی با دسترسی مناسب به مرکز شهر و مناطق پیرامون برخوردار است. انتخاب این محدوده برای احداث مرکز گیاه شناسی، باتوجه به نزدیکی تپه عباس آباد و مجموعه ی تاریخی و تفریحی گنجنامه، ظرفیت های ویژه ای را از نظر پیوند با منظر طبیعی، جاذبه های گردشگری و پتانسیل های اقلیمی فراهم می آورد. این موقعیت جغرافیایی، امکان طراحی مرکز گیاه شناسی را در تعاملی پویا با بستر طبیعی پیرامون مهیا می سازد؛ به گونه ای که بهره گیری از توپوگرافی زمین، چشم اندازهای بکر و پوشش گیاهی بومی، می تواند زمینه ساز خلق فضایی با هویت بوم مکانی، عملکردی چندگانه و کیفیت های محیطی را افزایش می دهد (شکل 2 و 3).



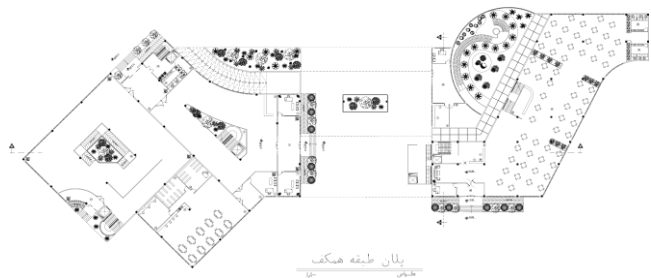


شکل 7 شبیه‌سازی نور روز بخش زون 3 طبقه همکف (فیلتر ورودی)

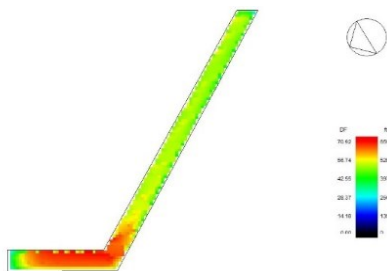
فضا باتوجه به شکل 11 حدود 40٪ در این محدوده کاهش یافته است. ولی طبقه دوم برای فضای اداری اختصاص داده شده، سطح اشغال حجم شکل 12 حدود 1.3٪ است که میزان عمق نفوذ نورگیری در این بخش حدود 80٪ به خود نور مستقیم را جذب کرده. یافته‌های این بخش باید سطح روشنایی به نسبت فضای داخلی و خارجی در شرایط آسمان ابری برآورد شود که معمولاً بین مقدار 2 تا 5٪ است. هم اینکه می‌توان از سایه‌بان‌ها و تنظیم دقیق زوایای بازشوها و جهت نورگیری مناسب به دلیل توزیع یکنواخت‌تر نور طبیعی نقش مؤثری بر ارتقای کیفیت روشنایی داشته باشیم.



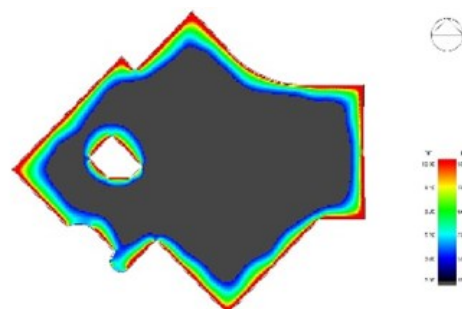
شکل 8 شبیه‌سازی نور روز بخش زون 4 (گلخانه تک واحدی)



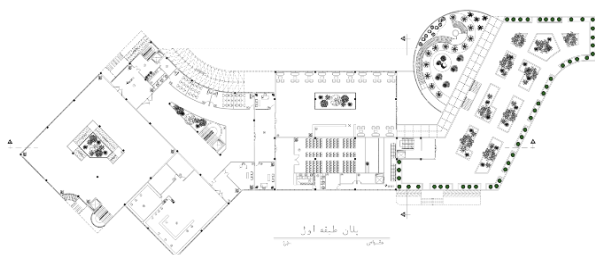
شکل 4 پلان طبقه همکف مرکز گیاه‌شناسی



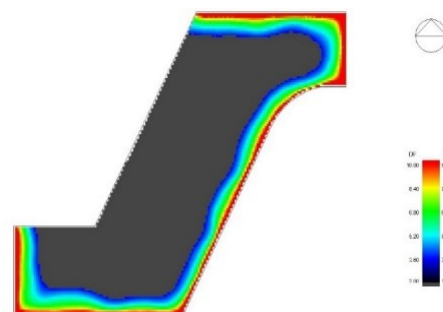
شکل 9 شبیه‌سازی نور روز بخش زون 5 طبقه همکف (سطح شیشه‌ای زیرزمین)



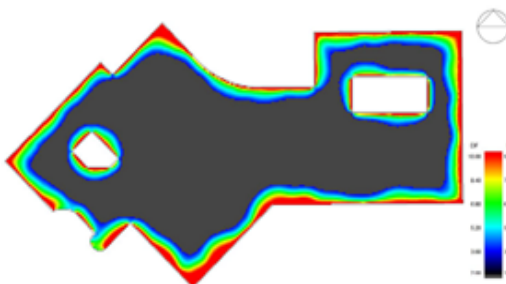
شکل 5 شبیه‌سازی نور روز بخش زون 1 طبقه همکف (ضلع جنوبی غربی)



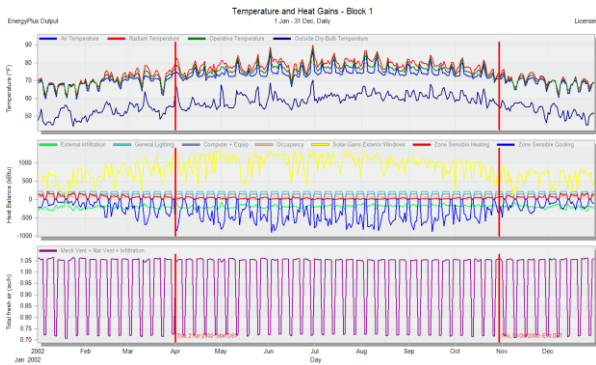
شکل 10 پلان طبقه اول (مرکز گیاه‌شناسی)



شکل 6 شبیه‌سازی نور روز بخش زون 2 طبقه همکف (ضلع جنوبی و شرقی)



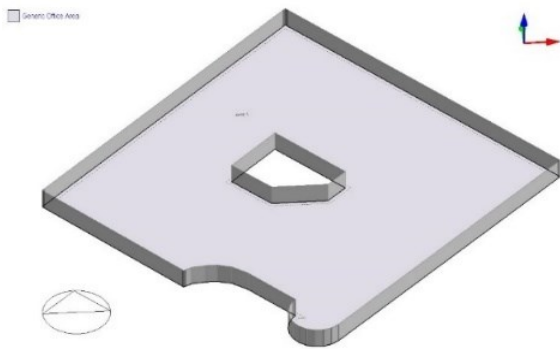
جدول 1 مقادیر آسایش حرارتی کل ساختمان در سه ماه اخیر



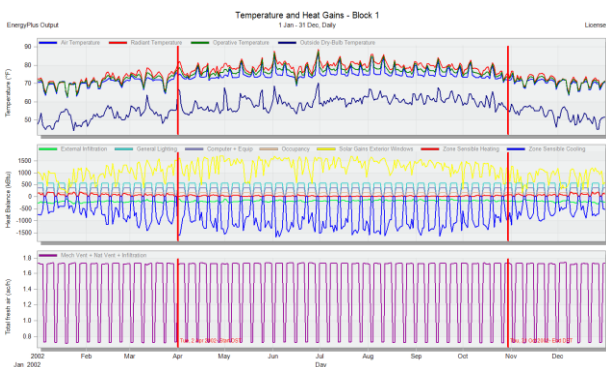
شکل 15 بررسی آسایش حرارتی گلخانه در یک سال اخیر

جدول 2 مقادیر آسایش حرارتی گلخانه در یک سال اخیر

دمای بیرونی (F°)	دمای عملیاتی (F°)	دمای تابشی (F°)	دمای هوا (F°)
پایین ترین دما	متوسط ترین دما	بالا ترین دما	متوسط ترین دما
57	70	71	68



شکل 16 شبیه سازی زون گالری طبقات (آتریوم 1)

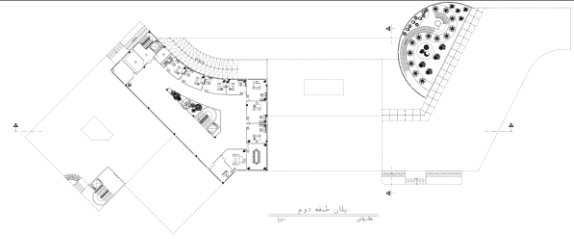


شکل 17 بررسی آسایش حرارتی زون گالری طبقات (آتریوم 1)

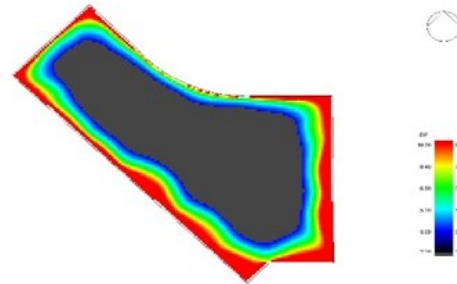
جدول 3 مقادیر آسایش حرارتی زون گالری طبقات (آتریوم 1)

شکل 11 شبیه سازی نور روز بخش طبقه اول

دمای بیرونی (F°)	دمای عملیاتی (F°)	دمای تابشی (F°)	دمای هوا (F°)
پایین ترین دما	متوسط ترین دما	بالا ترین دما	متوسط ترین دما
55	74	75	73

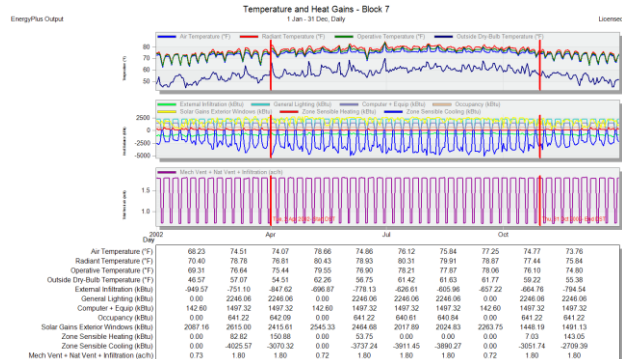


شکل 12 پلان طبقه دوم (مرکز گیاه شناسی)



شکل 13 شبیه سازی نور روز بخش طبقه دوم

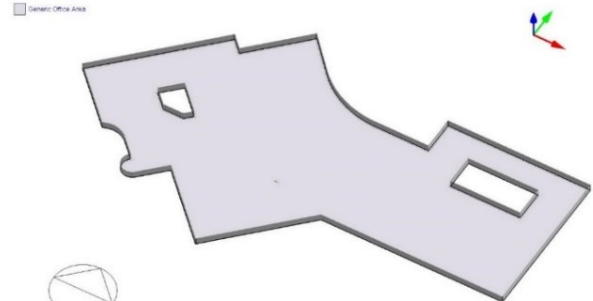
2-5- بررسی آسایش حرارتی در فضاهای داخلی ساختمان
 آسایش حرارتی به شرایطی اطلاق می شود که در آن افراد بدون نیاز به تجهیزات گرمایشی یا سرمایشی، احساس حرارتی دارند. این وضعیت تحت تأثیر عواملی مانند دمای هوای بین 20 تا 24 درجه سانتی گراد، رطوبت نسبی در بازه 30 تا 60٪ که جریان هوای ملایم شکل می گیرد. اما در این پژوهش، ارزیابی آسایش حرارتی طبق شکل 14 و جدول 1 در سه ماه اخیر بررسی شده و همچنین دیگر فضاهای مرکز گیاه شناسی طبق شکل 15 و جدول 2 که روند آسایش حرارتی و به همراه زون گالری طبقات شکل 16 شبیه سازی شده و نتایج آن در شکل 17 و جدول 3 بیان شد، اما زون یکپارچه در شکل 18 که مطلق به طبقه اول است که در فضای آتریوم مانند در این بخش وجود دارد، اینکه نتایج آن به صورت کامل با هم شبیه سازی شدند که براساس شکل 19 و جدول 4 برآورد شده است.



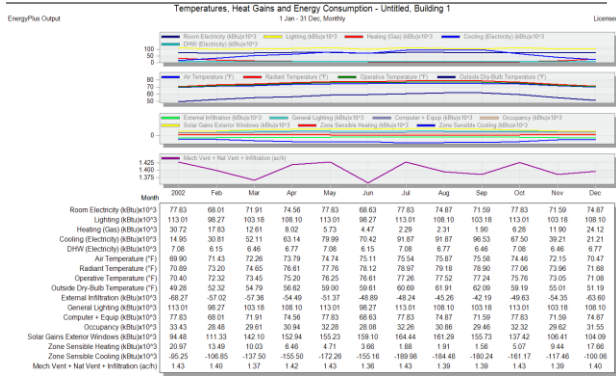
شکل 14 بررسی آسایش حرارتی کل ساختمان در سه ماه اخیر سال

جدول 5 قرار گرفته، همچنین شکل 21 و جدول 6 مربوط به بار سرمایش کل ساختمان از منظر دمای هوا و دمای خشک به طور کامل مورد محاسبه قرار گرفته. هم‌اینکه در شکل‌های 22 و 23 همین فرآیند تحلیلی در خصوص تجهیزات حرارتی و تهویه گلخانه به همراه جداول 7 و 8 به طور کامل ارائه شده است.

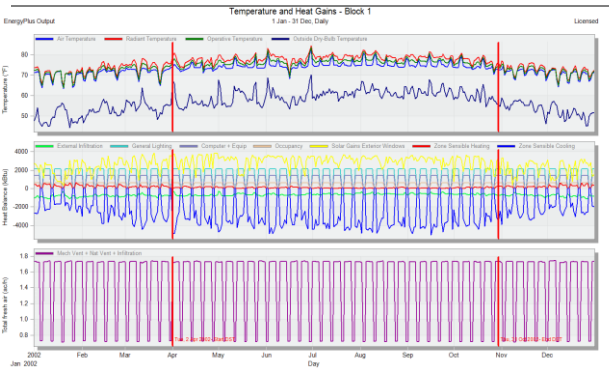
شکل 18 شبیه‌سازی زون طبقه اول (اتریوم دوم)



دمای بیرونی (F°)	دمای عملیاتی (F°)	دمای تابشی (F°)	دمای هوا (F°)
پایین‌ترین دما	بالاترین دما	بالاترین دما	بالاترین دما
52	72	72	72

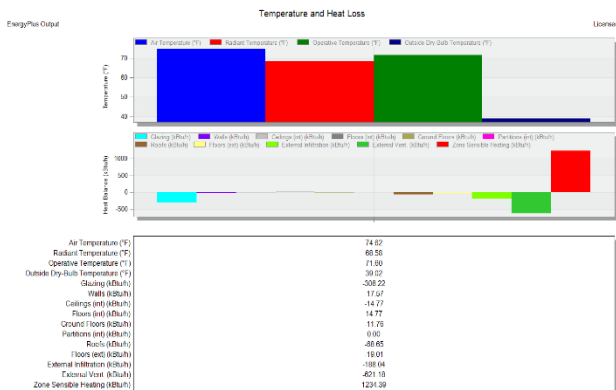


اتاق (برق)	روشنایی (برق)	گرمایش (گاز)	سرمایش (برق)	آب گرم مصرفی (برق)
50 (KBTU)	100 (KBTU)	25 (KBTU)	15 (KBTU)	0 (KBTU)



شکل 20 بررسی بار سیستم گرمایشی کل ساختمان در یک سال اخیر

جدول 5 مقادیر سیستم گرمایشی کل ساختمان در یک سال اخیر



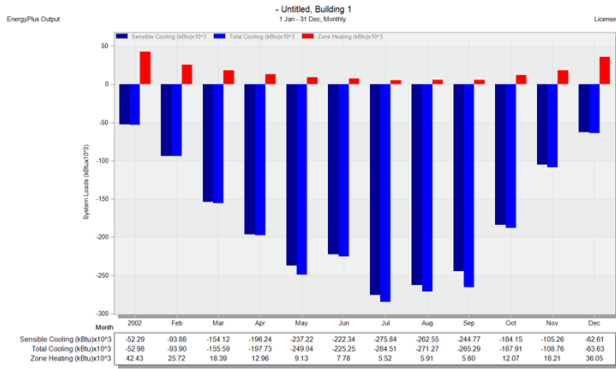
شکل 19 بررسی آسایش حرارتی زون طبقه اول در یک سال اخیر

جدول 4 مقادیر آسایش حرارتی زون طبقه اول در یک سال اخیر

دمای بیرونی (F°)	دمای عملیاتی (F°)	دمای تابشی (F°)	دمای هوا (F°)
پایین‌ترین دما	بالاترین دما	بالاترین دما	بالاترین دما
48	74	73	72

شکل 21 بررسی بار سیستم سرمایشی کل ساختمان در یک سال اخیر

دمای بیرونی (F°)	دمای عملیاتی (F°)	دمای تابشی (F°)	دمای هوا (F°)
پایین‌ترین دما	بالاترین از	متوسط‌ترین از	بالاترین از
38	73	67	70



6- نتیجه گیری

این پژوهش با هدف بهبود بهره‌وری نور طبیعی و کاهش مصرف انرژی در مرکز گیاه‌شناسی همدان انجام شد، نتایج نشان می‌دهد که طراحی بازشوهای گسترده

دمای هوا (F°)	دمای تابشی (F°)	دمای عملیاتی (F°)	دمای هوای خشک (F°)
متوسط ترین دما	بالاترین دما	متوسط ترین دما	پایین ترین دما
67	68	67	51

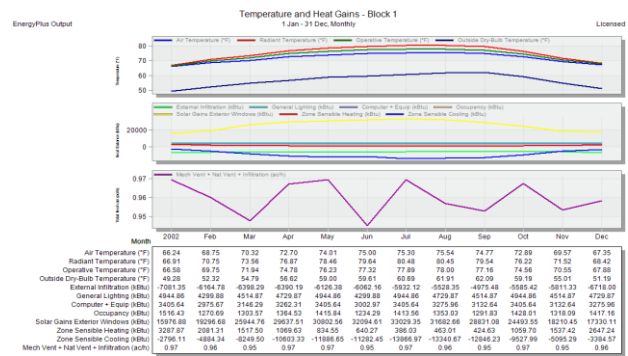
و آتریوم‌های مرکزی باعث نفوذ نور طبیعی شود به طور قابل توجهی نور بیشتر به داخل ساختمان افزایش بدهد. اما سهم نور روز در جدارها مختلف است معمولاً بین 75٪ تا 85 درصد و بیشتر است و سطح افزایش نور در فضای گلخانه به 100٪ هم رسیده است. بنابراین تحلیل بارهای گرمایشی و سرمایشی در داده‌های نرم‌افزار دیزاین نشان می‌دهد آسایش حرارتی تحت تأثیر تابش خورشیدی، کارایی تجهیزات و کیفیت جداره‌هاست. این یافته‌ها می‌توانند مبنایی برای بهینه‌سازی طراحی‌های مشابه در راستای معماری پایدار باشند.

دمای هوا (F°)	دمای تابشی (F°)	دمای عملیاتی (F°)	دمای هوای خشک (F°)
متوسط ترین دما	بالاترین دما	متوسط ترین دما	پایین ترین دما
67	68	67	51

7- مراجع

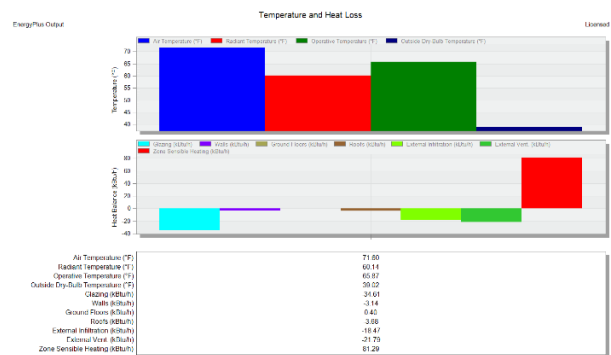
- [1] A. Ariyanpour kashani, and R. Hashempour, Utilizing natural light in sustainable architecture, *Proceedings of the Second National Conference on Architecture and Energy with the Environment and the Use of Natural Energym*, Islamic Azad University, Branch Kashan, Iran, 2017. (in Persian)
- [2] S. Y. Amiri, and A. Pournali, Utilizing natural daylight in buildings using solar tubes, *The First International Conference and the Third National Conference on Sustainable Architecture and Urban Landscape*, Mashhad, Iran, 2016. (in Persian)
- [3] A. Ebrahimi, K. Najafi, S. Maleki, and J. Khezri, Designing a botanical garden in Marivan county, *Proceedings of the International Conference on Sustainable Development, Solutions and Challenges with the Aim of Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism*, Tabriz, Iran, 2014. (in Persian).
- [4] A. Ahmadian, Strategies for optimizing energy consumption in buildings, *Proceedings of the Seventh International Conference on Civil Engineering, Architecture and Sustainable Green City*, Hamedan, Iran, 2020. (in Persian))
- [5] S. S. Akbari, and R.Noori. The role of Environmental psychology of light and color in designing pediatric healing spaces; Case study: Mofid Childern's Hospital, *Armanshahr Quarterly, a scientific-*

جدول 6 مقادیر سیستم سرمایشی کل ساختمان در یک سال اخیر



شکل 22 بررسی بار سیستم گرمایشی گلخانه در یک سال اخیر

جدول 7 مقادیر سیستم گرمایشی گلخانه در یک سال اخیر



شکل 23 بررسی بار سیستم سرمایشی گلخانه در یک سال اخیر

جدول 8 مقادیر سیستم سرمایشی گلخانه در یک سال اخیر

براهای سرمایشی و گرمایشی مرکز گیاه‌شناسی همدان با استفاده از نرم افزار دیزاین بیلدر و ماژول HVAC در دوره یک‌ساله تحلیل شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که نوسانات دمایی و مصرف انرژی تحت تأثیر تابش خورشید، جنس مصالح، نوع بهره‌برداری و عملکرد سیستم‌های تهویه‌ای قرار گرفته. اما تحلیل داده‌ها بیانگر آن است که در ماه‌های سرد سال بخش‌هایی از مجموعه گلخانه بیشترین بار حرارتی را را تجربه می‌کنند. در حالی که در ماه‌های گرم، بار سرمایشی در فضاهای جنوبی و دارای سطوح شیشه‌ای افزایش می‌یابد. استفاده از سیستم‌های کنترل هوشمند دما و تهویه می‌تواند به کاهش پیک مصرف انرژی کمک کند که بنابراین طراحی بهینه جداره‌ها، بهره‌گیری موثر از نور طبیعی و به کارگیری تجهیزات کارآمد، موجب ارتقای آسایش حرارتی و کاهش مصرف انرژی ساختمان می‌شود. این راهکارها می‌توانند در توسعه پروژه‌های مشابه با هدف معماری پایدار و بهبود بهره‌وری انرژی بسیار مؤثر است.

- research journal of architecture and urban planning, No. 7, pp. 45–53, 2013. (In Persian)
- [6] S. Brarati, *Botanical Graden*, MSc Thesis, Faculty of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, 2005. (In Persian)
- [7] V. Bakhtiari and R. Fayyaz, Capabilities and limitations of energy optimization tools in the architectural design phase, *Iranian Energy Scientific Quarterly*, vol. 22, no. 1, pp. 127–150, 2019. (In Persian)
- [8] S. Pourmokhtar and F. Navaei, Environmental Crises and Sustainable Architecture, *International Conference on Civil Engineering, Architecture and Sustainable Urban Development*, Islamic Azad University, Tabriz, Iran, 2013. (In Persian)
- [9] A. Dashti Shafiei, Sh. Assi, and R. Salimi, The importance of light in architecture and its impact on human psychology, *The First Provincial Conference on Civil Engineering and Architecture*, North University, Mazandaran, Iran, no. 4 pp. 1–9, 2013. (In Persian)
- [10] Z. Raeisi and M. R. Nilforoushan, The role of natural light in spatial quality and energy consumption optimization in buildings, *The Seventh International Conference on Sustainable Development and Urban Construction*, Isfahan, Iran, 2017. (In Persian)
- [11] F. Zare and Sh. Heidari, Architectural design using natural daylight; A design approach for a library in Tehran, *Journal of Urban Identity*, vol. 9, no. 24, pp. 55–64, 2014. (In Persian)
- [12] M. Sarabi and A. Ebrahimpour, Introducing the application of energy optimization software in buildings, *proceedings of the Third International Conference on New Approaches in Energy Conservation*, Tehran, Iran, 2016. (In Persian)
- [13] M. Tahbaz, SH. Mousavi and M. Kazemzadeh, impact of architectural design on play of natural light in traditional Iranian houses, *Armanshahr Journal of Architecture and Urban Planning*, no. 15, pp. 71–81, 2015. (In Persian)
- [14] A. Fazeli, M. R. Masnavi, and M. Kafi, Designing a systematic botanical garden, *The Fifth National Conference and Specialized Exhibition on Environmental Engineering*, University of Tehran, Iran, 2011. (In Persian).
- [15] N. Ghasemi Rad and E. Ghorbani, Energy life cycle in buildings and influencing factors in energy consumption optimization, *International Conference on Civil Engineering, Architecture, and Urban Planning*, IUMW University, Malaysia 2016. (In Persian)
- [16] M. Ghanbari, S. H. Masoumi, and G. H. Naseri, Study on the use of natural light in buildings, *The Second National Conference on New and Clean Energies*, Shahid Mofatteh Faculty, Hamedan, Iran, 2013. (in Persian)
- [17] M. J. Mahdavi Nejad and M. Dolatabadi, Green architecture and advanced daylight transmission systems for indoor lighting, *The First National Conference on Green Buildings*, Mashhad, Iran, 2014. (In Persian)
- [18] K. Amasyali and N. M. El-Gohary, A review of data-driven building energy consumption prediction studies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 1192–1205, 2018.
- [19] A. Fialho and Y. Higuera, Optimizing architectural and structural aspects, *GECCO Workshop on Green IT Evolutionary Computation*, 2011.
- [20] G. Yun and K. S. Kim, An empirical validation of lighting energy consumption using the integrated simulation method, *Energy and Buildings*, vol. 60, pp. 265–274, 2013.
- [21] I. H. Choi, J. H. Lee, and S. H. Hong, Implementation and evaluation of the apparatus for intelligent energy management to apply to the smart grid at home, *Proceedings of the International Conference*, Seoul, Korea, 2011.
- [22] Z. K. Abadi and H. Moghaddam, Solutions for optimizing energy consumption in buildings with a sustainable architecture approach, *Proceedings of the First Sustainable Architecture Conference*, vol. Hamedan, Iran, 2013. (In Persian)
- [23] M. Yang and X. Yu, Energy efficiency: Benefits for environment and society, in *Energy Efficiency*, Springer, pp. 11–18, 2015.
- [24] A. J. Marszal, P. Heiselberg, J. S. Bourrelle, E. Musall, K. Voss, I. Sartori, and A. Napolitano, *Zero Energy Building A review of definitions and calculation methodologies*, Energy and Buildings, Article in Press, 2010.
- [25] *Topographic map of Iran*, Topomap, Accessed Apr 2025 <https://topomap.ir/?r=241038&l=ghy>.