بررسی و اولویت بندی مولفه های برنامه ریزی و طراحی ساختمان های آموزشی در اقلیم گرم و خشک با رویکرد بهره گیری از راهکارهای غیرفعال انرژی خورشیدی (مطالعه موردی: ساختمان دانشکده هنر و معماری دانشگاه یزد)

سایه امیدواری*: دانش آموخته ی کارشناسی ارشد، معماری، هنر و معماری پردیس آزادی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
sayehomidvari20@gmail.com
زینب سادات عمادیان رضوی: استادیار، دانشکده هنر و معماری یزد، یزد، ایران
sz.emadian@gmail.com

چکیده

بهره گیری از معماری خورشیدی مسیری میان بُر برای رسیدن به معماری پایدار و استفاده بهینه ازابزارها و امکانات فعلی بدون تهدید نیاز آیندگان می باشد. تنها در این صورت است که ساختمان های پایدار منجر به شکل گیری رابطه هماهنگ بین انسان، طبیعت و معماری می گردد. هدف از این پژوهش بررسی و اولویت بندی مولفه های طراحی ساختمان هنر و معماری دانشگاه یزد با رویکرد بهره گیری از راهکارهای غیرفعال انرژی خورشیدی و طراحی ساختمان منطبق با این رویکرد است. نوع تحقیق کاربردی و روش بررسی آن تحلیل محتوا است. جامعه آماری دانشجویان و اساتید گروه معماری و شهرسازی دانشگاه یزد است. حجم نمونه با روش تصادفی ساده و سیستماتیک ۶۹ نفر انتخاب شد. پرسشنامه به لحاظ روایی و پایایی مورد سنجش قرار گرفت. طبق بررسی های انجام شده پرسشنامه به لحاظ روایی از روایی صوری مطلوب و به لحاظ پایایی با استفاده از روش آلفای کرونباخ با مقدار ۰/۸۳۷ از قابلیت اعتبار بالایی برخوردار است. قلمرو مورد مطالعه سایت دانشگاه یزد واقع در شهر یزد و منطقه ۳ شهرداری این شهر می باشد. یافته ها نشان می دهد در طراحی ساختمان هنر و معماری دانشگاه یزد بهره گیری از سیستم گلخانه در جبهه نورگیر می تواند قسمتی از نیازهای حرارتی فضاهای مجاور خود را تامین کند، بدین صورت که انرژی خورشیدی را دریافت کرده و توسط یک دیوار مشترک، انتقال گرما از گلخانه خورشیدی به فضاهای مجاور، از طریق هدایت یا توسط بازشوهای موجود در دیوار مشترک با جریان همرفت، صورت بگیرد و به همین منظور در اولویت طراحی ساختمان مذکور قرار می گیرد. با طراحی سیستم گلخانه ای در ساختمان آموزشی دانشگاه یزد یک منبع کمکی حرارت تامین می شود که ضمن ایجاد فضایی برای رشد گیاهان می تواند فضاهای دلپذیری برای تعاملات دانشجویان فراهم کند.

واژه‌های کلیدی: انرژی خورشیدی غیرفعال، طراحی ساختمان، معماری پایدار، سیستم گلخانه، شهر یزد.

مقدمه

در سال های اخیر، منابع انرژی توجه گسترده ای را به خود جلب کرده است. به منظور پاسخگویی فعال به گرمایش جهانی، آلودگی محیط زیست و مسائل مصرف انرژی و توسعه ساختمان های پایدار، صرفه جویی در انرژی و کاهش انتشار به یک انتخاب استراتژیک رایج جهانی تبدیل شده است (Zhang et al, 2021: 1297). این موضوع تایید کننده این نکته است که انرژی یکی از مهم ترین عوامل ضروری در طراحی ساختمان ها می باشد (نسیم سبحان و خان محمدی، ۱۳۹۶: ۱۴). هرساله بخش عمده ای از انرژی صرف گرم کردن، خنک کردن و تهویه مطبوع فضای داخل ساختمان ها می شود(پورمیرزا، ۱۳۸۹: ۵۴). در این راستا بهره گیری از انرژی های پاک و تجدید پذیر و جایگزینی آنها با انرژی های حاصل از سوخت های فسیلی و انرژی برق از مباحث روز دنیا و مورد توجه اکثریت قریب به اتفاق کشورهای جهان چه از نوع توسعه یافته و چه در حال توسعه می باشد. انرژی خورشیدی یکی از انرژی های پاک و از موارد بسیار مهم و قابل توجه در صنعت ساختمان است (افشین مهر و صدیری، ۱۳۹۶: ۱۷). در واقع بهره گیری از معماری خورشیدی مسیری میان بر برای رسیدن به معماری پایدار و استفاده بهینه ازابزارها و امکانات فعلی بدون آنکه نیاز آیندگان به خطر بیافتد، است (عباسی و مرادی، ۱۳۹۳: ۲۱). تنها در این صورت است که ساختمان های پایدار منجر به شکل گیری رابطه هماهنگ بین انسان، طبیعت و معماری می گردد (Coria et al, 1982: 12).

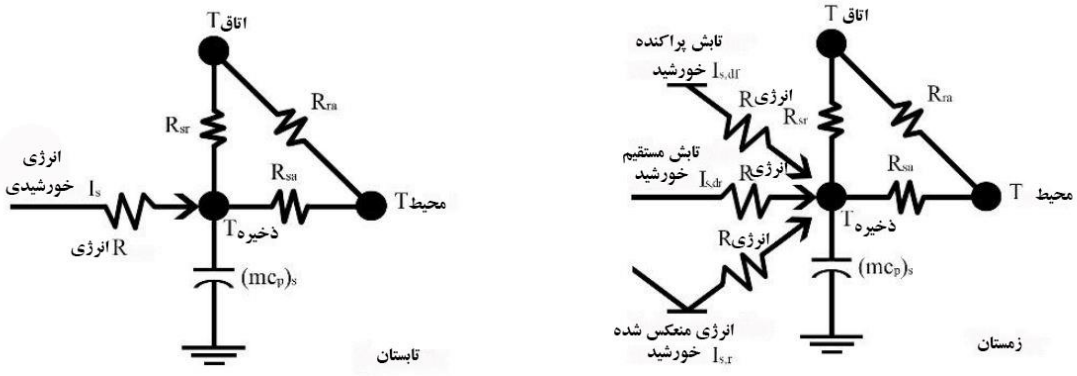
ساختمان ها به دو طریق فعال و غیرفعال قادر به تامین نیاز حرارتی خود از انرژی خورشیدی می باشند. سیستم های غیرفعال خورشیدی به سیستم هایی گفته می شود که انرژی خورشیدی را بدون استفاده از سیستم های مصرف کننده ی انرژی نظیر دمنده، پمپ یا کنترل های پیچیده، جمع آوری، ذخیره و توزیع می کنند (احمدی ندوشن، ۱۳۹۳: ۱۲۸). در واقع یک سیستم گرم کننده ی انفعالی، سیستمی است که در آن گرمایش ساختمان به طور طبیعی و با استفاده از عوامل طبیعی مثل خورشید انجام گیرد. به این معنی که چنین سیستمی این امکان را فراهم می سازد که ساختمان بدون نیاز به انرژی فسیلی یا مصنوعی خارجی و حداکثر با مصرف انرژی بسیار کمی کار کند(بیت الهی و عابدی، ۱۳۹۳: ۴۱).

طراحی دانشگاه هنرومعماری دانشگاه یزد با بهره گیری از راهکارهای انرژی غیرفعال خورشیدی به جهت استفاده بهینه از این منبع بیکران انرژی تحت شرایط اقلیمی حاکم در استان یزد در یکی از زیر مجموعه های دانشگاه یزد درنظر گرفته شده است. از جمله سامانه های انرژی خورشیدی غیرفعال مورد تاکید در این پژوهش می توان به دیوارترومب، بالکن شیشه ای، آتریوم سربسته(گلخانه) اشاره کرد. از بین سامانه های مذکور، گلخانه نقش پررنگ تری دارد. گلخانهٔ مد نظر در طراحی نهایی، برای ایجاد گرمایش، کاهش مصرف انرژی و در نهایت ایجاد فضایی مطلوب در نظر گرفته شده است. از دلایل استفاده و طراحی آتریوم سربسته (گلخانه) علاوه برکاهش مصرف انرژی و گرمایش می توان به بررسی پذیرش فرهنگی آن نیز اشاره کرد. از موارد مهم دیگر در طراحی دانشکده می توان به نور طبیعی اشاره کرد. نور اولین شرط برای هرنوع ادراک بینایی و جزء اساسی و ضروری در ساختمان و از عوامل مهم مؤثر بر ارزش فضایی است. بهره گیری از نور طبیعی را می توان یکی از عوامل اصلی تأثیرگذار بر معماری پایدار دانست. بهره گیری از نورطبیعی یکی از استراتژی های مؤثر در بهبود کارایی انرژی در ساختمان است. بر این اساس این پژوهش ضمن بررسی و اولویت بندی مولفه های طراحی ساختمان های آموزشی با رویکرد بهره گیری از راهکارهای غیرفعال انرژی خورشیدی اقدام به طراحی ساختمان هنر و معماری دانشگاه یزد منطبق با این رویکردکرده است.

پیشینه‌ی تحقیق

مصرف انرژی در بخش های مسکونی و آموزشی سهم بزرگی از تقاضای جهانی انرژی را به خود اختصاص می دهد که بین ۲۰ تا ۴۰ درصد از کل تقاضا را نشان می دهد (World Energy Balances and Statistics, 2020). هر کشوری استراتژی های کارایی انرژی خاصی را برای جوامع خود ایجاد کرده است. در مرحله اول، توجه اصلی به صرفه جویی در انرژی مربوط می شود، با تمرکز بر عایق پوشش ساختمان می توان تقاضای انرژی را تا ۲۸٪ کاهش داد (Serghides and Georgakis, 2012: 87). سپس تمرکز بر افزایش کارایی سیستم‌های تهویه گرمایشی و سیستم تهویه مطبوع به عنوان منبع اصلی مصرف انرژی ساختمان است و معمولاً به طور کارآمد عمل نمی‌کنند (Oldewurtel et al, 2012: 19). در چشم انداز ساختمان با انرژی تقریباً صفر، ادغام استراتژی های مختلف در مورد عایق بندی پوشش، تولید گرما، سایه اندازی و دستگاه های کنترلی برای به حداقل رساندن بارهای تهویه ساختمان ضروری است تا بتوان سهم تقاضای انرژی تحت پوشش را توسط منابع انرژی تجدید پذیر به حداکثر رساند. همچنین باید در نظر داشت که گرمایش فضاهای مسکونی و آموزشی ۸۶ درصد از تقاضای انرژی ساختمان را بر عهده دارد و به راحتی می توان از منابع تجدیدپذیر بهره برد (IEA, 2019). در میان گزینه‌های مختلف، انرژی خورشیدی بهترین گزینه را برای ساختمان‌ها به‌عنوان یکی از در دسترس‌ترین و به راحتی قابل بهره‌برداری نشان می‌دهد، حتی اگر سهم کنونی آن در تامین انرژی جهانی هنوز نامحسوس باشد (REN21, 2019). می توان مستقیماً با گرم کردن ساختمان از طریق تابش خورشیدی یا به طور غیرمستقیم از آن استفاده کرد (Franco and Fantozzi, 2016: 1080).

عملکرد یک سیستم خورشیدی غیرفعال برای ساختمان ها را می توان در یک مدل ترکیبی مقاومتی و خازنی خلاصه کرد، همانطور که در شکل ۱ توضیح داده شده است. با توجه به این توصیف، سیستم‌های خورشیدی غیرفعال می‌توانند هم برای افزایش، در طول تابستان و هم برای کاهش مقاومت حرارتی تابش مستقیم خورشید در فصل زمستان و هم برای معرفی سیستم‌های خازنی مناسب برای ذخیره بخشی از تابش خورشیدی مناسب باشند.



شکل ۱. مدار حرارتی معادل متعارف برای سیستم های گرمایش خورشیدی غیرفعال ساختمان (Cillari et al, 2020: 4).

سیستم های خورشیدی غیرفعال را می توان به گونه های مختلف طبقه بندی کرد. سیستم های بهره مستقیم جمع‌آوری انرژی خورشیدی از طریق پوشش‌های لعاب‌دار گسترده در سمت جنوب: هزینه کم ساخت، در دسترس بودن و استفاده از تکنولوژی های رایج از مزایای اصلی آن است. این سیستم ها به اندازه ای هستند که بخش کوچکی از بار گرمایشی ساختمان را تامین کنند و نیازی به ذخیره سازی حرارتی نیز ندارد، با این حال این می تواند نوسانات بالای دمای هوای داخلی را ایجاد کند و مهمترین نقطه ضعف آن نیز مربوط به ناراحتی تابش مستقیم یا تخریب احتمالی اشعه ماوراء بنفش است (Balcomb et al, 1980). ادغام سیستم‌های عایق، ذخیره‌سازی حرارتی، سطوح بازتابنده خارجی و سیستم‌های سایه‌اندازی (شکل ۲) می تواند نقاط ضعف این سیستم را برطرف کند اما به شدت هزینه کل را افزایش می دهد.

شکل ۲. نمونه ای از یک منظومه خورشیدی غیرفعال، پرده های قابل تنظیم خارجی که در ساختمان مطالعه موردی اعمال می شود: (الف) نمای خارجی، (ب) نمای داخلی، (ج) جزئیات روزنه، (د) جزئیات اتصال (Cillari et al, 2021: 5) .

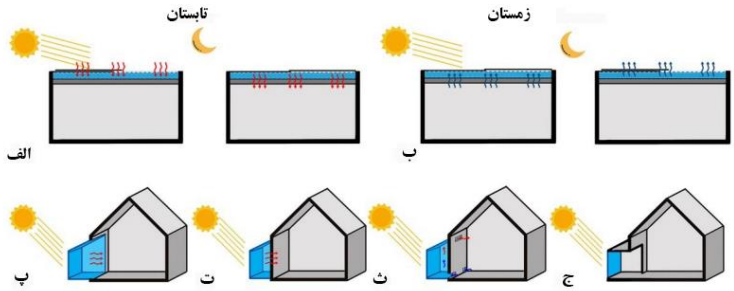
سیستم های بهره غیرمستقیم شامل یک جرم حرارتی است که بین فضای ذخیره سازی انرژی خورشیدی و فضای داخلی قرار می گیرد که از تابش خیره کننده داخل ساختمان و تخریب اشعه ماوراء بنفش جلوگیری می کند. یکی از معایب اصلی که می تواند طول عمر سیستم را تحت تاثیر قرار دهد، تعمیر و نگهداری است، زیرا دسترسی مناسب به حفره دیوار برای تمیز کردن گرد و غبار و تراکم ممکن است دشوار باشد. در سیستم های بهره ایزوله، کلکتور و محل ذخیره انرژی از نظر حرارتی از ساختمان جدا می شوند. مزیت اصلی این سیستم، مجزا بودن سیستم از ساختمان است.

سیستم های سایه زنی یکپارچه و سطوح بازتابنده، استراتژی های ساده ای برای ساختمان های جدید و موجود با صرفه مطلوب اقتصادی هستند. در عرض‌های جغرافیایی پایین، پرده‌های پنجره‌های شرقی و غربی حدود ۲۰ درصد بیشتر از پنجره‌های سمت جنوبی، که سهم آنها با عرض جغرافیایی افزایش می‌یابد، افزایش گرما را کاهش می‌دهد (Huang et al, 2014: 219). تحقیقات انجام شده توسط آلووایل و همکاران (Alhuwayil et al, 2019: 1170) نشان می دهد در سیستم های مستقیم، مقدار U و فاکتورهای خورشیدی مرتبط ترین پارامترهای طراحی هستند. برای شیشه معمولی، مقادیر U حدود ۱ تا ۱/۵ W/m2K است و برای داشتن بهترین آسایش و مطلوبیت، حداقل ضریب خورشیدی ۰/۳ مورد نیاز است (Nielsen et al, 2001: 140). مقاومت حرارتی پایین شیشه نشان دهنده یک ضعف مهم است که استفاده از شیشه های دوجداره یک اقدام مطلوب جهت صرفه جویی در انرژی در آب و هوای سرد است. روش‌های عایق کاری در شب، مانند دستگاه‌های سایه‌بان غلتکی، نیز سودآور هستند، اما هزینه بر می باشند.

در سیستم های دیوار عظیم، دیوار به عنوان یک انتقال حرارت و محل ذخیره سازی عمل می کند. در این رابطه، اثر گلخانه ای تضمین شده توسط پوسته خارجی باعث بهبود عملکرد سیستم می شود. ضخامت دیوار باید با توجه به خصوصیات مصالح دیوار مانند انتقال حرارتی دوره ای و پایدار انتخاب شود که نرخ انتقال حرارت، تاخیر زمانی و ضریب کاهش را مشخص می کند. دیوار ترومب با افزودن دهانه های پایین و بالا به دیوار، تبادل حرارتی همرفتی را به سیستم دیوار عظیم اضافه می کند که با ادغام دریچه های بیرونی، می توان از آن به عنوان دودکش خورشیدی استفاده کرد (Lohmann and Santos, 2020). این نوع پیکربندی ها هم در آب و هوای گرم و هم سرد عملکرد خوبی دارند. در آب و هوای گرم به ترتیب ۷۱/۷ و ۳۶/۱ درصد از تقاضای گرمایش و سرمایش را تعدیل می کنند (Bevilacqua et al, 2019: 555). با بهره برداری از آب در محل ذخیره سازی، انتقال حرارت دیواره آب به صورت همرفتی صورت می گیرد و سیستم کاملاً همدما می شود. این محلول به دلیل دمای سطح پایین تر و دستیابی سریعتر به شرایط عملیاتی حالت پایدار در مقایسه با سایر سیستم های عظیم، تلفات حرارتی کمتری را در طول شب از خود نشان می دهد. آزمایشات روی یک خانه خورشیدی غیرفعال با دیوارهای ذخیره حرارتی آب یکپارچه کاهش مصرف انرژی ۸/۶ را نشان داد (Wang et al, 2013: 221).

سیستم‌های حوضچه سقفی، شکل ۳، کیسه‌های آب را در ساختار سقف یکپارچه می‌کند. سطوح بزرگ سقف توزیع یکنواخت‌تر گرمایش را تضمین می‌کنند، اما اثربخشی آن در ساختمان‌های یک طبقه با راندمان حدود ۴۵٪ است زیرا کمتر از نیمی از گرمای جمع آوری شده به سمت پایین منتقل می شود. بارهای سازه ای بالا و راندمان پایین در عرض های جغرافیایی متوسط تا زیاد به دلیل تابش افقی کم خورشید، معایب اصلی این سیستم را نشان می دهد. با این حال نتایج یک مطالعه میدانی از یک حوضچه پشت بام کاهش نوسان دمای داخلی را در حدود ۱/۴ را گزارش می‌کند (Krüger et al, 2016: 91).

سیستم غیرفعال خورشیدی مبتنی بر پیکربندی حفره های ذخیره سازی و انتقال انرژی به این صورت است که هوای گرم شده در داخل یک حفره در سقف جریان می‌یابد و در نهایت در اتاق‌های غیر رو به خورشید آزاد می‌شود. این سیستم توزیع گرما و ذخیره‌سازی برای ساختمان‌های چند طبقه مناسب است و همچنین و برای تهویه ساختمان قابل بهره برداری است. اما عیب اصلی آن نگهداری از سیستم به دلیل نشست گرد و غبار و تراکم آن در حفره است. در آب و هوای معتدل، این پیکربندی می تواند به ۶۰ تا ۷۰ درصد صرفه جویی در انرژی گرمایش سالانه ساختمان کمک کند (Imessad et al, 2014: 591).



شکل ۳. سیستم های آبی: (الف) حالت زمستانی حوضچه های سقفی (روز و شب)، (ب) حالت تابستانی حوضچه های سقفی (روز و شب). فضاهای خورشیدی: (ج) یکپارچه، (د) متصل، (ه) تهویه شده متصل، (و) ایوان آفتابگیر(Cillari et al, 2021: 6).

همانطور که شکل ۳ نشان می دهد، فضاهای خورشیدی یکپارچه به عنوان سیستم های بهره مستقیم بزرگ عمل می کنند، در حالی که فضاهای خورشیدی متصل به خارج به عنوان سیستم های غیر مستقیم عمل می کنند. یک فضای خورشیدی می تواند برای پیش گرم کردن هوای خارجی مورد استفاده قرار گیرد (Suárez López et al, 2020: 2148) و به عنوان یک منطقه حائل عمل می کند. اگرچه ارائه یک فضای زندگی اضافی احتمالی یک مزیت است، اما هزینه های بالای ساخت و ساز و انطباق با الزامات محلی عواملی هستند که محدودیت برای اجرای فضای خورشیدی ایجاد می کنند.

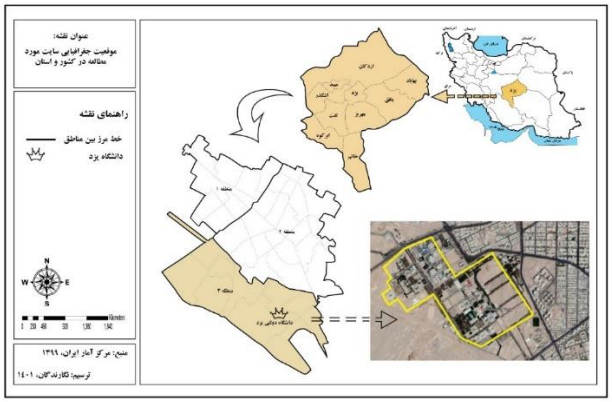
صرفه جویی در مصرف انرژی را می توان با افزودن یک سیستم ذخیره سازی مبتنی بر آب از ۱۰ تا ۱۵ درصد به ۸۰ درصد افزایش داد (Owrak et al, 2015: 147). ایوان های آفتابگیر که با نصب پنجره ها یا ورق ها در بالکن رو به جنوب قابل اجرا هستند، راه حلی ساده و ارزان تر برای ساختمان های موجود می باشند که یک استراتژی معتبر برای بهره گیری از انرژی غیرفعال است (Allesina et al, 2019: 542). جهت گیری و شکل ساختمان نیز استراتژی های غیرفعال اساسی هستند که با قرار گرفتن در معرض خورشید، هم بر بار انرژی پایه ساختمان و هم بر عملکرد سایر راه حل های غیرفعال تأثیر می گذارد. هنگام طراحی یک ساختمان جدید، تفاوت در تقاضای گرمایش از یک ساختمان معمولی به یک ساختمان نامنظم می تواند حدود ۵۰٪ باشد، در حالی که جهت گیری مناسب سایت می تواند تا ۴۰٪ در صرفه جویی موثر باشد (Mokrzecka, 2018).

روش پژوهش

با توجه به اهداف تحقیق و مؤلفه‌های مورد بررسی، نوع تحقیق کاربردی و روش بررسی آن تحلیل محتوا است. بر اساس این روش فرآیند ارتباطات عناصر معماری نسبت به همدیگر در یک سازه جهت طراحی مطلوب آن با تاکید بر راهکارهای غیرفعال انرژی خورشیدی مورد بررسی قرار گرفته است. ابزار گردآوری اطلاعات پرسشنامه است. جامعه آماری دانشجویان و اساتید گروه معماری و شهرسازی دانشگاه یزد است. حجم نمونه با روش تصادفی ساده و سیستماتیک ۶۹ نفر انتخاب شد. پرسشنامه به لحاظ روایی و پایایی مورد سنجش قرار گرفت. طبق بررسی های انجام شده پرسشنامه به لحاظ روایی از روایی صوری مطلوب و به لحاظ پایایی با استفاده از روش آلفای کرونباخ با مقدار ۰/۸۳۷ از قابلیت اعتبار بالایی برخوردار است. داده های مورد نیاز از محل سرشماری های عمومی نفوس و مسکن، طرح جامع دانشگاه یزد، مجموعه قوانین و ضوابط نظام مهندسی ساختمان یزد جمع اوری شده است. متغیرهای تحقیق شامل جهت باد مطلوب، جهت تابش آفتاب، دسترسی به سایت، همجواری ساختمان ها و اراضی با سایت، تعاملات اجتماعی و آموزشی، مرزبندی بین فضاها، فضاهای مکث، فضاهای تجمع، خوانایی مسیرها است. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش رتبه بندی فازی استفاده شد.

قلمرو جغرافیایی پژوهش

محدوده مورد مطالعه سایت دانشگاه دولتی یزد است. این سایت در منطقه ۳ شهرداری یزد واقع شده است (شکل ۴). جهت جغرافیایی این زمین شمال شرقی – جنوب غربی می باشد. طبق طرح جامع دانشگاه یزد، در سمت شرقی این زمین، دانشکده هنرهای تجسمی پیش بینی شده و در سمت غربی، ساختمان شماره یک کتابخانه ساخته شده است. در بخش شمالی زمین، پارکینگ اساتید و کارکنان دانشگاه و در قسمت جنوبی آن دو سایت برای دانشکده های هنرهای کاربردی و هنرهای نمایشی در نظر گرفته شده است. دسترسی به سایت مورد مطالعه به دیگر مجموعه های دانشگاه پس از عبور از سالن اجتماعات و با نزدیکی به ساختمان کتابخانه مرکزی به بخش های اداری مثل ساختمان مرکزی دانشگاه و ساختمان دانشجویی نزدیک و آسان است.



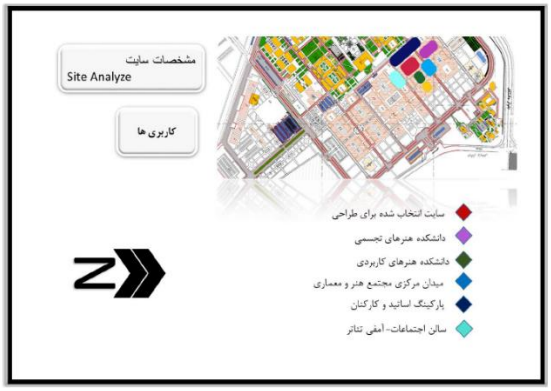
شکل ۴. موقعیت سایت دانشگاه دولتی یزد در کشور و استان و شهر یزد (منبع: مرکز آمار ایران، ۱۳۹۹)

شکل ۵. مشخصات کلی سایت مورد مطالعه (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

یافته‌ها و بحث

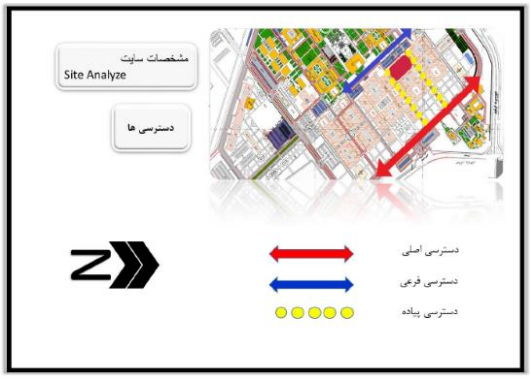
- بررسی عوامل تاثیرگذار بر سایت مورد مطالعه

بر اساس بررسی های صورت گرفته مکان فعلی فضای آموزشی پیشنهادی با کاربری های همجوار و انطباق با معیارهای بهینه کاملا سازگار است. طبق شکل ۶ کاربری های همجوار با سایت پیشنهادی عمدتا دارای کاربری های آموزشی و گاها خدماتی است که این موضوع منجر به کارایی بالای سایت پیشنهادی به عنوان ساختمان دانشکده هنر و معماری شده است. اضافه بر این همجواری های مطلوب امکان طراحی سایت با درنظر گرفتن راهکارهای غیرفعال انرژی خورشیدی را فراهم می کند.



شکل ۶. همجواری سایت مورد مطالعه با سایر کاربری ها (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

دسترسی به سایت پیشنهادی یکی از مهمترین مولفه های کارکردی بخش های آموزشی است. بر این اساس سایت پیشنهادی در فاصله بسیار نزدیک سردر اصلی دانشگاه (سردر شرقی دانشگاه) قرار دارد که این امر منجر به دسترسی سریع و عدم ایجاد اضطراب در بین دانشجویان به جهت عدم تاخیر حضور در کلاس ها،کاهش تردد سواره و امکان ایجاد مسیرهای سبز و پیاده می گردد (شکل ۷).

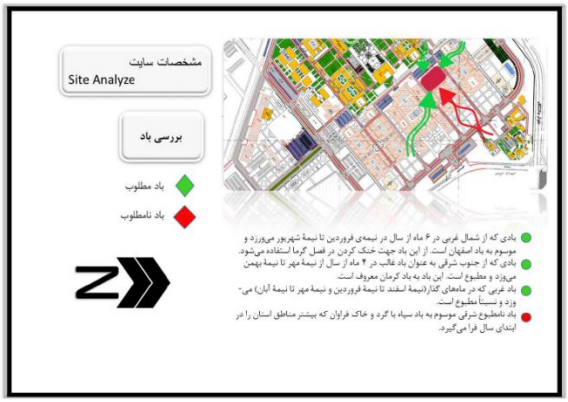


شکل ۷. مسیرهای دسترسی به سایت پیشنهادی ساختمان هنر و معماری دانشگاه یزد (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

آب و هوا از مهمترین عوامل محیطی است که نقش موثری در طراحی اقلیمی ساختمان ها و شهرسازی دارد، بررسی مسیر حرکت خورشید نشان می دهد حداکثر تابش در سایت پیشنهادی در جهت شرق با زاویه ۳۲ درجه از محور جنوب در فصول سرد و در جهت غرب با زاویه ۲۲ درجه از محور غرب در فصول گرم می باشد (شکل ۸). بر این اساس برای بهره گیری بالا از انرژی خورشیدی می بایست تمام بازشوها در جهت جنوب جانمایی گردند تا در فصول سرد حداکثر انرژی خورشیدی به درون بنا وارد و در فصول گرم با طراحی سایه بان ها زمینه خنکی فضاها را فراهم کنیم. بر اساس نتایج بررسی ها برای سایت مورد مطالعه طراحی سایه بان ها با عمق ۶۰ تا ۷۵ سانتیمتر مناسب است که برای ظلع های شمالی و جنوبی از سایبان های به عمق ۶۰ سانتی متر و برای ضلع شرقی و غربی از سایبان های با عمق ۷۵ سانتی متر استفاده می شود. اضافه بر این شکل این سایه بان ها به شکل قاب هایی است که روی نما به صورت جداره ای جداگانه قرار گرفته است.

شکل ۸. مسیر حرکت خورشید در سایت پیشنهادی ساختمان هنر و معماری دانشگاه یزد(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

بررسی وضعیت جریان های بادی نیز نشان می دهد بخش زیادی از سایت پیشنهادی در جهت جریان های بادی مطلوب قرار دارد و برای بخشی که در جبهه جریان های باد نامطلوب می باشد ایجاد فضاهای سبز با پوشش گیاهی متراکم و بلند پیش بینی شده است (شکل ۹).



شکل ۹. وضعیت جریان های بادی در سایت پیشنهادی ساختمان هنر و معماری دانشگاه یزد (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

- اولویت بندی مولفه های طراحی در سایت مورد مطالعه

در پژوهش حاضر بر اساس بررسی مبانی و ادبیات نظری، شاخص های مهم در انتخاب سایت و طراحی ساختمان آموزشی دانشکده هنر و معماری یزد طبق پرسشنامه بین ۶۹ نفر از دانشجویان و اساتید دانشگاه و همچنین مدیران و کارشناسان شهرسازی و معماری حوزه نظام مهندسی و شهرداری شهر یزد به منظور مشخص نمودن درجه اهمیت هر یک از شاخص ها توزیع شد. در این پژوهش جهت تعیین درجه اهمیت هر شاخص از طیف لیکرت پنج تایی (۱، ۳، ۵، ۷، ۹) استفاده شده است. بخشی از داده های پژوهش قبل از اعمال فازی شدن در جدول (۱) بیان شده است.

جدول ۱. داده های خام قبل از انجام داده پردازی فازی منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱

شاخص ها متخصصین و ...	A	B	C	D	E
احداث گلخانه ها در جبهه نورگیر ساختمان آموزشی دانشگاه	۵	۵	۵	۵	۵
اهمیت نورگیری فضاهای آموزشی و تعاملی (طراحی بازشوها رو به آفتاب)	۵	۵	۴	۵	۵
ضرورت جلوگیری از آلودگی صوتی در فضاهای آموزشی و تعاملی	۴	۴	۴	۳	۳
اهمیت دید به محوطه فضاها	۲	۳	۲	۳	۳
میزان اهمیت مسیرهای دسترسی به سایت آموزشی	۳	۳	۳	۳	۴
مطلوبیت زاویه تابش خورشید جهت طراحی فضاها با آسایش اقلیمی مطلوب	۵	۵	۴	۵	۵
توجه به شیب جهت استفاده از آبهای سطحی برای تلطیف هوا و مصرف بهینه انرژی	۳	۳	۳	۴	۴
استفاده از فضای سبز متراکم و بلند در جبهه بادهای نامطلوب	۴	۴	۴	۴	۴
احداث استخر یا حوضچه روی بام بخش هایی از ساختمان	۴	۴	۴	۴	۵
احداث دیواردر بخش هایی از فضاها از مصالح با ظرفیت حرارتی بالا و رنگ تیره	۵	۵	۵	۴	۵
اجرای بخش های از ساختمان به ویژه فضاهای تعاملی با سقف های شیشه ای	۴	۴	۴	۵	۵

به منظور تبدیل داده های قطعی به فازی از اعداد فازی مثلثی استفاده شد (جدول ۲).

جدول ۲. اعداد فازی مثلثی منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱

عبارت کلامی	اعداد فازی مثلثی	عبارت کلامی	اعداد فازی مثلثی
خیلی مهم	(۷، ۹، ۹)	کم اهمیت	(۱، ۳، ۵)
مهم	(۵، ۷، ۹)	بی اهمیت	(۱، ۱، ۳)
تاحدی مهم	(۳، ۵، ۷)		

در ادامه بعد از فازی کردن داده ها، میزان تسلط هر گزینه نسبت به گزینه های دیگر با توجه به هر شاخص از روش روابط بررسی شد تا دامنه تسلط نهایی هرگزینه نسبت به گزینه های دیگر با جمع دامنه تسلط جزئی گزینه مربوطه نسبت به گزینه های دیگر به دست آید. در نهایت جهت اولویت بندی گزینه ها، یک نسبت بین دامنه تسلط نهایی گزینه ها ایجاد می شود که نتایج حاصل از آن به صورت جدول (۳) در ادامه آمده است.

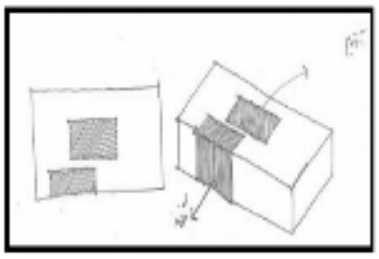
جدول ۳. داده های خام قبل از انجام داده پردازی فازی منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱

شاخص ها	وزن	اولویت
احداث گلخانه ها در جبهه نورگیر ساختمان آموزشی دانشگاه	۱	۱
احداث دیواردر بخش هایی از فضاها از مصالح با ظرفیت حرارتی بالا و رنگ تیره	۰/۹۶۳	۲
اهمیت نورگیری فضاهای آموزشی و تعاملی (طراحی بازشوها رو به آفتاب)	۰/۹۳۷	۳
مطلوبیت زاویه تابش خورشید جهت طراحی فضاها با آسایش اقلیمی مطلوب	۰/۸۸۲	۴
اجرای بخش های از ساختمان به ویژه فضاهای تعاملی با سقف های شیشه ای	۰/۸۴۱	۵
احداث استخر یا حوضچه روی بام بخش هایی از ساختمان	۰/۸۳۲	۶
استفاده از فضای سبز متراکم و بلند در جبهه بادهای نامطلوب	۰/۷۴۴	۷
ضرورت جلوگیری از آلودگی صوتی در فضاهای آموزشی و تعاملی	۰/۶۷۰	۸
توجه به شیب جهت استفاده از آبهای سطحی برای تلطیف هوا و مصرف بهینه انرژی	۰/۵۷۷	۹
میزان اهمیت مسیرهای دسترسی به سایت آموزشی	۰/۴۳۸	۱۰
اهمیت دید به محوطه فضاها	۰/۳۷۲	۱۱

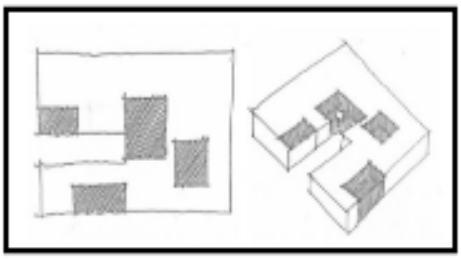
یافته ها نشان می دهد در طراحی ساختمان هنر و معماری دانشگاه یزد بهره گیری از سیستم گلخانه در جبهه نورگیر می تواند قسمتی از نیازهای حرارتی فضاهای مجاور خود را تامین کند، بدین صورت که انرژی خورشیدی را دریافت کرده و توسط یک دیوار مشترک، انتقال گرما از گلخانه خورشیدی به فضاهای مجاور، از طریق هدایت یا توسط بازشوهای موجود در دیوار مشترک با جریان همرفت، صورت بگیرد و به همین منظور در اولویت طراحی ساختمان مذکور قرار می گیرد. با طراحی چنین سیستمی در ساختمان فوق الذکر یک منبع کمکی حرارت تامین می شود که ضمن ایجاد فضایی برای رشد گیاهان می تواند فضاهای دلپذیری برای تعاملات دانشجویان فراهم کند. احداث دیواردر بخش هایی از فضاها از مصالح با ظرفیت حرارتی بالا و رنگ تیره، اهمیت نورگیری فضاهای آموزشی و تعاملی (طراحی بازشوها رو به آفتاب)، مطلوبیت زاویه تابش خورشید جهت طراحی فضاها با آسایش اقلیمی مطلوب، اجرای بخش های از ساختمان به ویژه فضاهای تعاملی با سقف های شیشه ای و احداث استخر یا حوضچه روی بام بخش هایی از ساختمان به ترتیب در اولویت های بعدی طراحی ساختمان هنر و معماری قرار دارد.

نتیجه‌گیری

جهت رسیدن به طرح مورد نظر، با توجه به کانسپت های پیشنهاد شده مراحل متعددی به شرح زیر طی شد. از مطالعات، برای بهره گیری از گلخانه و استفاده از گرمایش آن در فصول سرد، حضور این فضا در جبهۀ جنوب تا جنوب شرقی در نظر گرفته شد. از آنجایی که استفاده از انواع گلخانه مورد نظر قرارگرفت در دو بخش از ساختمان ها گلخانه و در بخش میانی از آتریوم استفاده شد (شکل ۱۰).

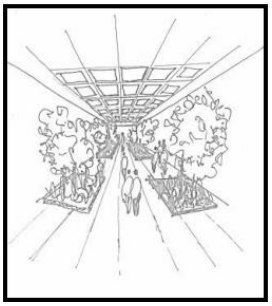


شکل ۱۰. اتود اولیه (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)



شکل ۱۱. اتود اولیه از ایده اصلی(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

پس از اتودهای که بر پایهٔ این موضوع زده شد، ایجاد فرورفتگی و بیرون زدگی در قالب حیاط مرکزی برای تطابق با سایر ساختمان های اطراف سایت و آتریوم و گلخانه به منظور بهره مندی از سیستم های غیرفعال خورشیدی به عنوان ایدهٔ اصلی در نظر گرفته شد. در گام اول پر و صلب بودن تودهٔ حجمی مانع از بهره گیری از سیستم های مورد نظر شده بود. در این گام با در نظر گرفتن فضاهایی به عنوام گلخانه و آتریوم علاوه بر استفاده از نور و ویژگی های این سیستم ها در ساختمان؛ طبیعت به داخل فضای دانشکده کشیده شد. در ادامه برای افزایش خوانایی ساختمان نسبت به ساختمان های اطراف، بر خلاف حیاط های مرکزی ساختمان های دیگر از حیاط مرکز به سه وجه بسته استفاده شد (شکل ۱۲ و ۱۳).

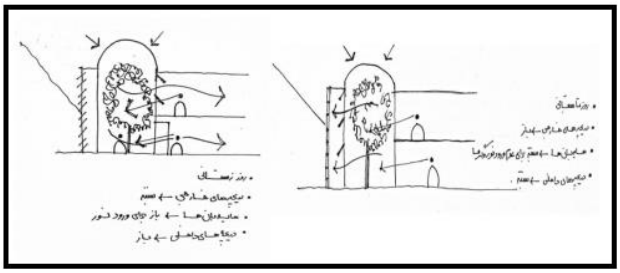


شکل ۱۲. اسکیس اولیه از آتریوم (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

شکل ۱۳. جداره های شفاف رو به گلخانه(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

در جای گیری فضاهای مختلف دانشکده نیز نکاتی مدنظر قرار گرفت. با توجه به اهمیت نورگیری کلاسها و آتلیه ها و فضاهای اداری سعی شد که این فضاها در مجاورت جبهه های نورگیر(شمالی و جنوبی) قرار گیرند. علاوه بر نورگیری بحث نویز و آلودگی صوتی نیز در جایابی فضاها مورد توجه بوده است.

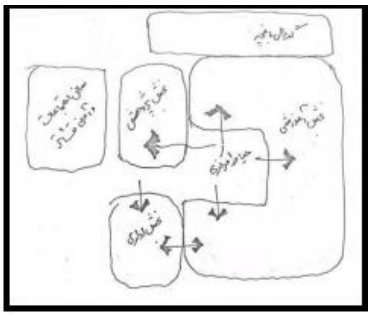
پس از مرور اتودهای گام سوم، فضاهایی در مجاورت با گلخانه ها در نظر گرفته شد تا دانشجویان نه تنها از گرمای گلخانه؛ بلکه از دید بصری آن نیز بهره مند شوند. بنابراین برخی فضاها نظیر کارگاه ها و آتلیه ها در مجاورت با گلخانه در مدنظر قرار گرفت. از طرفی گلخانه ای نیز در بخش پژوهشی دانشکده در نظر گرفته شد، تا علاوه بر امتیازات حضور گلخانه در آن بخش، بتوان از آن گلخانه برای پژوهش های درخواستی توسط دانشجویان داوطلب مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر دیدار بصری برای حضور گلخانه ها و آتریوم در دانشکده، نحوهٔ ورود نور و ایجاد گرمایش در گلخانه و نحوهٔ پخش گرما در فضاها مورد نظر قرار گرفت (شکل ۱۴).



شکل ۱۴. بازشوها و سایه بان ورود و خروج گرما(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

به طور کلی برای ادامهٔ روند طراحی؛ برای قسمت آموزشی دو ورودی؛ شامل یک ورودی اصلی و یک ورودی فرعی در نظر گرفته شد. برای بخش اداری ورودی جداگانه ای در نظر گرفته شد تا افرادی که برای رجوع به بخش اداری مجبور به حضور در بخش آموزشی نباشند. بخش اداری و بخش آموزشی با درب شیشه ای و چند پله از یکدیگر تفکیک شده اند. در ورودی به بخش آموزشی؛ نمایشگاه دائمی آثار دانشجویان وجود دارد. در طبقهٔ همکف کارگاه ها و کتابخانه و سایت رایانه و کافه کتاب وجود دارد. در این کافه علاوه بر فضایی برای نوشیدن چای، فضایی برای تبادل اطلاعات بین دانشجویان و کتاب خواندن نیز وجود دارد. جزئیات طبقات در پلان ها توضیح داده شده است. گلخانه در بخش آموزشی در مجاورت با آتلیه ها و کارگاه ها قرار گرفته است. در بخش اداری نیز گلخانه در کنار اتاق جلسات و اتاق رئیس دانشکده قرار گرفته است. برای کتابخانه نیز درب جداگانه ای در نظر گرفته شده تا افرادی که احتیاج به بخش های آموزشی ندارند مجبور به حضور در این بخش نشوند و به طور جداگانه بتوانند به کتابخانه رجوع کنند. بخش پژوهشی نیز در ساختمانی جداگانه و در مجاورت کتابخانه قرار گرفت تا دانشجویان بتوانند هم از کتابخانه و هم از این بخش به راحتی استفاده کنند. آمفی تئاتری جداگانه برای کل این مجموعه در کنار کلیهٔ بخش های آموزشی؛ اداری و پژوهشی در نظر گرفته شده تا تمامی همایش های مربوط به رشته های هنری در این آمفی تئاتر برگزار شوند.

دانشکدۀ هنر و معماری در طرح پیشرو، از۴ بخش اصلی، حوزۀ آموزشی و پژوهشی، حوزۀ کمک آموزشی و پژوهشی، حوزۀ اداری، حوزۀ خدماتی؛ رفاهی و تأسیساتی تشکیل شده است. با توجه به اینکه سایت مورد نظر برای طراحی در داخل مجموعه دانشگاه یزد، قرار گرفته است؛ بر اساس تحلیل های ارائه شده از موقعیت سایت و دسترسی های آن، در شمال سایت مورد نظر؛ سایتی برای طراحی دانشکدۀ هنرهای تجسمی در نظر گرفته شده؛ در جنوب سایت؛ سالن آمفی تئاتر و اجتماعات، در شرق سایت؛ دانشکدۀ هنرهای کاربردی و در غرب آن پارکینگ اساتید و کارکنان واقع شده است. مسیر دسترسی اصلی سایت از سمت سردر گرانیتی بوده و از سمت پارکینگ دسترسی فرعی قرار دارد. اولین اصل مدنظر برای طراحی، با توجه به رویکرد مورد نظر، در نظرگرفتن شرایط اقلیمی و بهره مندی از نورخورشید می باشد. با توجه به اقلیم گرم و خشک یزد، بیشتر فضاها برای بهره مندی از نور خورشید به سمت جنوب قرار گرفتند. برای هماهنگی ساختمان مورد طراحی با سایر ساختمان های دانشگاه از حیاط مرکزی استفاده شد با این تفاوت که برای خوانایی بیشتر ساختمان، از حیاط مرکزی با سه وجه بسته استفاده شد. کارگاه های مواد و مصالح و ماکت سازی در طبقۀ همکف واقع شدند. در بدو ورود از درب اصلی دانشکده نمایشگاهی دائمی از آثار دانشجویان قرار دارد تا با ورود به ساختمان فضای هنری ساختمان معرفی شود. برای ورود از درب فرعی دانشکده ابتدا با دو فضا برای تجمع دانشجویان مواجه شده و پس از ورودکافه کتابی قابل مشاهده است که تنها جایی برای نوشیدن چای نیست بلکه فضایی برای تبادل اطلاعات و خواندن کتاب خواهد بود. در طبقۀ همکف سایت رایانه در مجاورت کتابخانه قرار گرفته است. البته کتابخانه دربی جداگانه برای افرادی که نیاز به حضور در دانشکده ندارند نیز دارد. در این طبقه بخش آموزشی یعنی کارگاه ها از سایت و کتابخانه تفکیک شده است. در بخش آموزشی از گلخانه و آتریوم تؤاماً استفاده شده است. بخش اداری نیز با ورودی جداگانه تعریف شده و با چندین پله و درب شیشه ای از بخش آموزشی تفکیک می شود. در طبقۀ دوم بخش آموزشی آتلیه های نقشه کشی و آتلیه های معماری در کنار یکدیگر قرار گرفته و کلاس های دروس تئوری نیز در کنار هم قرار گرفته اند. آمفی تئاتری جداگانه برای رویدادها و همایش های معماری در کنار ساختمان ها در نظر گرفته شد (شکل ۱۵).

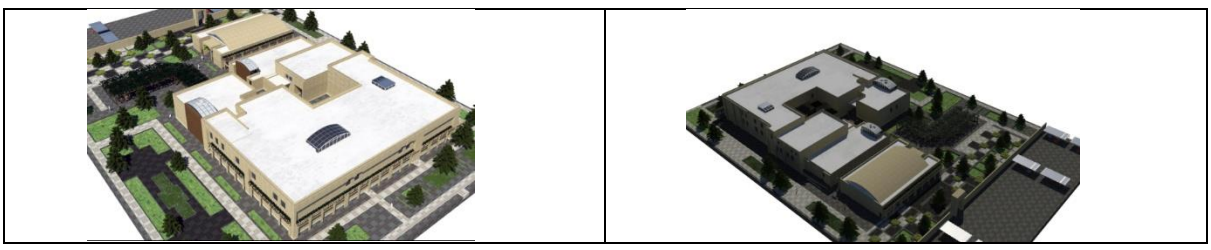


شکل ۱۵. فضای کلی مورد نظر(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

برای ساختمان های مورد نظر از مصالح بوم آورد و متناسب و هماهنگ با ساختمان های دیگر دانشگاه یزد استفاده شد. استفاده از آجر در نماها و در کف سازی و استفاده از ترمووود برای سایه بان ها مواردی است که در این طرح اجرا شده است. باتوجه به حضور پررنگ دانشجویان در دانشکده های معماری و لزوم کارهای گروهی سعی شده تا با در نظر گرفتن فضاهای باز و نیمه باز، فضاهایی برای تعامل بیشتر دانشجویان در نظر گرفته شود.

با توجه به تحقیق از بخش عمرانی دانشگاه یزد، تعدادی از ساختمان ها در سایت دانشگاه یزد از یک موتورخانه استفاده می کنند. سایت مورد نظر در نزدیکی ساختمان های فنی مهندسی واقع شده است و این ساختمان ها و ساختمان هایی نظیر احمدی روشن و سایر ساختمان های نزدیک دیگر از موتورخانۀ فنی مهندسی استفاده می کنند، بنابراین برای این ساختمان تاسیسات جداگانه ای اختیار نشد.

با توجه به اینکه حجم کلی بنا با ارتفاعی کم و به صورت گسترده طراحی شده است، سازۀ پیچیده ای در نظر گرفته نشده است. در برخی از بخش های با توجه به نیاز به دهانه های بزرگ (در بخش سالن اجتماعات و آمفی تئاتر) از سازۀ خرپایی استفاده شده است. برای شیشه های گلخانه ها از سیستم کرتین وال و برای سقف قسمت اتاق های اساتید برای جلوگیری از تابش مستقیم نور خورشید در فصول گرم سال از سقف کرکرهای استفاده شده است تا در صورت لزوم سایه اندازی لازم را به وجود آورد. به طور کلی برای ساختمان های مشابه با بناهای این پروژه دو نوع سیستم سازهای متصور است. اسکلت فلزی و اسکلت بتنی هر یک از این سیستم های سازهای دارای معایب و مزایای خاص خود می باشد که در نهایت در هر پروژه پس از تجزیه و تحلیل کلیۀ عوامل مرتبط نسبت به انتخاب یکی آنها تصمیم گیری می شود. اسکلت بتنی به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه تر از نظر ایجاد همگنی بین کلیه عوامل سازهای بهتر و در نهایت در برابر آتش سوزی مقاوم تر است. حال آنکه اسکلت فلزی دارای مزایای اجرای سریعتر، امکان اجرای فرم های پیچیده تر و انعطاف پذیری بیشتر در مقایسه با اسکلت بتنی است. نوع سیستم سازهای ساختمان در قسمتهای آمفی تئاتر به دلیل نیاز به پوشش دهانۀ بزرگ خرپا انتخاب شد (شکل ۱۶).



شکل ۱۶. طراحی نهایی سایت پیشنهادی ساختمان هنر و معماری دانشگاه یزد (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

مراجع

۱- احمدی ندوشن، محدثه و مفیدی شمیرانی، سیدمجید (۱۳۹۳). استفاده از نور و انرژی خورشید در مجتمع های آموزشی اقلیم سرد، چهارمین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، (ص ۲۱-۱)، شرکت ملی نفت ایران، تهران، تهران.

۲- افشین مهر، وحید و صدیری، مهلا (۱۳۹۶). بهره گیری بیشتر از انرژی خورشیدی در جهت گرمایش ساختمان با استفاده از خاصیت گلخانه ای در سیستم های غیر فعال خورشیدی در اقلیم گرم و خشک، سومین کنفرانس سالانه پژوهش های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری، (ص ۱۸-۱)، دانشگاه شیراز، شیراز.

۳- بیت الهی، فرزاد و عابدی، افشین (۱۳۹۳). کاربرد انرژی خورشیدی در ساختمان ها، ماهنامه دانش نما، ۲۲۷ (۲۳)، صص ۶۱-۴۲.

۴- پورمیرزا، مهدی (۱۳۸۹). بررسی طراحی غیرفعال خورشیدی پایدار در ساختمان های مسکونی شهر تهران، همایش ملی مهندسی عمران و توسعه پایدار، (ص ۳۶-۲۵)، دانشگاه آزاد اسلامی، استهبان، شیراز.

۵- عباسی، حسین و مرادی، سعید (۱۳۹۳). بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمانهای مسکونی با بهره گیری از انرژی خورشیدی با رویکرد معماری پایدار، اولین کنفرانس ملی شهرسازی، مدیریت شهری و توسعه پایدار، (ص ۱۲۳-۱۰۲)، شهرداری تهران، تهران.

۶- نسیم سبحان، لیلا و خان محمدی، محمد علی (۱۳۹۴). اولویت های بکارگیری سیستم های فعال و غیرفعال خورشیدی در ساختمان های اقلیم سرد، دومین کنفرانس بین المللی پوهش های نوین در عمران، معماری و شهرسازی، (ص ۸۹-۷۱)، موسسه پژوهشی سرآمد، تهران.

7- Alhuwayil, W.K.; Abdul Mujeebu, M.; Algarny, A.M.M. (2019). Impact of external shading strategy on energy performance of multi-story hotel building in hot-humid climate. Energy, 169(4), PP 1166–1174.

8- Allesina, G.; Ferrari, C.; Muscio, A.; Pedrazzi, S. (2019). Easy to implement ventilated sunspace for energy retrofit of condominium buildings with balconies. Renew. Energy, 141 (2), PP 541–548.

9- Balcomb, J.D.; Barley, D.; McFarland, R.; Perry, J., Jr.; Wray, W.; Noll, S. (1980). Passive Solar Design Handbook—Volume Two of Two: Passive Solar Design Analysis; U.S. Department of Energy: Washington, DC, USA.

10- Bevilacqua, P.; Benevento, F.; Bruno, R.; Arcuri, N. (2019). Are Trombe walls suitable passive systems for the reduction of the yearly building energy requirements? Energy, 185 (7), PP 554–566.

11-Cillari, Giacomo; Fantozzi, Fabio and Franco Alessandro (2020), Passive solar systems for buildings: performance indicators analysis and guidelines for the design, E3S Web of Conferences 197, 02008, https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019702008.

12- Cillari, Giacomo; Fantozzi, Fabio and Franco Alessandro (2021), Passive Solar Solutions for Buildings: Criteria and Guidelines for a Synergistic Design, Appl. Sci. 2021, 11, 376. https://doi.org/10.3390/ app1101037

13- Franco, A.; Fantozzi, F. (2016). Experimental analysis of a self-consumption strategy for residential building: The integration of PV system and geothermal heat pump. Renew. Energy, 86 (1), PP 1075–1085.

14- Huang, Y.; Niu, J.; Chung, T. (2014). Comprehensive analysis on thermal and daylighting performance of glazing and shading designs on office building envelope in cooling-dominant climates. Appl. Energy, 134 (3), PP 215–228.

15- IEA (2019). Tracking Buildings; IEA: Paris, France.

16- Imessad, K.; Messaoudene, N.A.; Belhamel, M. (2004). Performances of the Barra–Costantini passive heating system under Algerian climate conditions. Renew. Energy, 29 (4), PP 357–367.

17- Krüger, E.; Fernandes, L.; Lange, S. (2016). Thermal performance of different configurations of a roof pond-based system for subtropical conditions. Build. Environ, 107 (11), PP 90–98.

18- Lohmann, V.; Santos, P. (2020). Trombe Wall Thermal Behavior and Energy Efficiency of a Light Steel Frame Compartment: Experimental and Numerical Assessments. Energies, 13 (5), PP 2744.
19- Mokrzecka, M. (2018). Influence of building shape and orientation on heating demand: Simulations for student dormitories in temperate climate conditions. E3S Web Conf. 44 (2), PP 1-117.
20- Nielsen, T.R.; Duer, K.; Svendsen, S. (2001). Energy performance of glazings and windows. Sol. Energy, 69 (6), PP 137–143.
21- Oldewurtel, F.; Parisio, A.; Jones, C.N.; Gyalistras, D.; Gwerder, M.; Stauch, V.; Lehmann, B.; Morari, M. (2012). Use of model predictive control and weather forecasts for energy efficient building climate control. Energy Build, 45 (2), PP 15–27.
22- Owrak, M.; Aminy, M.; Jamal-Abad, M.T.; Dehghan, M. (2015). Experiments and simulations on the thermal performance of a sunspace attached to a room including heat-storing porous bed and water tanks. Build. Environ, 92 (4), PP 142–151.
23- REN21 (2019). Renewables 2019 Global Status Report; REN21: Paris, France.
24- Serghides, D.K.; Georgakis, C.G. (2012). The building envelope of Mediterranean houses: Optimization of mass and insulation. J. Build. Phys, 36 (5), PP 83–98.
25- Suárez López, M.J.; Castro, S.S.; Manso, A.N.; Marigorta, E.B. (2020). Heat collection in an attached sunspace. Renew. Energy, 145 (2), PP 2144–2150.
26- Wang, W.; Tian, Z.; Ding, Y. (2013). Investigation on the influencing factors of energy consumption and thermal comfort for a passive solar house with water thermal storage wall. Energy Build, 64 (2), PP 218–223.
27- Zhang, Y., Wang, W., Wang, ZH., Gao, M., Zhu, L., Song, J., (2021). Green building design based on solar energy utilization: Take a kindergarten competition design as an example, Journal of Energy Reports, 7 (7), PP 1297-1307.