

انتخاب مصالح سیستم نما بر اساس معیار انرژی بهینه و کاهش صوت نمونه‌ی موردی: مدرسه‌ای ابتدایی در شهر سنندج

Choosing the Material for Façade Systems Using Optimal Energy and Sound Reduction Criteria

Case Study: An Elementary School in Sanandaj City

نادیا اشرفی^۱، مهدی خاکزند^۲

چکیده

انتخاب چندمعیاره سیستم‌های نما بر اساس معیارهای پایداری اثرات زیست‌محیطی و اقتصادی سیستم‌های جایگزین، به‌طور گسترده در مطالعات پیشین مورد بررسی قرار گرفته است. انتخاب مصالح مناسب برای نما تصمیم پیچیده‌ای است. با این حال، طراحی پایدار نیاز به پیوند بین اثرات اقتصادی و زیست‌محیطی دارد که دو رکن نظام پایدار هستند. انتخاب مصالح نما تنها بر اساس اثرات زیست‌محیطی صرف نتوانسته است راه‌حلی پایدار باشد. این مقاله درصدد است که روشی برای انتخاب مصالح نمای ساختمان با محاسبه‌ی اثرات زیست‌محیطی، صوتی و اقتصادی ارائه نماید. این پژوهش معیارهای پایداری منتخب برای شناسایی پایداری سیستم مصالح در نما را از میان پنج الگوی نماهای قابل دسترس در محدوده‌ی منتخب شامل: آجرکاری دوگانه، پانل کامپوزیت آلومینیومی، روکش سرامیکی، پانل‌های بتن اتوکلاو و بلوک‌های بتنی بر اساس انرژی بهینه‌ی نهایی متشکل از دو عامل (مقاومت حرارتی و ضریب هدایت حرارتی) و شاخص کاهش صدا در بستر شهر سنندج (با اقلیم سرد و خشک) در مقیاس یک ساختمان طراحی شده، بررسی کرده است. در پژوهش حاضر از روش ترکیبی استفاده شده، و از طریق مطالعه‌ی موردی و انجام تحلیل محتوا در مبانی نظری، عوامل مهم موثر بر انرژی بهینه و کاهش صوت به‌دست آمده است. سپس در محیط شبیه‌ساز دیزاین بیلدر معیارها آزمون شده و نهایتاً نتایج توسط پیمایش از طریق تکنیک ای.اچ.پی. مورد مطالعه قرار گرفته است. این تکنیک برای شناسایی اهمیت نسبی معیارهای مختلف پایداری و رتبه‌بندی سیستم‌های مختلف مصالح نمای جایگزین موجود در محدوده استفاده شده که در ارزیابی و شبیه‌سازی نهایی با توجه به سه معیار اشاره گردیده در محیط شبیه‌ساز، نمای بتن اتوکلاو شده بیشترین حالت بهینه انرژی و شاخص کاهش صدا را داشته است.

کلیدواژگان: مصالح نمای بهینه، معیار زیست‌محیطی، اقتصادی و صوتی.

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. پست الکترونیکی: nadiaa.ashrafi@gmail.com

۲. دانشیار، مهندسی معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران. (نویسنده مسئول)، پست الکترونیکی: mkhakzand@iust.ac.ir

۱- مقدمه

صنعت ساختمان، سهم عمده‌ای از اقتصاد جهان را به خود اختصاص داده که شامل ۶.۵٪ از اقتصاد جهان است (Rhodes, 2014, 36). صنعت ساختمان در تولید بیش از ۳۰ درصد کل انتشار سالانه گاز گلخانه‌ای، ۴۰ درصد کل انرژی استفاده شده و ۳۱ درصد کل پسماند تولید شده نقش دارد. توجه به اثرات قابل توجه اقتصادی و زیست‌محیطی در طول دهه‌ی گذشته منجر به بهبود پایداری ساختمان‌ها در بخش‌های مختلف صنعت ساخت‌وساز شده است (Sadineni, Madala & Boehm, 2011, 8). یکی از اجزای اصلی ساختمان که ممکن است به‌طور قابل توجهی عملکرد پایداری ساختمان را تحت تأثیر قرار دهد، نمای ساختمان است (Gilani, Pons & de la Fuente, 2022, 12). نمای ساختمان بزرگ‌ترین جز سازنده است و نقش مهمی در هدایت گرما بین محیط‌های داخلی و خارجی ایفا می‌کند (Manioğlu & Yilmaz, 2006, 38). مقدار سرمایش و گرمایش مورد نیاز برای تأمین آسایش حرارتی در ساختمان با تغییر نوع سیستم نمای ساختمان مدل‌سازی شده و با تحلیل حرارتی برآورد شده است. دامنه‌ی آسایش حرارتی برای ۲۱ تا ۲۳ درجه سانتی‌گراد تنظیم شده است (Kanters, Horvat & Wang et al., 2014, 68). بازدهی حرارتی به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر طراحی پوشش ساختمان قرار می‌گیرد (Wang et al., 2015, 12). تحلیل انرژی و مدل‌سازی، انتقال حرارت، تحلیل ترکیبی گرما و رطوبت، نور روز و آسایش حرارتی بخش‌های ضروری فرآیند طراحی برای نماهای با عملکرد بالا هستند. در این راستا، نویسندگان تلاش نموده‌اند با تخصیص وزن‌های متناسب به معیارهای مورد مطالعه در بستر انتخابی، گامی در راستای نزدیک شدن به عملکرد حرارتی مناسب با تمرکز بر نمای بهینه در اقلیم سرد بردارند. روش‌های موجود برای انتخاب مصالح نما بر اساس معیارهای چندگانه نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. مقاله‌ی حاضر از یک مطالعه‌ی موردی نمای طراحی شده برای یک مدرسه در شهر سنجند استفاده کرده است. این مقاله از طریق برجسته کردن معیارهای بهینه‌ی مصالح نمای ساختمان در بستر شهر سنجند و تمرکز بر سه عامل معرفی شده، به بهینه کردن عملکرد حرارتی در نمای ساختمان پرداخته است.

۱-۱- پیشینه‌ی تحقیق

بررسی ساختاری ساختمان که در سال ۲۰۱۳ انجام شد، در مورد زوال نمای آجری و خطر سقوط ناگهانی آن هشدار داد و اصلاح لایه‌ی خارجی نمای آجری را در الویت قرار داد (Aksamija, 2009, 11). هان و همکاران نشان دادند که نمای سرامیکی تزئینی از نظر عملکرد زیست‌محیطی گزینه‌ی بهتری نسبت به دیوارهای پرده‌ای مانند شیشه، مرمر و آلومینیوم است که به‌طور گسترده استفاده می‌شوند (Han et al., 2008, 9). کیم در پژوهشی نشان داد که سیستم‌های نمای مرکب شفاف، تأثیرات زیست‌محیطی قابل توجهی نسبت به سیستم دیوار پرده‌ای شیشه‌ای دارند (Kim, 2011, 43). کاهات و همکارانش، در مطالعه‌ای از یک ابزار ارزیابی چرخه‌ی حیات برای مقایسه‌ی سیستم‌های دیوار خارجی مختلف برای یک ساختمان مسکونی یک طبقه با در نظر گرفتن طیف گسترده‌ای از شاخص‌های زیست‌محیطی و تأکید بر این که انتخاب بهترین سیستم دیوار باید بر اساس اثرات زیست‌محیطی چرخه‌ی زندگی کلی باشد تا اثرات زیست‌محیطی و فازهای فردی، استفاده نموده‌اند (Kahhat et al., 2009, 15). سینگه‌پوتانگ کول و همکاران با تکیه بر نتایج نظرسنجی و مصاحبه، ۱۸ معیار پایداری اجتماعی را شناسایی کردند که بر سطح رضایت ساکنان تأثیر می‌گذارند (Sustentável, 2013, 6). رحمان در سال ۲۰۲۱ در پژوهشی بیان کردند که بلوک‌های بتنی هواده‌ی اتوکلاو شده در مقایسه با آجرها با رسانایی حرارتی کم و مقاومت حرارتی بالا می‌توانند به‌طور هم‌زمان به‌عنوان دیوار و عایق ساختمان (بدون لایه عایق اضافی) عمل نمایند. این ممکن است یک‌راه حل برای کاهش پیک خنک‌کننده بدون به دام انداختن گرما در داخل ساختمان باشد (Rahman et al., 2021, 65). در مجله‌ی خصوصیات فیزیکی ساختمان‌ها را بررسی کرده و بیان نموده است که دیوارهای آجری با عایق‌های داخلی به‌عنوان دیوار خارجی گسترده در آب و هوای خنک در کنترل رطوبت پاسخ‌گو هستند، اما در بازه‌ی زمانی طولانی در کنترل نوسانات دمایی ضعیف عمل می‌کنند (Hens et al., 2007, 94). آذر کوچینک در پژوهشی بیان نمود که آجرهای دو جداره، عایق‌های حرارتی مناسبی هستند، اما ممکن است در دیوارهای گسترده‌ی خارجی، به‌کار بردن عایق رطوبتی قائم به راحتی قابل اجرا نیست (Korjenic, Zach, & Hroudova, 2016, 16). مگی نیز در پژوهشی بیان نمود که بلوک‌های سیمانی، سازگار با محیط زیست هستند و از مواد بازیافتی در ساخت آن‌ها می‌توان استفاده کرد چراکه مصرف انرژی را کاهش داده و عایق خوبی هستند (Sustentável, 2013, 21).



۲- مبانی نظری

۲-۱- نمای بهینه و ویژگی‌های مهم آن‌ها

نمای ساختمان بزرگ‌ترین جز سازنده بنا است و نقش مهمی در هدایت گرما بین محیط‌های داخلی و خارجی ایفا می‌کند (Moussavi Nadoushani, Akbar Nezhad & Jornet, 2017, 38). در تعدادی از مطالعات پیشین تلاش شده است تا اثرات اقتصادی چرخه‌ی زندگی نظام‌های مختلف نما و اثرات زیست‌محیطی چرخه زندگی ارزیابی شود (Nizovtsev, Belyi, 2014, 9). روش‌های اصلی برای طراحی نمای ساختمان‌های با عملکرد بالا عبارت هستند از: ایجاد سایه‌ی خورشیدی برای کنترل نوسان حرارتی و بهبود آسایش حرارتی، استفاده از تهویه‌ی طبیعی به منظور افزایش کیفیت هوا و کاهش نوسان‌ها (در شرایط آب‌وهوایی و برای ساختمان‌های با تهویه‌ی طبیعی)، بهینه‌سازی عایق خارجی و استفاده از نور روز و در نهایت، حداقل کردن انرژی مصرفی برای روشنایی مصنوعی و سرمایش مکانیکی و گرمایش (Aksamija, 2009, 1). اجزای اصلاحی مشتمل بر پنجره‌ها، دیوارهای پرده‌ای و شکاف‌ها عناصر مهم طراحی نما، هم از نظر زیبایی و هم از نظر عملکرد هستند (Lawton et al., 2008, 20). امروزه طراحی با ویژگی‌های حرارتی مصالح نمای ساختمان برای بهره‌وری انرژی ساختمان ضروری است. ویژگی‌های حرارتی مصالح ساختمانی از جمله انتقال حرارتی و مقدار کلی انتقال حرارتی معمولاً از عوامل محاسباتی حالت پایدار در ارزیابی عملکرد حرارتی نمای ساختمان و مصالح ساختمانی آن به‌ویژه در بهره‌وری انرژی محسوب می‌شوند (Abdul Nasir & Hassan, 2020, 13). در این مطالعه، یک روش با محاسبه‌ی دمای سطح خارجی یک دیوار چندلایه در معرض تغییرات روزانه دمای خارجی نظریه‌پردازی شده است. این مطالعه رابطه‌ی عمیق بین دمای اندازه‌گیری شده‌ی سطح خارجی و نوسانات دمایی در طول روز که یک عامل مهم در محاسبات محسوب می‌گردد را بررسی نموده است (Abdul Nasir & Hassan, 2020, 35). سیستم‌های دیوار خارجی مختلف که یک دیوار معمولی هوا-حفره است و با یک دیوار عایق اضافی (مثلاً پوشش چوب پنبه خارجی) یا یک دیوار با پانل‌های آجری خارجی ثابت در قالب‌های اکستروژده، نشان داده‌اند که عملکرد نسبی این سیستم‌ها، تابعی از شرایط آب و هوایی خارجی است (Belleir, Avantaggiato & Lollini, 2017, 111). دیوارهای آجری با حفره‌ی وسط به یک نوع دیوار خارجی گسترده در آب‌وهوای خنک اما مرطوب شمال غربی اروپا تبدیل شده‌اند که تحمل رطوبت را با ساختار پر نشده داشته و بسیار مناسب بوده‌اند. در مقابل، محاسبات و آزمایش‌ها تأکید کرده است که دیوارهای نما با حفره پر نشده در این دوره‌ی تاریخی از نظر عایق حرارتی ضعیف عمل می‌کرده است. پس از بحران انرژی در سال ۱۹۷۳، پر کردن حفره به‌عنوان روش اصلی برای ارتقاء عملکرد حرارتی معرفی شد (Hens et al., 2007, 97). نتایج نشان داد که عایق حرارتی و نمای کامپوزیت داخلی می‌تواند عملکرد عایق را داشته باشند. در این حالت، اندازه‌ی بهینه مربوط به ناودانی‌ها و حفره‌ی هوا قابل محاسبه است. علاوه بر این، طرح پراکنده‌ی حفره‌های هوا ظاهراً می‌تواند عملکرد عایق‌بندی کل سیستم حرارتی را بهبود بخشد. همه‌ی این نتایج مطالعه شده می‌تواند به طراحان کمک کند تا این سیستم را با دقت بیشتری اجرا کنند. استفاده از بلوک پانل‌های بتن پاشیده شده با اتوکلاو هزینه ساخت‌وساز را تا ۲۰٪ کاهش می‌دهد، زیرا کاهش بار مرده‌ی دیوار روی تیر باعث می‌شود تا نما نسبتاً سبک‌تر باشد. همچنین استفاده از بلوک پانل‌های بتن پاشیده شده با اتوکلاو نیاز به استفاده از مصالحی مانند سیمان و ماسه را تا ۵۰ درصد کاهش می‌دهد (Khandve & Rathi, 2015, 29). بلوک‌های پانل‌های بتن پاشیده شده با اتوکلاو با توجه به پایداری و پتانسیل بالقوه‌ای که دارند، مصالح سازگار با محیط‌زیست هستند. یکی از ویژگی‌های مهم نما، نسبت مساحت پنجره‌ها به مساحت دیوارها^۱ است. این نسبت عامل مهمی در افزایش گرمای خورشیدی نمای خارجی و مصرف انرژی است. در بیشتر موارد طول بیشتر نمای شیشه‌ای منجر به مصرف انرژی بیشتر می‌شود (ASHER, 2010, 14). سه شاخص کلیدی شناسایی شده در این مطالعه برای ارزیابی پایداری سیستم‌های نما از نظر استفاده از منابع طبیعی عبارت هستند از: تجدیدپذیری، قابلیت بازیافت و مقدار مضر بودن مصالح برای محیط‌زیست (Masri, 2015, 33). به نظر می‌رسد بین تأثیرات اجتماعی و تأثیرات زیست‌محیطی و اقتصادی رابطه‌ی معکوس وجود دارد (Korjenic, 2016, 19). در این مطالعه پوسته‌های ساختمان اکولوژیک بهینه به این صورت طبقه‌بندی می‌شوند:

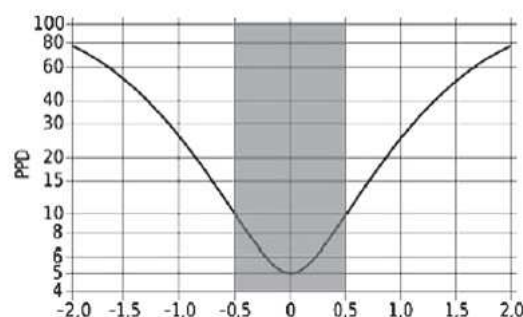
- نماهای تک پوسته: دیوارها، پنجره‌ها و سایه‌بان‌ها در طول قرن‌ها، به‌عنوان راهی برای کنترل سطح نور ورودی به یک ساختمان یا ایجاد حریم خصوصی به ساکنان مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Yilmaz, Binici & Ozcalik, 2016, 11).
- نماهای دوجداره (نماهای کریدور، ساختمان‌های با پوسته‌ی دو جداره و پنجره‌های چندلایه): برای رسیدن به یک سطح مشخص از کنترل خورشیدی در نمای تک‌لایه، می‌توان از پوشش‌هایی برای جذب و بازتاب نور در محدوده مرئی استفاده کرد.



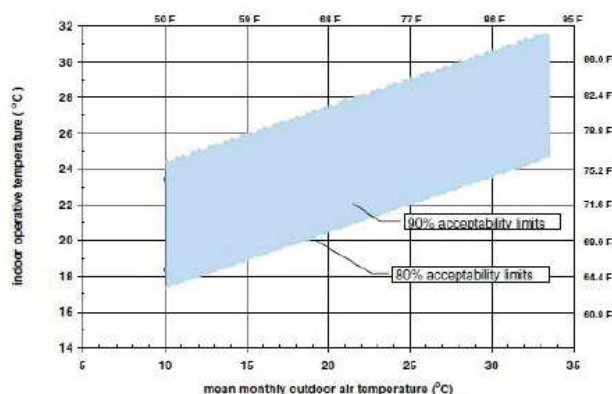
- نماهای ترکیبی (ترکیب نماهای دوجداره با مصالح بهینه و سنسورهای حساس به نور): رطوبت که در بین جداره‌ها قرار می‌گیرد، آن‌ها را در برابر تأثیرات آب‌وهوا و آلودگی هوا محافظت می‌کند (Poirazis, 2004, 21).

- انواع نماهای دوپوسته: فضاهای داخلی یا حفره‌ی کاملاً بسته؛ فضای داخلی دارای یک سیستم تهویه‌ی مکانیکی؛ فضاهای باز خالی. انواع نماهای دوجداره از لحاظ پوسته مشتمل بر نمای دوقلو؛ نمای حائل (محافظ)؛ نمای هیبریدی (ترکیبی) است که الحاق هوش در طراحی آن‌ها یک روش مؤثر برای رسیدن به ساختمان‌های کم انرژی است.

در دسته‌های نمای معرفی شده سه استراتژی بررسی می‌شوند: اولی وابستگی به سیستم‌های فعال و عملکرد عنصر است، دومی صرفاً استراتژی‌های طراحی منفعل هوشمند را اجرا می‌کنند، درحالی‌که سومی استراتژی‌های طراحی منفعل را با ادغام اولیه‌ی عناصر فعال ترکیب می‌کند (Belleir, Avantaggiato & Lollini, 2017, 669). روش‌های بهینه‌سازی عملکرد حرارتی به‌صورت زیر بررسی می‌شوند: حداکثر کردن نور روز (به‌عنوان مثال، تابش با ارتفاع کامل / آتريا)؛ حفاظت (به‌عنوان مثال، دریچه / کرکره)؛ عایق (به‌عنوان مثال پنجره‌های زمانی شب)؛ تهویه (به‌عنوان مثال عایق‌های خودکار) (Nikolaou, 2013, 7). اما در بررسی زیبایی‌شناسی، سه معیار مرتبط با زیبایی‌شناسی شامل اصالت، تعادل و کنار هم قرارگیری متناسب مصالح مورد توجه است. در اینجا تحلیل اشکال و تناسبات، رنگ، مصالح، تزئینات، قدمت و سبک نماهای ساختمانی منتخب مورد نظر است. مفهوم شکل در معماری، پیکر، ریخت و کالبد است؛ حدود مستقلى که در سطوح ابنیه به‌وضوح قابل تشخیص باشد (Hausladen, 2008, 16). کنترل نوسانات دمایی به‌عنوان فعالیت‌های ایجاد آسایش شناخته می‌شود. در مطالعات میدانی، احساس حرارتی کاربران باید به معیاری که معرفی کننده آب‌وهوای محیط باشد، ارتباط داده شود. معیار اکولوژیک نما در طول زمان در مطالعات مختلف، متفاوت بوده است. از جمله این معیارها متوسط آرا پیش‌بینی شده (پی.وی.ام.^۲) و آراء میانگین واقعی ای.ام.وی.^۳، دمای هوای داخلی و دمای خارجی است. برخی از معیارها مانند دمای مؤثر یا دمای عامل، پیچیده‌تر بوده و عوامل محیطی مختلفی را شامل می‌شوند. جزئیات مربوط به محاسبه این عوامل و شرایط به‌کارگیری آن‌ها در راهنمای مرجع اشری^۴ بیان شده است (Eren & Erturan, 2008, 89).



تصویر ۱- ارتباط متوسط آرای پیش‌بینی شده (پی.وی.ام.) و درصد ناراضیاتی پیش‌بینی شده (پی.پی.دی.^۵) (Ortony, Norman & Revelle, 2005)



تصویر ۲- آسایش حرارتی تطبیقی بر اساس استاندارد اشری (Eren & Erturan, 2008)

۲-۲- معیارهای پایداری و مشخصه‌های مصالح بهینه

پایداری، مستلزم تعادل بین اثرات اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی تصمیمات طراحی و برنامه‌ریزی است. از سوی دیگر، قابلیت حیات اقتصادی یکی از مهم‌ترین الزامات پروژه موفق در عمل است (ASHER, 2013). راه‌حل‌های بازیافت منابع و اقتصادی بر مبنای سهولت و جایگزینی مورد توجه بوده است (Cordell Housing, 2014).

– بلوک‌های آجری و بتنی و کاشی‌های سرامیکی: سنگ‌های خرد شده شهرهای اطراف در جاده‌های درجه‌ی پایین با بتن بازیافتی و آجر جایگزین می‌شوند. در نتیجه، به دلیل سهولت بازیافت بلوک‌های آجری و بتنی با استفاده از فناوری مورد توجه قرار گرفته است (Australian Building Codes Board, 2015).

– پانل کامپوزیت (آلومینیوم و پلاستیک): به دلیل پتانسیل بازیافت بسیار بالای واریزه‌های آلومینیوم در عمل، قابلیت بازیافت پانل‌های ترکیبی چندلایه در نظر گرفته شده است.

– پانل‌های بتن پاشیده شده با اتوکلاو: این پانل‌ها را می‌توان به صورت توده‌های قابل بازیافت نیز در نظر گرفت (Attia, 2017, 6). نگهداری آن‌ها آسان و عموماً هزینه‌ی پایینی برای اجرا دارند. همچنین تأثیرات زیست‌محیطی نسبتاً پایینی نیز دارند (Sustentável, 2013, 6).

سازگاری با آب‌وهوا معیاری اجتماعی به حساب می‌آید و تأثیر آب‌وهوا بر ظاهر مصالح نما را در نظر می‌گیرد. تغییرات نامطلوب ظاهر ممکن است شامل لکه‌های نامطلوب، شوره و ترک ناشی از قرار گرفتن طولانی‌مدت در معرض شرایط آب‌وهوایی خاص باشد. منابع طبیعی معمولاً به منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تقسیم می‌شوند (Klinglmaier, Sala & Brandão, 2011, 3). در مقیاس جهانی، ذخیره‌ی اکثریت مصالح ساختمانی معمول مانند سنگ‌دانه‌ها، خاک رس، آهک و... زیاد است. با این حال، ممکن است این مسئله در مقیاس منطقه‌ای درست نباشد و بنابراین حذف و عدم استفاده از یک منبع طبیعی باید در چارچوب در دسترس بودن منابع منطقه‌ای تفسیر شود (Ruuska & Häkkinen, 2014, 26). مصالح نما مانند خاک رس، بتن و آلومینیوم در گروه منابع تجدیدپذیر قرار می‌گیرند. بازیافت مصالح ساختمانی با کاهش اثرات منفی پایان عمر مصالح ساختمانی، به طور قابل توجهی به پایداری در ساخت‌وساز کمک می‌کند. بازیافتی که عمدتاً با کاهش نیاز به استخراج منابع طبیعی از طریق در دسترس قرار دادن مواد بازیافتی جایگزین، کاهش مصرف انرژی و انتشار کربن در حمل‌ونقل مواد زائد به محل دفن زباله و حفظ فضای محل دفن زباله، به پایداری کمک می‌کند (Habert et al., 2012, 364). با در نظر گرفتن این موضوع، قابلیت بازیافت مواد تشکیل‌دهنده به عنوان یک شاخص مهم پایداری در انتخاب سیستم‌های نما در نظر گرفته می‌شود. یک معیار قابل اعتماد برای قابلیت بازیافت آن است که منافع قابل دسترس با کاهش اثرات زیست‌محیطی نهایی مصالح در نظر گرفته شود. چندین روش برای ارزیابی انتقادی بودن منابع مصالح و لیست منابع مواد حیاتی شناسایی شده با استفاده از این روش‌ها توسط آژانس‌های مختلف از جمله گروه اروپا و شورای تحقیقات ملی (Akbarnezhad et al., 2013, 12) گزارش شده است. بر اساس بحث بالا، قابلیت بازیافت به عنوان یک شاخص متمایزکننده انتخاب شده که نشان‌دهنده‌ی پایداری منابع است. معیار مقایسه سیستم‌های نما در این پژوهش در نظر گرفته شده است. هزینه‌های چرخه‌ی زندگی پایداری مستلزم تعادل بین اثرات اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی تصمیمات طراحی و برنامه‌ریزی است. دیدگاه نسبت به زیبایی یک سیستم نمای خاص ممکن است به طور قابل توجهی از فردی به فرد دیگر متفاوت باشد و زیبایی‌شناسی را به یک شاخص بسیار ذهنی تبدیل کند (Dodoo, Gustavsson & Sathre, 2012, 462). یک ساختمان باید با محیط اطراف خود سازگار باشد و نباید در هویت، سبک، شکل و محیط اطراف خود اختلال ایجاد کند. با در نظر گرفتن این موضوع، تناسب با مکان به عنوان یک معیار مهم با تأثیر اجتماعی شناخته می‌شود. همانند زیبایی‌شناسی، تناسب با مکان ممکن است به عنوان یک معیار ذهنی در نظر گرفته شود و نیاز به بررسی ادراکی آن توسط کاربران باشد (Osada, 1988, 407). تخلخل بتن و در نتیجه خطر حمله‌ی نمکی در این نوع از نما و استفاده از نمای رنگی منجر به وجود زیاد لکه‌ها می‌شود (Rodriguez Navarro, Doehne & Sebastian, 2000, c). در حالی که همین مشکل در مورد پانل‌های بتن پاشیده شده با اتوکلاو نیز صدق می‌کند. از سوی دیگر در نمای آجر، حضور لکه بر روی نماهای آجری معمولاً کم‌تر اتفاق می‌افتد، زیرا نمای آجری با رنگ تمام نمی‌شود. در این میان پانل‌های کامپوزیتی ساخته شده با آلومینیوم مقاومت نسبتاً خوبی در برابر حمله‌ی نمک نشان می‌دهند اما مستعد خوردگی هستند. نتایج بررسی نشان می‌دهد که کاشی‌های سرامیکی که در دمای بسیار بالا تولید می‌شوند و تخلخل پایینی دارند، متحمل کم‌ترین تخریب ظاهری را در میان گزینه‌های مختلف نمای خارجی دارند (Timoshenko, 2013, 6). در جدول زیر معیارهای پایدار که در انتخاب مصالح نما تأثیر دارند، ارائه می‌شوند.

جدول ۱- معیارهای پایدار برای انتخاب مصالح نما (Moussavi Nadoushani, Akbar Nezhad & Jornet, , 2017, 36)

منافع اجتماع	کارایی	هزینه‌های چرخه زندگی	اثرات زیست محیطی
زیبایی‌شناسی	وزن	هزینه مواد	انرژی مجسم شده و انتشار کربن
مناسب بودن برای محل	مقاومت حرارتی	هزینه کارگران	بار گرمایشی
مناسب بودن برای اقلیم	حجم گرمایی	هزینه حمل و نقل	بار سرمایشی
-	عایق صدا	هزینه نگهداری	پایداری منابع
-	مقاومت در برابر پوسیدگی	هزینه طراحی	-

براساس جدول فوق، در این پژوهش از ۴ معیار معرفی شده، نویسندگان چندین معیار مهم را به‌عنوان معیارهای موثر بر نمای مطلوب براساس هدف تعیین شده‌ی پژوهش انتخاب کردند. در ابتدا مناسب بودن برای اقلیم، به‌عنوان عامل موثر انتخاب شد تا حداقل نوسانات دمایی مدنظر قرار گیرد. همچنین ذیل موضوع کارایی، مقاومت حرارتی و عایق صدا انتخاب شدند تا بتوان براساس آنها عملکرد حرارتی در نمونه‌ی طراحی شده پژوهش (ساختمان مدرسه) پیش‌بینی شود و از به‌وجود آمدن نویز در منطقه‌ی شهری تا حد مناسبی پیشگیری گردد. همچنین از هزینه‌های چرخه‌ی زندگی مصالح نما به‌دلیل تاثیر نهایی یکسان در سه عامل موثر (هزینه‌ی مواد، حمل‌ونقل و طراحی) برای نماها صرف نظر شد و در نهایت ذیل اثرات زیست‌محیطی، بار گرمایشی و سرمایشی به‌دلیل تعیین مقدار انرژی مصرف شده و تاثیر بر ضخامت عایق‌ها بررسی شد.

۳- روش‌شناسی

روش این پژوهش ترکیبی است. در این پژوهش ابتدا با گردآوری داده‌ها از طریق مطالعه‌ی کتابخانه‌ای اطلاعات موجود در رابطه با عوامل موثر بر مطلوبیت نما متأثر از مصالح قابل دسترس و بهینه بررسی شد. پس از بررسی و جستجوی نمونه‌های مشابه و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به عوامل موثر نمای بهینه در کیفیت فضاهای شکل گرفته، دو معیار موثر بر پایداری (مقاومت حرارتی، ضریب هدایت حرارتی) و معیار کاهش صدا انتخاب گردید. سپس شبیه‌سازی پنج نمونه نما از مصالح موجود در دسترس شهر سنجند با الویت دادن به سه معیار فوق در شبیه‌ساز دیزاین بیلدر انجام شد. برای این منظور مدرسه‌ای طراحی شد و به‌عنوان نمونه‌ی مطالعاتی بررسی و شبیه‌سازی شد. این مدرسه، فضای آموزشی با ۱۲ کلاس برای دانش‌آموزان پسر در مقطع دبستان است که با هدف ارتقا آسایش زیست‌محیطی نمای بهینه با توجه به مصالح موجود واقع در سنجند طراحی شد. موقعیت مکانی این فضا در شهرک زاگرس، خیابان آبیدر در منطقه دو شهرداری سنجند بوده و فضایی برای رشد و کسب مهارت کودکان در حیطه‌ی آموزشی است.

در ادامه به‌صورت پیمایشی در مورد زمینه‌های مفهومی و عملیاتی طراحی نمای بهینه بر اساس مصالح موجود از تکنیک ای.اچ.پی. برای اولویت‌بندی استفاده شد. این روش با تعریف سلسله‌مراتب مسئله‌ی تصمیم‌گیری به چهار سطح (۱ هدف ۲) معیار ۳) زیرمعیار ۴) گزینه‌های تصمیم‌گیری بر اساس الزامات فرآیند سلسله‌مراتبی تحلیلی آغاز می‌شود. انتخاب این تکنیک به‌دلیل رویکرد سلسله‌مراتبی آن برای شناسایی اهمیت نسبی معیارهای مختلف در مقایسه با دیگر روش‌های تصمیم‌گیری بوده است (Ertura, 2011, 19). در این تکنیک، تخصیص وزن به گزینه‌های مختلف بر اساس اهمیت در عملکرد حرارتی است. فرآیند با تهیه فهرست اولیه معیارها و زیرمعیارهای مطابق با متون موجود آغاز می‌شود. سپس پرسش‌نامه بر اساس معیارهای جمع‌آوری شده تنظیم و در میان گروهی از متخصصان درگیر در پروژه توزیع شد (جدول ۲) تا دیدگاه آن‌ها در مورد معیارها و زیرمعیارها که باید در انتخاب مصالح سیستم‌های نما مدنظر قرار گیرد، تعیین شود. اهمیت مقایسه‌ای دوبه‌دو معیارهای مختلف رتبه‌بندی شده با استفاده از مقیاس که به سه دسته‌ی اصلی اثرات زیست‌محیطی، هزینه‌ی چرخه‌ی عمر (اقتصاد) و عملکرد تقسیم شده‌اند انجام و همچنین ضریب عوامل موثر در مرحله‌ی نهایی، معیارهای شناسایی شده و داده‌های مقایسه‌ی زوجی به روش ای.اچ.پی. انجام شدند.

جدول ۲- ویژگی‌های فردی مشارکت‌کنندگان



شماره	موقعیت شغلی	تخصص افراد	سابقه‌ی کار
۱	معمار ارشد پایه یک	مهندس پایه یک طراحی و نظارت و اجرا	۱۵
۲	معمار ارشد پایه یک	استادیار دانشگاه سنج و طراح پایه یک	۱۲
۳	معمار مدیریت پروژه	دانشیار دانشگاه آزاد سنج و طراح پایه یک	۱۴
۴	معمار منظر	معمار منظر	۸
۵	مدیر ساخت	مدیر پروژه	۶
۶	مهندس ساختمان	مهندس طراح دیتیل اجرایی و نظارت	۱۰
۷	مهندس سازه	سازه ساختمان	۱۲

تصویر ۳- پلان مدرسه طراحی شده در سنج جهت تحلیل



۱. لابی

۲. راهرو

۳. اداری

۴. کلاس ها

۵. سرویس بهداشتی

۶. پذیرش

۷. کتابخانه

۸. کارگاه

۹. سرویس بهداشتی ورزشی

۱۰. رختکن

۱۱. سالن ورزشی

۴- تحلیل

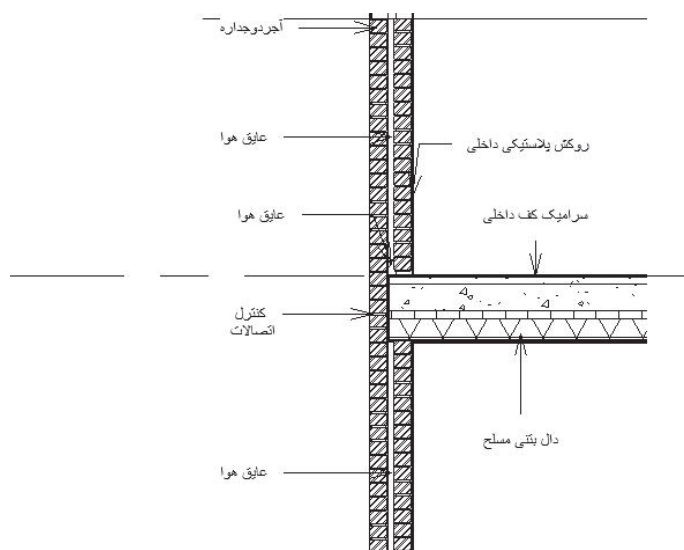
در این بخش در نمونه‌ی مطالعاتی انتخابی (مدرسه‌ی طراحی شده)، پنج گزینه‌ی عملی که در ادامه شرح داده می‌شود، برای نمای خارجی در یک ضخامت یکسان سی سانتی‌متر پیشنهاد شدند. گزینه‌ها از میان مصالح موجود محلی با توجه به مناسب بودن از حیث محیط‌زیست و پیچیدگی‌های ساخت‌وساز در نظر گرفته شد. در جداول پیش‌رو ویژگی‌های نماهای منتخب برای تحلیل ارائه شده است.

الف) آجرکاری دوطرفه با حفره‌ی هوای داخلی: بازسازی نما با استفاده از همان سیستم و مصالح به‌عنوان یکی از جایگزین‌های تصمیم‌گیری در نظر گرفته شد.

جدول ۳- ویژگی‌های مصالح نمای اول

ضخامت مصالح استفاده شده (متر)	مصالح نمای اول
۰.۱۲	آجر خارجی
۰.۰۵	عایق هوا
۰.۱۲	آجر داخلی
۰.۰۱	روکش پلاستیکی داخلی
۰.۰۳	ضخامت کل دیوار خارجی

تصویر ۴- جزئیات اجرایی نمای اول



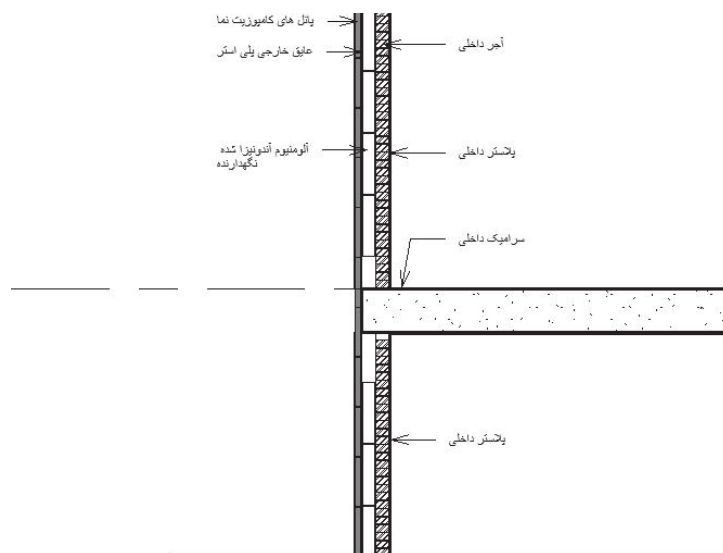
ب) پانل کامپوزیت آلومینیوم با عایق خارجی: پانل‌های پیشنهادی توسط دو ورق آلومینیوم آندایز شده در هر دو طرف پانل با یک هسته‌ی پلاستیکی داخلی شکل گرفته‌اند. تمامی پانل‌ها بر روی یک زیرسازه‌ی آلومینیومی مونتاژ شده و در هر سطح به بتن فیکس می‌شوند. استفاده از این نوع از پانل‌های کامپوزیت، ظاهر جدیدی برای ساختمان ایجاد می‌کند، عملکرد عایق، نمای خارجی را بهبود می‌بخشد و وزن تحمیل شده بر سازه را در مقایسه با آجرکاری دوجداره کاهش می‌دهد.

جدول ۴- مصالح نمای دوم



ضخامت مصالح استفاده شده (متر)	مصالح نمای دوم
۰،۰۵	بلوک بتنی
۰،۰۲	عایق هوا
۰،۱۱	لایه آجر
۰،۱۱	عایق حرارتی بافریم فلزی
۰،۰۱	روکش پلاستیکی داخلی
۰،۰۳	ضخامت کل دیوار خارجی

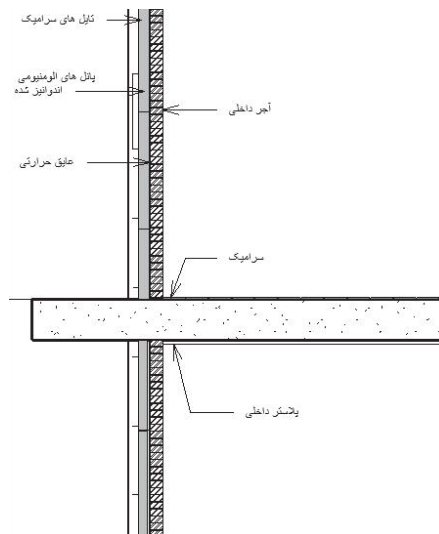
تصویر ۵- جزئیات اجرایی نمای دوم



ج) روکش سرامیک با عایق خارجی: تفاوت دما بین پوسته‌ی بیرونی و داخلی یک نمای دوجداره با یک حفره هوا می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی در مصرف انرژی گرمایش در زمستان و انرژی خنک کننده در تابستان مادی که نما با تهویه و سیستم‌های سایه برای حفره ایجاد می‌شود، صرفه‌جویی ایجاد کند (Hammond & Jones, 2006, 580).

جدول ۵- مصالح نمای سوم

ضخامت مصالح استفاده شده (متر)	مصالح نمای سوم
۰،۱۱	آجر مسلح
۰،۰۴	عایق هوا
۰،۰۱	عایق حرارتی بافریم فلزی
۰،۰۵	تایل‌های سرامیکی
۰،۰۳	ضخامت کل دیوار خارجی

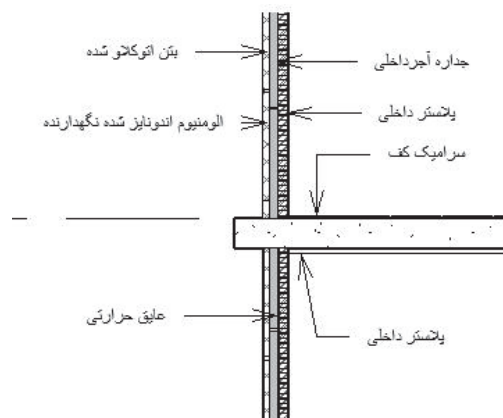


تصویر ۶- جزئیات اجرایی نمای سوم

د) پانل های بتن پاشیده شده با اتوکلاو: این پانل ها نسبت به راه حل های سنتی مانند آجرکاری یا بلوک های بتنی، سبک وزن و دارای بازدهی انرژی بالا بوده و عملکرد گرمایی بهتری دارند. مزایای دیگر این نما شامل سهولت نصب و عمر طولانی است. این پانل ها معمولاً با یک پوشش بدون چربی به پایان می رسند و ظاهر یکنواختی دارند.

جدول ۶- مصالح نمای چهارم

ضخامت مصالح استفاده شده (متر)	مصالح نمای چهارم
۰،۰۷۵	بلوک بتنی اتوکلاو
۰،۱	عایق حرارتی با فریم فلزی
۰،۰۰۱	عایق هوا
۰،۰۱۱	آجر داخلی
۰،۰۰۵	روکش پلاستیکی
۰،۰۳	ضخامت کل دیوار خارجی



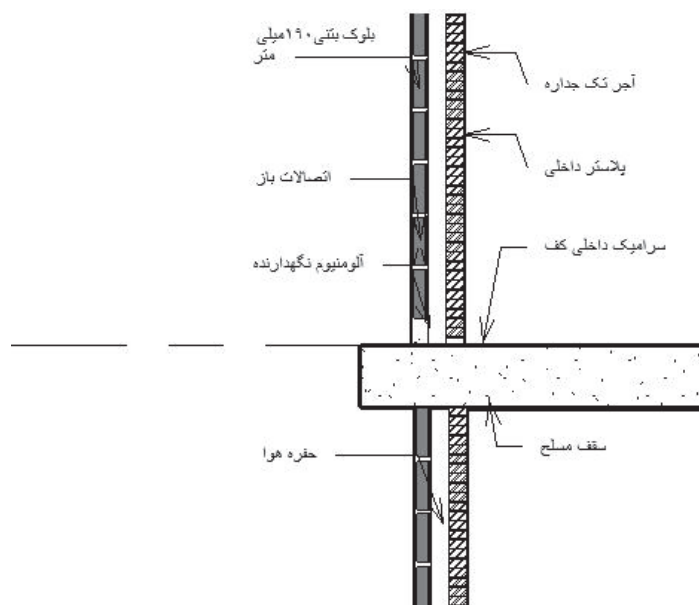
تصویر ۷- جزئیات اجرایی نمای چهارم



۵) بلوک‌های بتنی با عایق‌بندی بین هر دو ورق سنگ: این نما شامل یک لایه سنگ از بلوک‌های بتنی بین دال‌ها است که با سیمان خارجی تمام می‌شود و معمولاً رنگ می‌شود. به دلیل سهولت ساخت‌وساز، این گزینه به‌طور کلی به‌عنوان یک راه‌حل کم‌هزینه در نظر گرفته می‌شود. با این حال، این سیستم نمای خارجی تمایل دارد که بار بزرگ‌تر را بر سازه تحمیل کند و در نتیجه معمولاً نیاز به یک امتداد تیغه برای پشتیبانی از کار مسدود کننده دارد.

جدول ۷- مصالح نمای پنجم

ضخامت مصالح استفاده شده (متر)	مصالح نمای پنجم
۰.۰۱	ترکیب سیمان و گچ
۰.۰۰۹۴	قاب آلومینیومی
۰.۰۰۰۵	عایق هوا
۰.۰۱	آجر داخلی
۰.۰۰۰۱	روکش پلاستیکی
۰.۰۳	ضخامت کل دیوار خارجی



تصویر ۸- جزئیات اجرایی نمای پنجم

۴-۱- داده‌های اولیه در سه معیار منتخب در پژوهش

برای به‌دست آوردن داده‌های اولیه از پنج نمای منتخب بر اساس مصالح موجود، شبیه‌سازی براساس سه معیار ضریب هدایت حرارتی، مقاومت حرارتی و شاخص کاهش صدا در دیزاین بیلدر برای پوسته‌ی مدرسه‌ی طراحی شده، بایش فرض ضخامت یکسان در کل نما و تحلیل در ساعات مشابه صورت گرفت.

جدول ۸- نمونه‌ی داده‌های اولیه نمای در دیزاین بیلدر

نما	ضریب هدایت حرارتی	مقاومت حرارتی	شاخص کاهش صدا	انرژی بهینه کل
نمای اول	۰,۴۶۶	۲,۱۴۶	۴۴	۲۱۸۷۹۷۲
نمای دوم	۰,۲۵۹	۳,۸۶۴	۲۶	۲۰۲۶۳
نمای سوم	۰,۳۰۲	۳,۳۰۹	۳۰	۲۰۵۶۳
نمای چهارم	۰,۲۵۰	۴,۰۰۳	۵۵	۵۲۸۷۲
نمای پنجم	۱,۷۴۴	۰,۵۷۳	۵۰	۵۹۰۱۶

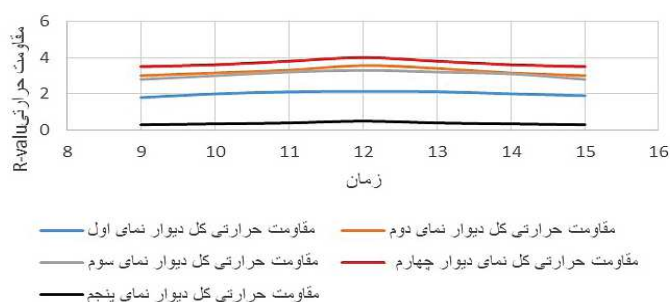
۵- یافته‌ها و بحث

به‌دلیل ویژگی‌های فنی، مصالح ساختمانی، عملکردهای حرارتی متفاوتی در ساختمان و محیط اطراف آن دارند. در این مطالعه، بر اساس نتایج انجام شده و مقالات موجود، سه شاخص عملکرد مشتمل بر: مقاومت در عایق حرارتی، جرم حرارتی، عایق صوتی برای کاربرد در پروژه مورد ارزیابی قرار گرفتند. با توجه به بخش حداقل‌های انرژی در نظام مهندسی از کد ساختمان سندج، خواص گرمایی مصالح نما می‌تواند به‌طور قابل توجهی بر مقدار انرژی مورد استفاده در طول مرحله‌ی بهره‌برداری ساختمان برای حفظ دمای داخلی آن در محدوده‌ی آسایش تأثیر گذارد. در این مطالعه، مقاومت حرارتی و جرم حرارتی برای مقایسه‌ی عملکرد حرارتی سیستم‌های مختلف نمای خارجی انتخاب شدند. مقاومت گرمایی معیاری برای مقاومت ماده در برابر جریان گرما از طریق سرکوب هدایت، همرفت و تابش است. این معیار، تابع هدایت گرمایی ماده، ضخامت و چگالی است. از سوی دیگر، جرم گرمایی معیاری از قابلیت مواد برای ذخیره گرما است. هنگامی که در یک ساختمان با عایق خوب استفاده می‌شود، جرم گرمایی می‌تواند به‌طور قابل توجهی نیاز به گرمایش و سرمایش اجباری را با به حداقل رساندن نوسانات در دمای داخلی ساختمان کاهش دهد (Boin & Bertram, 2005, 49). مقاومت حرارتی کل ساختمان برای پنج نمای مد نظر مشتمل بر نمای اول ۲,۱۴۶، نمای دوم ۳,۸۶۴، نمای ۳,۳۰۹، نمای چهارم ۴,۰۰۳ و نمای پنجم ۰,۵۷۳ محاسبه شده است. آلودگی صوتی، راحتی محیط داخلی را کاهش می‌دهد و تأثیر منفی بر سلامت ساکنان می‌گذارد. در این مطالعه، ویژگی‌های صوتی یک لایه‌ی نما با جایگزین مصالح مختلف مشخص شده از لحاظ شاخص کاهش صدا براساس مقیاس دسی‌بل، اندازه‌گیری شده و برای مقایسه‌ی عملکرد کاهش نویز سیستم‌های مختلف نما استفاده می‌شود. شاخص کاهش صدا برای نماها مختلف به این شرح است: در نمای اول، ۴۴ دسی‌بل؛ نمای دوم، ۲۶ دسی‌بل؛ نمای سوم، ۳۰ دسی‌بل؛ نمای چهارم ۵۵ دسی‌بل؛ و نمای پنجم ۵۰ دسی‌بل. از سوی دیگر، مدول الاستیسیته به‌عنوان معیاری برای مقاومت مصالح نما در برابر تغییر شکل انتخاب شده است (RSMeans, 2015, 13). مدول الاستیسیته توانایی یک ماده‌ی جامد برای بازگشت به شکل و اندازه‌ی اصلی خود پس از حذف بار اعمال شده که منجر به تغییر شکل مشخص می‌شود را دارد (Australian Building Codes, 2015, 150).

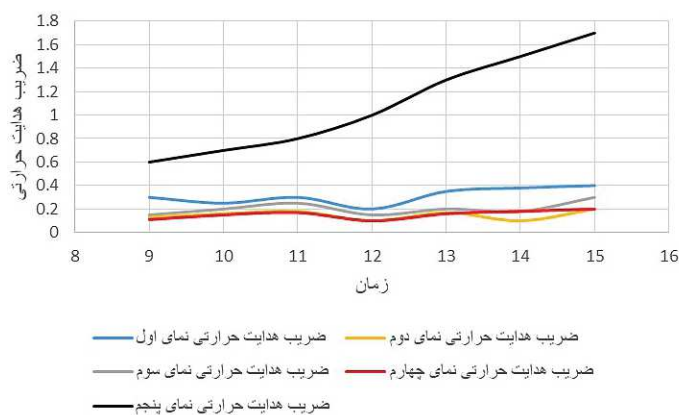
با توجه به محاسبه ظرفیت گرمای داخلی دیوارهای هر نما که از ساعت ۹ صبح تا ۱۲ ظهر بررسی شده، می‌توان بیشترین مقدار در رابطه با هر نما در ساعت ۱۲ ظهر را به‌این‌ترتیب مشاهده نمود: مقدار ظرفیت گرمای داخلی دیوار در نمای چهارم و پنجم به ترتیب ۱۵۷۲۰۶ و ۱۶۰۴۶۵؛ نمای سوم، ۴۷۰۷۵؛ نمای دوم ۸۳۲۳۰؛ و نمای اول ۸۵۶۰۰ ثبت شده است. با توجه به پیوست سوم مبحث نوزده مقررات ملی، شهر سندج با جمعیتی زیر یک میلیون نفر در رده‌ی شهرهای متوسط با انرژی سالانه‌ی متوسط است. با این توضیح و با توجه به اینکه سایت مطالعاتی مربوط به کاربری آموزشی است، انرژی زیاد عملکرد حرارتی، در نمای پنجم الویت ندارد.



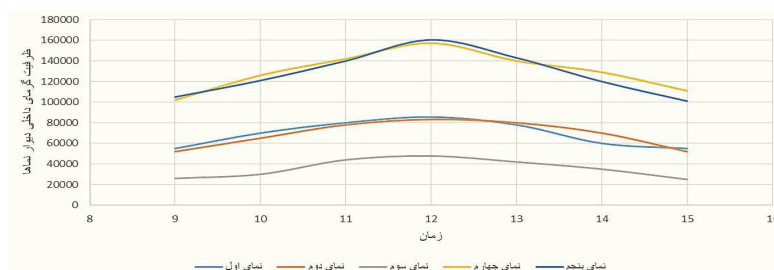
با شبیه‌سازی‌های انجام شده در دیزاین بیلدر و نمودار مقاومت حرارتی مصالح در پنج نمای منتخب (تصویر ۹) و نمودار ضریب هدایت حرارتی (تصویر ۱۰)، با در نظر گرفتن حداقل مقاومت حرارتی مصالح در سندج که معادل ۰٫۹ است، در نمای بتن اتو کلاو شده، حداقل ضریب هدایت حرارتی مؤثر ۰٫۱۸ و حداکثر معادل ۰٫۲۵ است. بیشترین تا کمترین ضریب هدایت حرارتی به ترتیب متعلق به نمای پنجم با مقدار عددی ۱٫۴۴۴؛ نمای سوم با مقدار ۰٫۳۰۲؛ نمای دوم با مقدار ۰٫۲۵۹ و در نهایت کمترین مقدار متعلق به نمای اول با مقدار ۰٫۴۶۶ است. با توجه به انطباق تمامی مصالح نما که در این مطالعه با مقررات ایمنی و سلامت دقیق ایران در نظر گرفته شد، مشخص گردید که بهداشت و ایمنی تأثیری در تمایز جایگزین‌های مختلف نداشته و بنابراین از فرآیند تحلیل حذف شده است.



تصویر ۹- مقاومت حرارتی پنج نمای منتخب



تصویر ۱۰- ضریب هدایت حرارتی پنج نمای منتخب



تصویر ۱۱- ظرفیت گرمایی داخلی دیوار نماهای منتخب

از سوی دیگر، به دلیل تأثیر مستقیم عرضه‌ی محلی در کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل که قبلاً در نظر گرفته شده، عرضه محلی برای جلوگیری از تکرار حذف شد. با در نظر گرفتن همه‌ی معیارهای انرژی بهینه، این معیار در پنج نمای منتخب به صورت زیر به دست آمده است: نمای اول ۲۱۸۷۹؛ نمای دوم ۲۰۲۶۳؛ نمای سوم ۲۰۵۶۳؛ نمای چهارم ۵۳۸۷۲ و مقدار عددی انرژی بهینه در نمای پنجم دارای ۵۹۰۱۶ است.



همانند بلوک‌های آجری و بتنی، پانل‌های بتن پاشیده شده با اتوکلاهای مواد سمی نبوده و بنابراین بازیافت راحت‌تری دارند. برای محاسبه انرژی بهینه هر نما، ابتدا سطح داخلی و خارجی، بدون محاسبه‌ی پل خارجی تحلیل و مشخص شد که بتن اتوکلاو شده در نماها در اقلیم سرد و خشک مقاومت حرارتی بالاتری را در طول روز تجربه می‌کند. برای سطح داخلی فاکتور ضریب جابه‌جایی گرما به‌صورت (همرفت، تابش و مقاومت) در نظر گرفته شد که سرامیک‌ها بیشترین مقدار و بتن‌های اتوکلاو شده، کمترین مقدار را نشان دادند. برای محاسبه‌ی پل حرارتی هر کدام از نماهای معرفی شده بر مبنای دو معیار مقاومت و ضریب هدایت سطح به سطح در هر نما بررسی شد که معیارهای ظرفیت گرمایی هر کدام از مصالح و حد مقاومت بالا و حد مقاومت پایینی آن‌ها در آجر، سرامیک، بلوک‌های بتنی اثر داده شد. اتوکلاوها تغییرات طیف مقاومت مصالح و نوسانات کمتری را در طول روز تجربه کرده‌اند. بنابراین برای پوسته‌های سرتاسری در اقلیم‌های سرد و خشک مشابه و همین‌طور نوسانات دمایی حداکثر ده درجه، اتوکلاها پیشنهاد می‌شوند.

۶- نتیجه‌گیری

به‌دلیل کمبود انرژی و اهمیت مسائل محیط‌زیست، توجه به بهینه‌سازی ضروری است در این پژوهش تمرکز بر مصالح نما مورد توجه قرار گرفته است. در این مطالعه با اولویت دادن به کیفیت آسایشی فضا از طریق عملکرد حرارتی مصالح در پوسته‌های سرتاسری ساختمان به‌صورت چند ترکیبی از مصالح قابل دسترس و مورد استفاده در پوسته‌های خارجی و داخلی، بررسی‌ها انجام شد. سناریوهای پیشنهادی در بستر شهر سنج با توجه به سیستم ارزیابی نمای پایدار مورد توجه بود که با افزایش کیفیت دمای آسایشی در فصول سرد به‌خصوص در فضاهای بزرگ روبه‌رو بوده است. این نماها با عملکردهای منحصربه‌فرد در سه معیار نگهداری و انتقال انرژی و همین‌طور کیفیت صدا پیشنهاد شده‌اند. پایداری پنج سیستم نمای رایج مورد استفاده در ایران و شهر سنج از جمله آجر دو جداره، پانل‌های ترکیبی، روکش سرامیک، پانل‌های بتن اتوکلاو شده در نماها و بلوک‌های بتنی بر اساس معیارها و وزن‌های اهمیت به‌دست آمده از طریق پرسش‌نامه‌ی متخصصین شبیه‌سازی و ارزیابی شد. بعد از جمع‌آوری معیارها و زیرمعیارهای منتخب و همچنین وزن اهمیت آن‌ها در عملکرد حرارتی نتیجه نشان داد که نمای پیشنهادی چهارم که بر اساس اتوکلاوها طراحی شده است نه تنها می‌تواند در حدود ۱۲ درصد در کیفیت انرژی بهینه (نگهداری بیشتر و انتقال کمتر در فصول سرد و بهترین عملکرد حرارتی در ساعات ۹ صبح تا ۱۲ بعد از ظهر) نسبت به آجر دوجداره، نماهای سرامیکی، پانل‌های کامپوزیت و بلوک بتنی ۱۹۰ میلی‌متری تأثیرگذار باشد، بلکه مزایای مانند کاهش صدا را تا حدود بسیار مناسبی پاسخگو بوده است. روش نشان داده شده از طریق مطالعه‌ی موردی ارائه شده می‌تواند توسط تصمیم‌گیران و مجریان برای حل مؤثر مشکل عملکرد حرارتی برای مقیاس ساختمان استفاده شود. لازم به‌ذکر است که معیارها و وزن‌های ارائه‌شده در این مطالعه برای پروژه‌ی آموزشی ارائه شده بوده و تعمیم آن‌ها برای پروژه‌های دیگر باید قبل از استفاده ارزیابی شود. بدیهی است پژوهش‌های بیشتری برای توسعه‌ی معیارهای کمی قابل اطمینان‌تر و عینی‌تر برای تعدادی از معیارهای پایداری شامل تناسب با مکان و تجدیدپذیری مورد نیاز است.

پی‌نوشت

- 1- (WWR) Windows to wall weight ratio
- 2- predicted medium of vote
- 3- AMV (Actual Mean Vote)
- 4- ASHER
- 5- predicted of percentage dissatisfaction

منابع

- Abdul Nasir, M.H. & Hassan, A.S. (2020). Thermal performance of double brick wall construction on the building envelope of high-rise hotel in Malaysia. *Journal of Building Engineering*, 101389, 31.
- Akbarnezhad, A. et al. (2013). Effects of the parent concrete properties and crushing procedure on the properties of coarse recycled concrete aggregates. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 1802-1795, (12)25.
- Aksamija, A. (2009). Context-based design of double skin facades: Climatic consideration during the design process. *Perkins+Will Research Journal*, 1(1), 1.
- ASHER. (2010). *ANSI/ASHRAE/IES Standard 2010-90.1 -- Energy standard for buildings except for*

low-rise residential buildings.

- ASHER. (2013). *ANSI/ASHRAE/IES Standard 2010-90.1 -- Energy standard for buildings except for low-rise residential buildings.*
- Attia, S. (2017). Evaluation of adaptive facades: The case study of Al-Bahar towers. in the UAE. *Shaping Qatar's sustainable built environment*, 13-1 ,(6)2.
- Australian Building Codes Board. (2015). *Building Code of Australia.*
- Belleir, A., Avantaggiato, M. & Lollini, R. (2017). Ventilative Cooling in Shopping Centers' Retrofit: The Mercado Del Val Case Study. *Energy Procedia*, 677-669 ,111.
- Boin, U.M.J. & Bertram, M. (2005) Melting standardized aluminum scrap: a mass balance model for Europe. *JOM*, 33-26 ,(8)57.
- Cordell Housing. (2014). *Building Cost Guide.* Australia: Cordell building publications.
- Doodoo, A., Gustavsson, L. & Sathre, R. (2012). Effect of thermal mass on life cycle primary energy balances of a concrete- and a wood- frame building. *Applied Energy*, 472-462 ,(0)92.
- Ertura, B. (2011). *Design Principles of Intelligent Building Skins and the Examination of their Application Samples.*
- Gilani, G., Pons, O. & de la Fuente, A. (2022). Sustainability-Oriented Approach to Assist Decision Makers in Building Facade Management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 1)148).
- Habert, G. et al., (2010). Development of a depletion indicator for natural resources used in concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, 376–364 ,(6)54.
- Hammond, G. & C.I. Jones, C. (2006). Embodied Carbon: *Inventory of Carbon and Energy* (ICE). UK: University of bath.
- Han, B. et al. (2008). Life cycle assessment of ceramic façade material and its comparative analysis with three other common façade materials. *Journal of Cleaner Production*, 93-86 ,99.
- Hausladen, H. (2008). *Climate Skin: Building-skin Concepts That Can Do More with Less Energy.* Birkhauser.
- Hens, H. et al. (2007). Brick Cavity Walls: A Performance Analysis Based on Measurements and Simulations. *Journal of Building Physics*, 2)31).
- Kahhat, R. et al. (2009). Environmental impacts over the life cycle of residential buildings using different exterior wall systems. *Journal of Infrastructure Systems*, 221-211 ,(3)15.
- Kanters, J., Horvat, M. & Dubois, M.-C. (2014). Tools, and methods used by architects for solar design. *Energy and Buildings*, 68(C), 731-721.
- Khandve, P. & Rathi, S. (2015). AAC Block - *A New Eco-friendly Material for Construction.* IEDC PROJECT UNDER DST.
- Kim, K-H. (2011). A comparative life cycle assessment of a transparent composite system and a glass curtain wall system. *Energy and Buildings*, 3445–3436 ,(12)43.
- Klinglmaier, M., Sala, S. & Brandão, M. (2013). Assessing resource depletion in LCA: review of methods and methodological issues. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, -580 ,(3)19 592.
- Korjenic, A., Zach, J. & Hroudova, J. (2016). The use of insulating materials based on natural fibers in combination with plant facades in building constructions. *Energy and Buildings*, 58-45 ,116.
- Lawton, M. et al. (2008). Real-value of exterior insulated wall assemblies. *Engineering.*
- Manioğlu, G. & Yılmaz, Z. (2006). Economic evaluation of the building envelope and period of heating system in terms of thermal comfort. *Energy and Buildings*, 272-266 ,(3)38.
- Masri, Y. (2015). Intelligent Building Envelopes: Design and Applications. In: *Proceedings of the International Conference on Building Envelope Design and Technology, Graz Advanced Building Skins*, 46-37.
- Moussavi Nadoushani, Z.S., Akbar Nezhad, A. & Jornet, J.F. (2017). Multi-criteria selection of façade systems based on sustainability criteria. *Building and Environment*, 38-36 ,121.
- Nikolaou, T., Kolokotsa, D. & Stavrakakis, G. (2004). Introduction to Intelligent Buildings. In *A Handbook for Intelligent Buildings.* Athens: SMART Accelerate.
- Nizovtsev, M.I., Belyi, V.T. & Sterlygov, A.N. (2014). The façade system with ventilated channels for thermal insulation of newly constructed and renovated buildings. *Building and Environment*, 69-60 ,75.
- Ortony, A., Norman, D. & Revelle, W. (2005). Affect and Proto-Affect in Effective Functioning. *Who*

needs emotions, 202-173.

- Osada, Y. (1988). An overview of health effects on noise. *Journal of Sound and Vibration*, ,(3)127 410-407.
- Özlem Eren, REN. Ö. & Banu Erturan, B. RTURAN (2008). Intelligent Facades as An Energy-Efficient Building Design Approach. *Engineering Sciences*, 156- 136 ,(3)8.
- Poirazis, H. (2004). *Double Skin Façades for Office Buildings*. Division of Energy and Building Design, Department of Construction and Architecture, Lund Institute of Technology, Lund University, Lund, Report EBD-R3/04-.
- Rahman et al. (2021). A reviw on the utilization of waste material for autoclaved aerated concrete production. *Journal of Renewable Materials*.
- Rhodes, C. (2014). Construction Industry: Statistics and Policy. UK: The House of Commons Library.
- Rodriguez Navarro, C., Doehne, E. & Sebastian, E. (2000). How does sodium sulfate crystallizes? I-mplications for the decay and testing of building materials. *Cement and Concrete Research*, ,(10)30 1534-1527.
- RSMeans. (2015). Building Construction Cost Data. Massachusetts: RSMeans.
- Ruuska, A. & Häkkinen, T. (2014). Material efficiency of building construction. *Buildings*, 266 ,(3)4.
- Sadineni, S.B., Madala, S. & Boehm, R.F. (2011). Passive building energy savings: a review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 3631-3617 ,(8) 15.
- Sustentável, C. (2013). *Your Home - Australia's guide to environmentally sustainable homes*. Australia: Department of Industry.
- Timoshenko, S. (1953). *History of Strength of Materials: with a Brief Account of the History of Theory of Elasticity and Theory of Structures*. Courier Corporation.
- Wang, H. et al. (2015). An Intelligent Monitoring System for the Safety of Building Structure under the W2T Framework. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 1)2015) .
- Yilmaz, S., Binici, H. & Ozcalik, H.R. (2016). Energy supply in a green school via a photovoltaic-thermal power system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 720-713 ,57.



Choosing the Material for Façade Systems Using Optimal Energy and Sound Reduction Criteria

Case Study: An Elementary School in Sanandaj City

Nadia Ashrafi¹, Mehdi Khakzand²

Abstract

Many researchers have been conducted regarding to how select facade systems based on economic and environmental sustainability. For a sustainable system, both economic and environmental factors must be taken into account. Choosing facade materials solely based on environmental factors is not lead to the sustainable system. The research paper explores the environmental, acoustic, and economic impacts of facade materials, and finally presents appropriate facade materials for a building. The goal of this research is to investigate sustainability criteria for identifying the most sustainable facade material systems, among five options including Double Brickwork, Aluminum Composite Panel, Ceramic coating, Autoclaved Aerated Concrete (AAC), and concrete blocks. The two main factors are optimal energy calculated by combining two factors (thermal resistance, thermal conductivity coefficient) and sound reduction for Sanandaj city. Factors were tested in Design Builder's simulator environment, and finally, the results were analyzed through the AHP technique to measure the relative importance of different factors and rank the different facade materials. Based on the results, Autoclaved Aerated Concrete facades have the best energy mode in a simulator environment and sound reduction criteria based on the three factors mentioned.

Keywords: Optimal facade materials, Environmental, Economic, Sound criteria, Optimal energy.

1- **Master** of Architecture, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran. (E-mail: nadiaa.ashrafi@gmail.com)

2- **Associate Professor** Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran (Corresponding Author). (E-mail: mkhakzand@iust.ac.ir)