

پیشرفت در معماری پایدار و بهره‌وری انرژی

مهدی علی یاری¹

1- گروه معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شبستر، شبستر، ایران. mehdi_je2000@yahoo.com

خلاصه

اهمیت ساختمان‌های کارآمد از نظر انرژی با توجه به کاهش سریع منابع انرژی، کمبود انرژی و افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی، ضروری به نظر می‌رسد. روش‌های نوآورانه برای کاهش مصرف انرژی ضروری است. صنعت ساختمان یکی از بزرگترین بخش‌های مصرف‌کننده انرژی است. در ساختمان‌های مدرن، انرژی قابل توجهی برای حفظ آرامش محیط ساختمان مصرف می‌شود. در کشورهای در حال توسعه مانند هند، افزایش جمعیت، افزایش استانداردهای زندگی و شهرنشینی سریع منجر به افزایش فعالیت‌های ساخت و ساز ساختمان می‌شود. برای دستیابی به اهداف جمعی امنیت انرژی و حفاظت از محیط زیست، ساختمان‌های حساس به محیط زیست که از منابع خود به طور عاقلانه استفاده می‌کنند، انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را به حداقل می‌رسانند و سیستم‌های مدیریت پسماند کارآمدی دارند، باید در نظر گرفته و طراحی شوند. گزینه‌های موجود در مداخله معماری، مصالح ساختمانی و روش‌های طراحی باید به دقت ارزیابی شوند تا مصرف انرژی به حداقل برسد. به طور کلی، مطالعات بررسی‌شده اهمیت معماری و مصالح ساختمانی پایدار را در ایجاد زیرساخت‌های مقاوم در برابر آب و هوا نشان می‌دهند. آنها پتانسیل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، بهبود بهره‌وری انرژی، و افزایش آسایش و رفاه ساکنان را از طریق اتخاذ شیوه‌های ساختمانی پایدار برجسته می‌کنند. یافته‌های این بررسی، بینش‌هایی را در مورد شیوه‌های ساختمانی پایدار ارائه می‌کند که می‌تواند تصمیم‌گیری‌های سیاستی را تعیین کند و توسعه زیرساخت‌های مقاوم در برابر آب و هوا را در آینده راهنمایی کند.

کلمات کلیدی: معماری پایدار، مصالح ساختمانی سبز، ساختمان‌های کارآمد انرژی، مقاوم در برابر آب و هوا زیر ساخت، بتن فوق‌العاده با کارایی بالا..

1. مقدمه

ساختمان‌های پایدار در قرن بیست و یکم به موضوعی کلیدی برای بسیاری از کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته تبدیل شده است. انتظار می‌رود جمعیت جهان از 7.7 میلیارد نفر در سال 2019 به 9.7 میلیارد نفر در سال 2050 افزایش یابد و تا پایان این قرن به بیش از 10.9 میلیارد نفر برسد [1]. این افزایش ساکنان جهان به ترتیب تقاضا برای آب، انرژی و منابع طبیعی را افزایش می‌دهد که در نتیجه سیستم‌های بیولوژیکی را بیش از حد تحت فشار قرار می‌دهد و با گسترش استفاده از انرژی طبیعت را به تدریج تخریب می‌کند و در نتیجه تأثیر کلی بر محیط ساخته شده خواهد داشت. مطالعات قبلی نشان داد که ساختمان‌ها کلید اصلی مصرف‌کنندگان انرژی هستند. یکی از بخش‌هایی که بیشترین میزان انرژی را مصرف می‌کند، بخش ساختمان با حدود 30 تا 40 درصد است [2].. علاوه بر این، بیش از یک سوم از کل انتشار گازهای

گلخانه ای، که یک عامل حیاتی در گرم شدن کره زمین و تغییرات آب و هوایی است، تولید زباله و انتشارات بالقوه مضری می‌کند. بنابراین، دستیابی به پایداری در ساختمان‌ها راهی برای کاهش عینی این اثرات منفی است.

پایداری در ساختمان‌ها مفهومی است که دارای ارکان چندبعدی از جمله جنبه‌های زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی، اکولوژیکی، فنی و تکنولوژیکی است. ساختمان‌های سبز و پایدار می‌توانند به کاهش اثرات ساختمان‌ها بر محیط زیست، اقتصاد و جامعه کمک کنند. علاوه بر این، دستیابی به پایداری در ساختمان‌ها با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با انرژی تجسم‌یافته از طریق استفاده از منابع طبیعی، انتشار آلاینده‌ها، بازیافت مواد، تضمین ایمنی ساختمان، و برآورده کردن الزامات کیفیت محیطی داخلی است. برخی از محققان و دانشگاهیان ساختمان‌های پایداری را به عنوان ساختمان‌های سبزی تعریف کردند که بهتر از ساختمان‌های معمولی قادر به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند و می‌توانند به تعهد ساختمان‌های کربن خالص صفر دست یابند. با این حال، بهره‌وری انرژی باید به عنوان یک مفهوم اساسی برای دستیابی به ساختمان‌های پایدار، ساختمان‌های سبز، ساختمان‌های کم‌انرژی، ساختمان‌های کم‌انرژی فوق‌العاده کم و ساختمان‌های با انرژی صفر مورد بررسی قرار گیرد [3].

برای دستیابی به پایداری در ساختمان‌ها، بازده انرژی بالا باید با کاهش اثرات زیست‌محیطی از طریق روش‌های معیار عملکرد انرژی، اقدامات صرفه‌جویی در مصرف انرژی، ادغام توربین‌های بادی در ساختمان‌های بلند، یک رویکرد یکپارچه با استفاده از جستجوی چند هدفه، مدل‌سازی انرژی و محاسبات کلی ارزش انتقال حرارت، نماهای فتوولتائیک یکپارچه ساختمان، وسایل روشنایی، پوشش‌های ساختمانی با کارایی بالا، مصالح ساختمانی با منابع کارآمد، و مفاهیم انرژی نوآورانه ارائه گردد [4].

اثرات اقتصادی را می‌توان با دستیابی به صرفه‌جویی در هزینه و کاهش هزینه عملیاتی (هزینه‌های سخت و نرم) با استفاده از ارزیابی چرخه عمر، توسعه تجزیه و تحلیل هزینه-فایده، اعمال حق بیمه قیمت سبز، استفاده از یک روش طراحی بهینه برای سیستم‌های چند انرژی در ساختمان‌هایی مانند سیستم تولید برق فتوولتائیک (PV)، سیستم گرمایش آب خورشیدی و ذخیره‌سازی سرد فصلی با به حداقل رساندن هزینه کل چرخه عمر کاهش داد [5 و 6].

معماری پایدار که یکی از جریان‌های مهم معماری معاصر است، عکس‌العمل منطقی در برابر مسائل و مشکلات عصر صنعت به شمار می‌رود. با انقلاب صنعتی و پیشرفت‌های فنی-تکنولوژیکی در عرصه معماری بومی اقصی نقاط دنیا که با توجه به طبیعت پیرامون خود و همساز با اقلیم سربرمی‌افراشت، به دست فراموشی سپرده شد. معماری مدرن نیز که زاده این تحولات بود، به‌طور کل بستر شکل‌گیری معماری را نادیده گرفت. انسان عصر مدرن با شعار "سلطه بر طبیعت" بحرانهای توسعه را بیش از پیش دامن زد. شهرهای ما، تکنولوژی ما و معماری ما این فریب را در ذهن ما ایجاد می‌کند که در حال کنترل طبیعت هستیم و این درحالی است که خود در کنترل طبیعت و جزئی از آن هستیم. دهه 70 را می‌توان دهه آگاهی یافتن از بحران‌های زیست‌محیطی نامید که عکس‌العمل‌هایی را در دنیا ایجاد کرد که معماری پایدار یکی از آنهاست. معماری پایدار حاصل شناخت عمیق نسبت به محیط پیرامون بوده است. در این معماری کیفیت در راستای نیل به یک هدف صورت می‌گیرد و آن هم آسایش است. نکته مهمی که در این نوع معماری مورد توجه قرار می‌گیرد، آن است که تمامی عوامل دخیل در آسایش، مرتبط باهم و به صورت یک سیستم واحد در نظر گرفته می‌شود. از طریق معماری می‌توان جامعه را از مطلوبیت ورزش فراوان اقتصادی و زیست‌محیطی انرژی‌هایی که به نام‌های بی‌زیان، سبز، آرام و... مشهور شده مطلع کرد انرژی‌هایی که از دیدگاه هنرمندان و معماران می‌توان زیبا نامید. آینده جهان، در انرژی‌هایی زیبا نهفته است. پس باید زیبایی نهفته در انرژی‌های پاک و حیاتبخش را کشف کنیم. به‌طور کلی، هدف این مقاله مروری ارائه یک درک جامع از پیشرفت‌های اخیر در معماری پایدار و مصالح ساختمانی برای زیرساخت‌های مقاوم در برابر آب و هوا است. با روشن کردن آخرین پیشرفت‌ها، چالش‌ها و فرصت‌ها، این مقاله قصد دارد الهام‌بخش تحقیقات بیشتر و ترویج اتخاذ شیوه‌های پایدار باشد که می‌تواند به ایجاد محیطی مقاوم‌تر و سازگار با محیط زیست کمک کند.

2. بررسی ادبیات:

این بررسی مقالات مرتبط را بر اساس کلمات کلیدی مرتبط بررسی و جستجو می‌کند. مقالات تحقیقاتی منتشر شده در مجلات معتبر علمی معتبر بر اساس پایگاه داده Google scholar و ScienceDirect عمدتاً از سال 2000 با موضوعات متمرکز بر عنوان تحقیق و کلیدواژه‌هایی از جمله معماری پایدار، مصالح ساختمانی سبز، ساختمان‌های کارآمد انرژی، مقاوم در برابر آب و هوا زیرساخت و بتن فوق‌العاده با کارایی بالا بررسی شده‌اند. در این مقاله، ما بر پایداری در معماری، اصول طراحی پایدار و بهره‌وری انرژی تمرکز کرده‌ایم.

- پایداری در معماری

کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه پایداری را اینگونه تعریف کرده است: تامین نیازهای زمان حال بدون به خطر انداختن توانایی نسل آینده برای برآوردن نیازهای خود. استفاده بهینه از منابع انرژی تجدیدناپذیر نه تنها از نظر اقتصادی، بلکه از نظر زیست‌محیطی نیز مهم است. اگرچه حفظ و تقویت نهادهای اقتصادی در دستیابی به توسعه پایدار حیاتی است، اما حفظ محیط زیست برای نسل حاضر و آینده وظیفه ماست.

معماری یکی از برجسته‌ترین اشکال فعالیت اقتصادی است. پیشنهاد شده است که شدت (مصرف) منابع معماری (نسبت مصرف سرانه منابع معماری به درآمد سرانه) به طور کلی از یک الگو پیروی می‌کند. توسعه اقتصادی یک کشور مستلزم ساخت بیشتر شرکت‌ها، ساختمان‌های رسمی و مسکونی است [7].

- توسعه و معماری پایدار در صنعت ساختمان

توسعه و معماری پایدار در صنعت ساختمان سازی، به عنوان پدیده‌ای نو مطرح است. طبق پیش‌بینی‌های انجام شده، حدود 75٪ جمعیت کره زمین تمایل دارند در شهرها زندگی کنند. لذا منابع طبیعی باید به شکلی استفاده شود تا برای تامین امکانات مورد نیاز روند پایداری خود را حفظ نماید. از سوی دیگر معماری آشکارا یکی از بزرگترین نمودهای فعالیت‌های اقتصادی در یک کشور است. توسعه اقتصادی یک کشور به کارخانه‌ها، ساختمان‌های اداری و ساختمان‌های مسکونی بیشتری نیاز خواهد داشت. برای یک خانواده، رشد درآمدهای مالی به یک نوع کشش و خواسته برای تصاحب و تملک و داشتن خانه‌ای بزرگتر با مصالح ساختمانی، مبلمان و وسایل خانگی گرانتر، ایجاد شرایط دمایی راحتتر در فضاهای داخلی خانه، باغ یا حیاط بزرگتر منجر می‌شود [8].

معماری یکی از برجسته‌ترین اشکال فعالیت اقتصادی است. پیشنهاد شده است که شدت (مصرف) منابع معماری (نسبت مصرف سرانه منابع معماری به درآمد سرانه) به طور کلی از یک الگو پیروی می‌کند. توسعه اقتصادی یک کشور مستلزم ساخت بیشتر شرکت‌ها، ساختمان‌های رسمی و مسکونی است [8].

-اصول طراحی پایدار:

به طور کلی اهداف طراحی پایدار در چارچوب توسعه پایدار، بر حفاظت همزمان از محیط طبیعی و محیط انسان ساخت تاکید دارد. براساس آراء نظریه پردازان، اجمالاً میتوان سه اصل زیر را به عنوان اصول سه گانه طراحی پایدار از دیدگاه فنی معرفی نمود:

اصول توسعه پایدار در ارتباط با پایداری زیست محیطی به طور خلاصه شامل توجه به استفاده از منابع تجدیدپذیر، استفاده کمتر از انرژی‌های تجدید ناپذیر و آلوده‌کننده، تأمین نیازهای پایه‌های انسان و اجتماع و ایجاد محیطی سالم برای نسلهای آینده، توجه به محیط زیست و کاهش آلودگی و نیز توجه به چرخه‌های زیست محیطی میباشد. تجلی توسعه پایدار در حوزه محیط ساخته شده، معماری پایدار نامیده میشود. آنچه که در این مقاله مورد توجه قرار گرفته است، رویکرد معماری پایدار نسبت به مسائل محیطی است؛ هرچند که جداکردن این موضوع از سایر جنبه‌های اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی، کاری دشوار است. از دیدگاه ریچارد راجرز طراحی پایدار قصد دارد تا با نیازهای آینده رو به رو شود، بدون آنکه منابع طبیعی باقیمانده برای نسل آینده را از بین ببرد. در مورد ساختمانها، طراحی پایدار به کارایی منابع، انرژی حداقل، انعطاف‌پذیری و عمر طولانی اشاره میکند. به نظر جونگ جین کیم سه اصل صرفه جویی در مصرف منابع، طراحی براساس چرخه حیات و طراحی انسانی مباحث معماری پایدار را شامل می‌شود [9].

نیاز به زمان برای به حداقل رساندن مصرف انرژی با تمام وسایل ممکن است. از منظر دیگر انرژی موجود باید عاقلانه مصرف شود. هیچ فکر جدی برای استفاده از انرژی در سطح بهینه صورت نمی‌گیرد. اگرچه کوتاه کردن نیازها بسیار دشوار است، اما باید فرهنگ جدیدی برای صرفه جویی در انرژی ایجاد شود. ساختمان‌های کارآمد انرژی برای کاهش بار انرژی و بهبود توسعه ضروری بوده و در حمایت از اقتصاد کشور ما نیز مفید است. در این راستا صنعت ساختمان نقش حیاتی ایفا کرده است. مهندسی ساختمان‌ها را وارد عصر جدیدی از این دنیای مدرن کرده است. امروزه، ساختمان‌ها با حفظ بهره‌وری انرژی و مفهوم پایداری طراحی می‌شوند [10].

-ساختمان‌های پایدار

ساختمان‌های پایدار ساختمان‌هایی هستند که با کمترین مصرف منابع طبیعی بدون آسیب رساندن به عملیات، خدمات و محصولات بهره‌بردار می‌شوند. این ساختمان‌ها برای تامین انرژی از منابع خارجی نیاز ندارند. انرژی در محل تولید و مصرف می‌شود که بهترین گزینه برای محیط زیست است. گاهی اوقات به ساختمان‌های کم مصرف انرژی ساختمان‌های پایدار یا ساختمان‌های سبز نیز می‌گویند. فرآیند سازگار با محیط زیست برای طراحی، ساخت، نگهداری، بهره‌برداری و نوسازی ساختمان‌های کارآمد انرژی استفاده می‌شود [11].

-ساختمان‌های کارآمد انرژی

ساختمان‌های کارآمد انرژی ساختمان‌هایی هستند که طراحی آن‌ها از طریق ابزارهای معماری تغییر کرده و متدولوژی ساخت و ساز اصلاح‌شده اتخاذ می‌شود که به این دلیل ساختمان از نظر انرژی خودکفا عمل می‌کند. با این حال، تلفات انرژی همیشه وجود دارد، اما انرژی در داخل ساختمان حفظ می‌شود و برای بهره‌برداری از ساختمان، انرژی کمتری مورد نیاز است که همان سطح آسایش و عملکرد زندگی را فراهم می‌کند. مصالح ساختمانی با کیفیت بالا استفاده می‌شود که می‌باشد [12].

- ساختمان‌های غیرفعال و کم انرژی

ساختمان‌های غیرفعال و کم انرژی جایی هستند که معیارهای طراحی خاصی برای کاهش مصرف انرژی عملیاتی در یک ساختمان وجود دارد. آنها برای کاهش قابل توجه نیاز انرژی برای ردیابی اکولوژیکی ساختمان، بهبود گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع روشنایی، عناصر پوششی ساختمان و غیره طراحی شده‌اند که به طراحی غیرفعال خورشیدی، سطوح بالای عایق بستگی دارد. استانداردهای هوابندی خوب، تهویه کنترل شده، لعاب با عملکرد بالا و سیستم‌های گرمایش کارآمد طراحی شده‌اند. پوشش ساختمان یک جزء اصلی در ساختار ساختمان است و محیط داخلی و خارجی را جدا می‌کند و انتقال حرارت را کاهش می‌دهد. سیمان سبک با چگالی مواد کمتر، هدایت حرارتی کمتر و بتن هوادهی اتوکلاو با ماهیت ذاتی تخلخل بالای AAC منجر به خواص حرارتی برتر می‌شود که باعث کاهش بار گرمایش و سرمایش در پوشش ساختمان می‌شود [13]. سقف مستعد تشعشعات خورشیدی است، بنابراین بر آسایش سرنشینان داخلی و همچنین دمای هوای بیرون در مناطق شهری تأثیر می‌گذارد و 20 تا 25 درصد از کل سطوح شهری را تشکیل می‌دهد. در روزهای اخیر، برخی از تکنیک‌های غیرفعال برای کاهش جذب خورشیدی سقف مورد استفاده قرار گرفته‌اند که شامل سقف‌های انعکاسی/خنک خورشیدی، بام‌های سبز به طور جزئی یا کامل با پوشش گیاهی، عایق‌کاری سقف، سقف‌های تبخیری و سقف‌های فتوولتائیک (PV) می‌شود [14]. اخیراً از تخته‌های دیوار گچی با PCM تعبیه‌شده برای کاهش حداکثر دمای داخلی استفاده شده است. مبدل‌های زمین به هوا به طور مستقیم برای گرمایش و سرمایش فضا در ساختمان‌ها استفاده می‌شود. دمای هوا در خروجی، ویژگی‌های زمین‌شناسی خاک، ویژگی‌های لوله مربوط به تبادل حرارت و شرایط آب و هوایی محل از عوامل مؤثر بر اثربخشی سیستم‌های خنک‌کننده زمینی هستند. مصرف برق یک ساختمان معمولی را بین 25 تا 30 درصد کاهش می‌دهد. هوای سرد شب نیز برای خنک کردن گرمای جذب شده توسط ساختمان استفاده می‌شود [15].

عملکرد این روش‌های غیرفعال به شدت به شرایط اقلیمی وابسته است، بنابراین باید از یک استراتژی طراحی مناسب با درک مناسب عوامل اقلیمی استفاده شود.

- اصول کلی مدیریت انرژی در سیستم‌های ساختمانی

مدیریت انرژی در ساختمان‌ها را می‌توان با توجه به عوامل متعددی از جمله مکان ساختمان، پوشش ساختمان و سیستم‌های ساختمان مورد بررسی قرار داد:

انتخاب مکان ساختمان، شرایط آب و هوایی را که ساختمان در معرض آن قرار می‌گیرد، مشخص می‌کند. پوشش ساختمان تأثیر شرایط محلی را بر ساکنان یک ساختمان تعیین می‌کند. سیستم‌های ساختمان تکمیل‌کننده قدرت گرمایش و سرمایش و نور قابل دسترس محیط اطراف هستند. تا جایی که استفاده از این سیستم‌های مکمل به پوشش ساختمان و ویژگی‌های محلی آن مربوط می‌شود، مصرف انرژی را می‌توان به حداقل رساند. [16].

ساختمان‌ها ارتباط نزدیکی با تهویه هوا دارند. این اتصال بیش از دما شامل عواملی است. آسایش انسان به رطوبت، سرعت جریان هوا و همچنین دما بستگی دارد. جذب و هدر رفتن انرژی در ساختمان‌ها به این عوامل و همچنین سرعت

انرژی خورشیدی، سایه درختان یا تپه‌ها، سرعت باد و طول فصول گرم و سرد بستگی دارد. به منظور دستیابی به ساختمان‌های پایدار، عایق بندی، می‌توان از مواد نوری، لایه‌های انتخابی و موانع تشعشعی استفاده کرد [16].

-تقسیمات اقلیمی و گونه‌شناسی معماری

ویژگی‌های متنوع هر اقلیم تأثیر زیادی در شکل‌گیری شهرها و ساختار معماری آن منطقه دارد. بنابراین تعیین دقیق پهنه‌های اقلیمی نواحی مختلف در ارائه طرح‌های مناسب متناسب با اقلیم هر منطقه بسیار حائز اهمیت است. یکی از مسائل حیاتی در ساخت و ساز، اماکن مسکونی و معماری اقلیمی، گرم کردن آنها در فصول سرد سال و خنک کردن آنها در فصول گرم سال برای رسیدن به حدود آسایش گرمایشی انسان است. در نتیجه، در نظر گرفتن تمهیدات خاص مربوط به شکل، اندازه پنجره‌ها، ماهیت مصالح ساختمانی و شرایط آب و هوایی می‌تواند منجر به بیشترین صرفه‌جویی در گرمایش و گرمایش شود [17].

خنک کردن مناطق مسکونی مسئله حیاتی در درک ارزش معماری هر دوره و هر منطقه می‌داند چگونه یک ساختمان را با اقلیم خاص آن منطقه تنظیم کند. چگونه ساختمان از خورشید، نسیم و فضای سبز استفاده می‌کند و چگونه معمار آب و هوای کوچکی ایجاد می‌کند. یکی دیگر از عواملی که تأثیر عوامل اقلیمی بر ساختمان‌ها را کاهش می‌دهد، اندازه ساختمان است. اگر یک شکل را چهار برابر کنیم، نسبت حجم آن به سطح آن از 1.6 به 1.15 کاهش می‌یابد و در نتیجه کاهش سطح بیرونی به حجم پوشش داده شده، تأثیر عوامل اقلیمی کاهش می‌یابد. با این حال می‌توان اصولی را برای ساختمان‌ها پیشنهاد کرد که به شرح زیر است:

- 1) در مناطق سردسیر، فرم‌های بسته و فشرده و ساختمان‌های مکعبی و یا ساختمان‌های مجاور در پشت در سراسر محور شمال-جنوب ترجیح داده می‌شود. در چنین مناطقی ساختمان‌های مرتفع مناسب‌ترند.
- 2) در آب و هوای معتدل، انتخاب فرم آسان‌تر و آزادتر است، اما به هر حال، فرم‌ها در امتداد محور شرق غربی ترجیح داده می‌شوند.
- 3) در مناطق گرم و خشک، فرم‌های جامد و فشرده توصیه می‌شود. فرم‌های مکعبی یا فرم‌هایی که ضلع شمالی-جنوبی بزرگ‌تری نسبت به ضلع شرقی غربی خود دارند بهتر هستند. ساختمان‌های مرتفع نیز بر ساختمان‌های کوتاه ارجحیت دارند.
- 4) در مناطق مرطوب، ساختمان‌هایی که آزادانه در امتداد محور شرقی-غربی امتداد دارند مناسب‌ترند، اما ساختمان‌هایی که در امتداد محور شمال-جنوب امتداد دارند، مناسب نیستند زیرا در معرض تابش شدید خورشید هستند [16].

-تحلیل همزمان آسایش حرارتی و مصرف انرژی در ساختمان

به منظور پیش‌بینی شرایط آسایش حرارتی در یک ساختمان و همچنین تجزیه و تحلیل عملکرد سیستم‌های گرمایش و سرمایش از نظر مصرف انرژی و آسایش حرارتی به طوری که بتوان یک سیستم تهویه مناسب را انتخاب کرد یا عملکرد این سیستم‌ها را با توجه به شرایط اقلیمی بهینه کرد. شرایط، سنت‌ها و آداب و رسوم محلی و محدودیت‌های موجود، فضای داخلی یک ساختمان باید از نظر حرارتی مدل‌سازی شود [18].

به طور کلی سیستم‌های گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها را می‌توان به دو دسته عمده سیستم‌های تشعشعی و سیستم‌های همرفتی تقسیم کرد. سیستم‌های گرمایش از کف و همچنین سیستم‌های سرمایش و گرمایش سقفی از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین سیستم‌های تهویه تابشی هستند. رادیاتور، فن‌کوئل و کولرهای تبخیری از جمله سیستم‌های گرمایش و سرمایش کانوکشن هستند [16].

با توجه به استفاده گسترده از سیستم های حرارت مرکزی در کشور ما ایران، به نظر می رسد بهینه سازی این سیستم ها برای رسیدن به راندمان بالا و در نهایت کاهش هزینه ها و مصرف انرژی اجتناب ناپذیر باشد. به طور کلی، در یک سیستم گرمایش مرکزی، پتانسیل های صرفه جویی در مصرف انرژی را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- جلوگیری از اتلاف انرژی خدمات حرارت مرکزی و ماشین آلات حمل و نقل
- کاهش مازاد مصرف انرژی توسط بویلرها و تجهیزات فرعی
- جلوگیری از کار غیر ضروری ماشین های مصرف کننده انرژی که فاقد سیستم کنترل مستقل هستند
- استفاده از کنترل کننده های مناسب برای کنترل گرمایش [16].

- روش های بهینه سازی مصرف انرژی در سیستم های تهویه ساختمان ها

- 1) به حداقل رساندن زمان کارکرد تجهیزات تهویه با نصب پلاکاردهای آموزشی
- 2) به حداقل رساندن زمان کارکرد تجهیزات تهویه با سپردن وظیفه روشن و خاموش کردن تجهیزات تهویه به کارکنان قابل اعتماد
- 3) به حداقل رساندن زمان عملکرد تجهیزات تهویه با نصب ترموستات های قابل تنظیم یا کنترل کننده های فضایی
- 4) به حداقل رساندن زمان عملکرد تجهیزات تهویه با نصب قطع و وصل زماندار [19].

- تکنیک های صرفه جویی در انرژی الکتریکی

سیستم روشنایی یکی از مهمترین مصرف کنندگان انرژی الکتریکی است. از کل انرژی الکتریکی مصرفی در سیستم روشنایی، 63 درصد به ساختمان های رسمی، 22 درصد به ساختمان های مسکونی و 12 درصد برای خیابان ها و جاده ها اختصاص دارد.

از سیستم روشنایی برای نورپردازی مکان های مختلف استفاده می شود. این سیستم انرژی الکتریکی را به نور تبدیل می کند. یک سیستم روشنایی از یک قسمت الکتریکی و یک قسمت غیر الکتریکی تشکیل شده است و دارای قسمت های مختلفی از جمله منبع تغذیه، تجهیزات پرتاب، کنترل بالاست، لامپ و نور است (شریف 1385). طراحی سیستم روشنایی به معنای تعیین تعداد و نوع لامپ برای یک مکان خاص است. به گونه ای که شدت روشنایی در آن مکان برای هدف مورد نظر کافی باشد.

مراحل یک برنامه مدیریت مصرف انرژی برای سیستم های روشنایی به شرح زیر است:

- 1) اندازه گیری اندازه سطوح روشنایی فعلی
- 2) استفاده صحیح از نور روز
- 3) پیشنهادات بهبود با تجهیزات موجود
- 4) ارزیابی گزینه های جایگزین و نصب تجهیزات جدید [16].

- نکات فنی برای طراحی ساختمان های پایدار

از منظر محیطی توجه به اقلیم و سبک زندگی راهی مناسب برای رفع نیازهای معماری و دستیابی به دیدی جامع برای طراحی است. برای دستیابی به موفقیت‌های پی در پی، طراحان باید دانش خود را در مورد فلسفه‌های جدید طراحی و ارتباط بین فضاهای داخلی و خارجی افزایش دهند. رابطه بین فرم، ساختار و راحتی بستگی به ویژگی‌های جهت‌گیری، مکان و آموزش ساختمان دارد. روش‌های زیر برای اعمال طراحی پایدار در معماری پیشنهاد شده است [16].

- روش‌هایی برای اعمال طراحی پایدار در معماری

• صرفه‌جویی در انرژی

صرفه‌جویی در مصرف انرژی یکی از روش‌های کاهش دبی ورودی است. هدف اصلی این تکنیک کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی است. ساختمان‌ها نه تنها در زمانی که برای مقاصد گرمایشی، سرمایشی و روشنایی استفاده می‌شوند، انرژی مصرف می‌کنند، بلکه در زمان ساخت نیز انرژی مصرف می‌کنند. مواد مصرفی در معماری ابتدا از مواد اولیه استخراج و برداشت می‌شوند، سپس مراحل تولید را طی می‌کنند و در نهایت به محل ساختمان منتقل می‌شوند. در مرحله ساخت و ساز، انرژی زیادی برای فعالیت‌های مختلف از خاکبرداری تا جوشکاری استفاده می‌شود [16].

• برنامه‌ریزی مبتنی بر انرژی برای یک سایت

چنین برنامه‌ریزی طراحان را قادر می‌سازد تا حداکثر استفاده از منابع طبیعی موجود در سایت را داشته باشند. در هوای معتدل، ایجاد منافذ در ضلع جنوبی ساختمان، گرمایش خورشیدی غیرفعال را افزایش می‌دهد. درختان برگریز در تابستان‌ها سایه می‌اندازند و در زمستان‌ها دریافت گرمای خورشید را ممکن می‌سازند. با کاشت گیاهان همیشه سبز در ضلع شمالی ساختمان می‌توان از آن در برابر بادهای زمستانی محافظت کرد و بازده مصرف انرژی آن را بهبود بخشید. برای تأمین شرایط خنک‌کننده طبیعی در تابستان، ساختمان‌ها را می‌توان در نزدیکی منابع آب در سایت قرار داد. این پیش‌نیاز مهم اغلب در طراحی ساختمان‌های مدرن نادیده گرفته می‌شود. معماری منفعل منظومه شمسی راه‌حل‌ها و تمهیداتی را در اختیار ما قرار می‌دهد تا بتوان از تابش خورشید در زمان‌های مفیدتری از روز استفاده کرد. با ایجاد سایه به کمک سایه بان یا گیاهان می‌توان از دریافت گرما در تابستان و متعاقب آن هزینه‌های تحمیلی برای سرویس تهویه جلوگیری کرد. باد یا جریان هوا دو مزیت مهم در میان مسائل عمده شهرسازی بوده است [16].

• عایق:

پنجره‌ها با راندمان بالا و عایق بودن دیوارها از دریافت و هدر رفتن حرارت جلوگیری می‌کند. کاهش چنین انتقال حرارتی باعث کاهش میزان شارژ گرمایشی و سرمایشی ساختمان و در نتیجه کاهش مصرف انرژی می‌شود. هزینه گرمایش و سرمایش کمتر به سیستم‌های تهویه کوچکتر نیاز دارد. این مزیت‌های ملموس و عینی، پنجره‌های بسیار کارآمد و دیوارهای عایق شده شرایط گرمایش مناسب‌تری را در عمل فراهم می‌کند. به دلیل ویژگی‌های مواد عایق، گرمایش درجه پنجره‌ها و دیوارها در زمستان‌ها بیشتر و در تابستان‌ها کمتر است. استفاده از تجهیزات تهویه کوچکتر باعث کاهش صدای ماشین‌های مکانیکی و افزایش کیفیت صوتی فضاهای داخلی می‌شود [16].

- پیشرفت در ساختمان‌های کم مصرف برای ساختمان‌های جدید و قدیمی

رشد جمعیت و افزایش تقاضای انرژی هر دو منجر به افزایش عمده در مصرف انرژی شده است. در حال حاضر، ساختمان‌ها بیش از 40 درصد مصرف انرژی جهان و 33 درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی را به خود اختصاص می‌دهند. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که EEBs چشم‌اندازی را برای پس‌انداز مالی ارائه می‌کنند و در عین حال انتشار گازهای گلخانه‌ای را نیز کاهش می‌دهند. اتوماسیون ساختمان، که اخیراً به صنعت ساخت و ساز اضافه شده است، می‌تواند

آسایش ساکنین، کارایی سیستم های ساختمانی و کاهش مصرف انرژی و هزینه های عملیاتی را بهبود بخشد. اتوماسیون با ابزارهای مختلفی از جمله مکانیکی، هیدرولیکی، پنوماتیکی، الکتریکی، الکترونیکی و کامپیوترها به دست آمده است که معمولاً به صورت ترکیبی به نام سیستم اتوماسیون ساختمان هوشمند شناخته می شود. بر خلاف اتوماسیون، نصب مواد با صرفه جویی در مصرف انرژی و سازگار با محیط زیست در ساختمان های قدیمی یا ساخته شده کار آسانی نیست. اجرای این مواد در مرحله طراحی و ساخت عاقلانه تر است. مواد کارآمد انرژی مقرون به صرفه و کارآمدتر هستند [20].

-پتوی آئروژل سیلیکا به عنوان ماده فوق عایق برای توسعه ساختمان های کارآمد انرژی

نوع جدیدی از عایق به نام مواد Super-Insulation با هدایت حرارتی کمتر از هوا (1-K-1.m-1.W-25) با این حال، هزینه ساخت آنها همچنان بالاست، بنابراین آخرین تلاش های تحقیقاتی بر روی کاهش زمان و هزینه در فرآیند ساخت مواد فوق عایق مانند سیلیکا آئروژل متمرکز شده است. با این حال، آئروژل سیلیکا دارای معایبی مانند شکننده بودن اسکلت های سیلیکا، افزایش جریان گرما با افزایش دما است. با توجه به این اشکالات، مطالعات بیشتری در مورد چگونگی ایجاد یک جایگزین موثر سیلیکا آئروژل در حال انجام است [20].

از آنجایی که پتوهای آئروژل مواد بسیار متخلخل هستند و بخار آب می تواند از منافذ عبور کند. بنابراین فاکتور «مقاومت انتشار بخار آب» μ به عنوان پارامتر اصلی برای این مطالعه انتخاب شد. این مقدار نسبی مقاومت بخار آب محصول و یک لایه به همان اندازه ضخیم از هوای ساکن در همان دما را نشان می دهد. در اینجا مقدار μ برای پتوی آئروژل بین 5/5-8/2 باقی مانده است. برای مواد عایق حرارتی قابل قبول است. پشم های معدنی معمولی 3-1 = μ و عایق های آلی دارای $\mu = 60-150$ هستند. [20].

جدول 1- خواص اساسی پتوهای آئروژل [20].

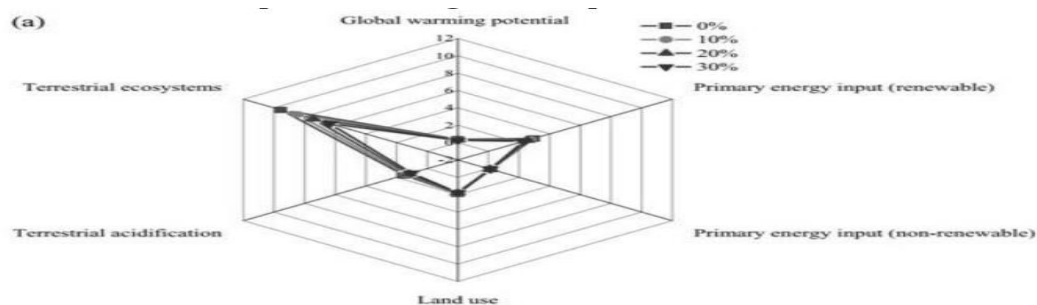
خواص	آئروژل سیلیکا	الیاف شیشه سوزنی پشم	پتوی آئروژل الیاف شیشه سوزنی
طول (mm)	دانه ای	150	150
ضخامت	x	6%	8
کسر حجمی الیاف	x	4%	4%
رسانایی گرمایی (Mw.m-1. K-1)	15-14	31	17-15
چگالی (g. cm-3)	110-100	100	150
استحکام خمشی (kPa)	<20	x	206/6

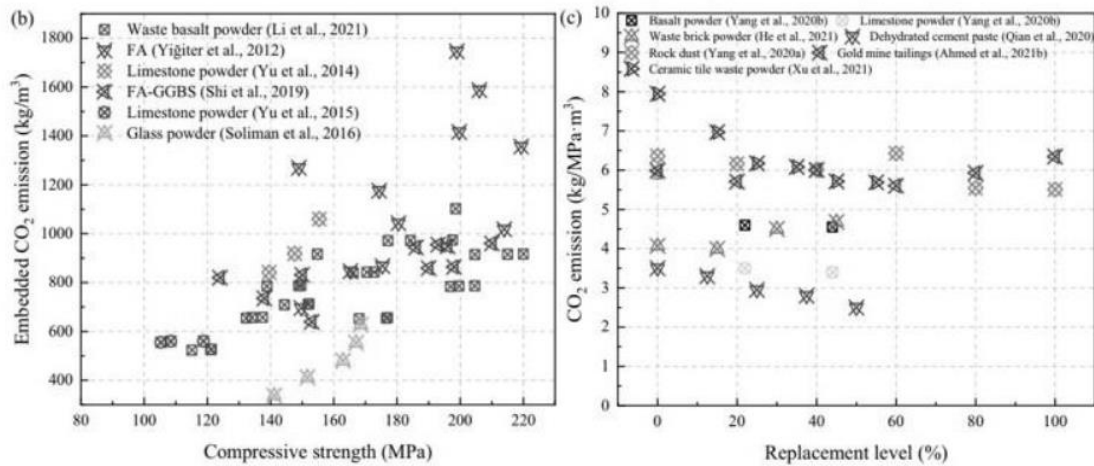
اگرچه سازه های مسکونی هنوز اکثریت پتانسیل را دارند. با ضخامت کمتر، می تواند همان عایق را با مواد عایق سنتی ارائه دهد. در آینده، پتوهای آئروژل می توانند جایگزین مناسبی برای عایق های سنتی باشند. اگرچه این مفهوم در حال حاضر در کشورهای توسعه نیافته مانند بنگلادش غیر معمول است، اما علاقه به GB (ساختمان سبز) در حال افزایش است. ساختمان های بنگلادش که هم تجاری و هم مسکونی هستند، نزدیک به 32 درصد از انرژی اولیه استفاده می کنند [20].

-بتن با کارایی فوق العاده بالا (UHPC)

بتن با کارایی فوق العاده بالا (UHPC) ماده ای است که در سال های اخیر به دلیل خواص مکانیکی استثنایی، دوام و پتانسیل برای ساخت و ساز پایدار مورد توجه قرار گرفته است. با این حال، هزینه های بالای تولید و اثرات زیست محیطی UHPC استفاده گسترده از آن را در کاربردهای ساخت و ساز محدود کرده است. استفاده از سنگدانه های ثانویه در UHPC می تواند با کاهش ضایعات وارد شده به محل های دفن زباله و کاهش انتشار کربن مرتبط با تولید سیمان، که مسئول حدود 8 درصد انتشار کربن جهانی است، می تواند عملکرد کلی UHPC را به ویژه از نظر دوام و پایداری بهبود بخشد. مواد بازیافتی می توانند ریزساختار UHPC را با کاهش تخلخل و بهبود چگالی بسته بندی ذرات بهبود بخشند [21]. علاوه بر این، استفاده از مواد بازیافتی می تواند پایداری طولانی مدت UHPC را با کاهش نیاز به مواد بکر و حفظ منابع طبیعی بهبود بخشد. یکی از چالش های اصلی، تنوع مواد بازیافتی است. بنابراین، انتخاب دقیق و آزمایش مواد بازیافتی برای اطمینان از مناسب بودن آنها برای تولید UHPC مهم است. مشخص شده است که UHPC با EGA دارای خواص مکانیکی بهتری با UHPC معمولی و سایر سنگدانه های ثانویه با مقاومت فشاری بیش از 127 مگاپاسکال و مقاومت خمشی بیش از 21 مگاپاسکال است. علاوه بر این، جذب آب UHPC با EGA کمتر از UHPC معمولی بود که نشان دهنده دوام و مقاومت بهتر در برابر رطوبت است. ارزیابی چرخه عمر بتن با کارایی فوق العاده بالا با EGA همچنین نتایج قابل تشخیصی را از سایر مصالح ثانویه نشان می دهد که کاهش قابل توجهی در تأثیرات زیست محیطی در مقایسه با UHPC معمولی نشان می دهد [21].

ردپای کربن تجسم یافته UHPC با EGA تقریباً 16٪ کمتر از UHPC معمولی بود. علاوه بر این، UHPC طراحی شده با 15٪ ماسه میکرو مرجانی و 30٪ ماسه مرجانی با هم خواص قابل مقایسه ای را نشان داد. استفاده از سنگدانه ثانویه در UHPC این پتانسیل را دارد که چالش های زیست محیطی و اقتصادی مرتبط با تولید UHPC را برطرف کند و در عین حال عملکرد و دوام مواد را بهبود بخشد. با این حال، بررسی دقیق کیفیت و در دسترس بودن مواد بازیافتی برای اطمینان از مناسب بودن UHPC برای کاربردهای خاص ضروری است. شکل 1 تجزیه و تحلیل جامع UHPC را مطابق با CO₂ تعبیه شده، مقاومت فشاری و سطح جایگزینی مواد زاید مختلف نشان می دهد [22].





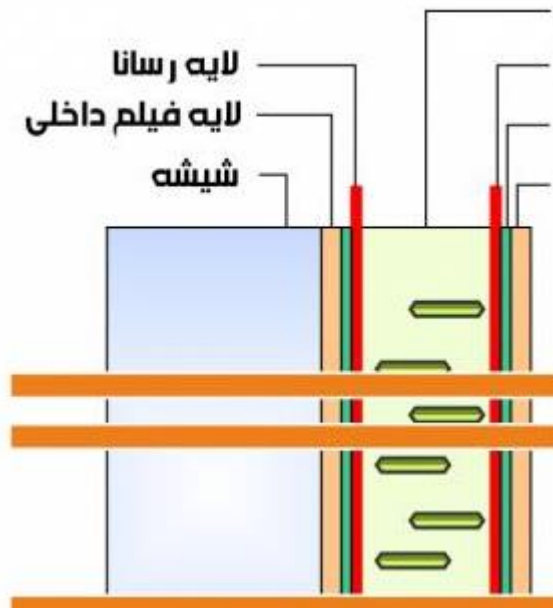
شکل 1--مزایای زیست محیطی (a) و انتشار CO₂ (b و c) UHPC با زباله جامد

-مصالح هوشمند

مصالح هوشمند یک اصطلاح جدید برای مصالح و فرآورده‌هایی است که توانایی درک و پردازش رویدادهای محیطی را داشته و نسبت به آن واکنش مناسب نشان می‌دهند. به بیان دیگر این مصالح قابلیت تغییرپذیری داشته و قادرند شکل، فرم، رنگ و انرژی درونی خود را به طرز برگشت پذیر در پاسخ به تاثیرات فیزیکی و یا شیمیایی محیط اطراف تغییر دهند. اگر مصالح را به سه گروه مصالح غیرهوشمند، نیمه هوشمند و هوشمند طبقه بندی کنیم، گروه اول یعنی مصالح غیر هوشمند ویژگی خاص بالا را ندارند، نیمه هوشمندها تنها قادرند در پاسخ به تاثیرات محیطی شکل و فرم خود را برای یک بار یا مدت زمان اندکی تغییر دهند اما در مصالح هوشمند این تغییرات تکرارپذیر و قابل برگشت خواهد بود. مصالح هوشمند تحت عنوان مصالح "انعطاف پذیر و" تطبیق پذیر "نیز شناخته می‌شوند و این به دلیل ویژگی خاص آنها در تنظیم نمودن خود با شرایط، محیطی می‌باشد [23].

-مصالح هوشمند ذخیره کننده انرژی

این مصالح انرژی را به شکل نور، گرما، هیدروژن یا الکتریسیته در خود ذخیره میکنند. مصالح هوشمند ذخیره کننده حرارت در این گروه بیشتر مورد توجهاند این مصالح نوعی ویژگی ذاتی دارند که آنها را قادر میسازد که انرژی را بصورت گرما و یا سرما بصورت انرژی نهانی در خود ذخیره کنند. پر کاربردترین آنها در زیر گروه مصالح تغییر حالت دهنده قرار دارند که می‌توانند به عنوان واسطه تنظیم دما عمل کنند. آنها وضعیت خود را از حالت مایع به جامد بوسیله کریستال شدن تغییر داده و میزان مشخصی از انرژی گرمایی که قبلا در درجه حرارت بالاتر ذخیره کرده بودند از خود آزاد نموده و در حالت معکوس با تغییر وضعیت از جامد به مایع در زمان ورود انرژی گرمایی میزان حرارت یا دما را ثابت نگه دارند [24] (شکل 2)...



شکل 2. شیشه های هوشمند که لایه های از مایع کریستال بین آنها ساندویچ شده است

3. بحث و نتیجه گیری:

استفاده از مقدار مناسب زیاله جامد برای جایگزینی سنگدانه های سنتی برای بهبود عملکرد UHPC که از سطح نامووار و ظرفیت ذخیره آب سنگدانه ها بهره می برد، سودمند است. استفاده از سنگدانه های ثانویه در UHPC این پتانسیل را دارد که چالش های زیست محیطی و اقتصادی مرتبط با تولید UHPC را برطرف کند و در عین حال عملکرد و دوام مواد را بهبود بخشد. سطح جایگزینی زیاله جامد 10٪ - 30٪ بود، ارزش بالقوه گرمایش جهانی بود. کاهش 10.8٪ - 32.5٪. بنابراین، این می تواند روش بالقوه برای صنعت بتن آینده باشد. توجه دقیق به کیفیت و در دسترس بودن مواد بازیافتی برای اطمینان از مناسب بودن UHPC برای موارد خاص ضروری است.

برنامه های کاربردی. تحقیقات آینده باید بر توسعه پروتکل های تست استاندارد برای مواد بازیافتی و بررسی عملکرد و دوام طولانی مدت UHPC با مصالح ثانویه متمرکز شود. ادغام طراحی کارآمد انرژی، استراتژی های غیرفعال و سیستم های انرژی تجدیدپذیر در شیوه های معماری پایدار می تواند مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه ای را به میزان قابل توجهی کاهش دهد، در حالی که عملکرد ساختمان ها را در مناطق مختلف آب و هوایی بهینه می کند. پیشرفت مصالح ساختمانی سازگار با محیط زیست، مانند گزینه های بازیافتی و زیست تخریب پذیر، بتن کم کربن و سیستم های عایق پیشرفته، با به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی و افزایش دوام، به انعطاف پذیری آب و هوا کمک می کند. با این حال، جنبه منفی این کاربردهای پیشرفته، مانند انتشار گازهای گلخانه ای در هنگام تولید UHPC، نیز باید در نظر گرفته شود.

همچنین با توجه به اینکه منابع موجود در زمین برای ساکنین آن محدود و رو به پایان است از این رو تلاش در ارائه راه حلهایی برای طراحی و توسعه پایدار در معماری امری بسیار مهم و ضروری است استفاده از سیستم های ساختمانی هوشمند در ساختمان های امروز و پاسخ به موقع نسبت به تغییرات در شرایط محیطی مانع از هدر رفتن انرژی و نیز موجب دوام و افزایش عمر بیشتر در ساختمان ها می شود. تحقیق و پژوهش بر روی مواد هوشمند چالشی جدید فراروی طراحان معمار قرار میدهد. هوشمند سازی و بطور خاص استفاده از مواد و مصالح هوشمند که نسبت به مسایل محیطی واکنش نشان

می دهند موجب تسهیل در تعمیر و نگهداری بناها، افزایش عمر مفید ساختمان ها، جلوگیری از مصرف بی رویه ی انرژی و طراحی های خلاقانه تر معماری می شود علاوه بر آن از طریق طراحی بر اساس ویژگی های این نوع مصالح می توان بیشترین میزان صرفه جویی در مصرف انرژی در ساختمان را داشت که همین امر موجب تحقق اهداف معماری پایدار می گردد.

مراجع

1. Invidiata, A., Lavagna M., Ghisi E. (2018), "Selecting design strategies using multi-criteria decision making to improve the sustainability of buildings", *Building and Environment*, 1(139), pp 58-68.
2. Danish, M. S. S., Senjyu, T., Ibrahim, A. M., Ahmadi, M., & Howlader, A. M. (2019), "A managed framework for energy-efficient building", *Journal of Building Engineering*, 21, pp 120-128.
3. Kim, J. T. and Yu, C. W. F. (2018), "Sustainable development and requirements for energy efficiency in buildings—the Korean perspectives", *Indoor and Built Environment*, 27(6), pp 734-751.
4. Dobiáš, J. and Macek, D. (2014), "Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) and its impact on building operational expenditures", *Procedia Engineering*, 85, 132-139.
5. Deng, Y. and Wu, J. (2014), "Economic returns to residential green building investment: The developers' perspective", *Regional Science and Urban Economics*, 47, pp 35-44.
6. Deng, Y. and Wu, J. (2014), "Economic returns to residential green building investment: The developers' perspective". *Regional Science and Urban Economics*, 47, 35-44.
7. Cordero, E. (2001). "Sustainability in architecture (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology)".
8. Grantovna, A. S. (2017), "Construction industry and sustainable development concept". *Вестник евразийской науки*, 9(5 (42), pp 53.
9. Mansoury, B. and Tabatabaiefar, H. R. (2014), "Application of sustainable design principles to increase energy efficiency of existing buildings", *Building Research Journal*, 61(3), 167-177.
10. Bajcinovci, B. and Jerliu, F. (2016), "Achieving energy efficiency in accordance with bioclimatic architecture principles", *Environmental and Climate Technologies*, 18(1), 54-63.
11. Boyle, C. A. (2005). "Sustainable buildings", In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability*, 158 (1), pp. 41-48.
12. Rosenfeld, A. H. and Hafemeister, D. (1988), "Energy-efficient buildings". *Scientific American*, 258(4), pp 78-87.
13. Chaturvedi, A. K., Jain, S., Gupta, D., & Singh, M. (2018). "Advances in Energy-Efficient Buildings for New and Old Buildings", In *Sustainability through Energy-Efficient Buildings*, pp 235-257.

14. Aye, L. and Jayalath, A. (2018), "Passive and Low Energy Buildings". In Sustainability through Energy-Efficient Buildings, pp73-88.
15. Teng, L., Addai-Nimoh, A., Khayat, K. H. (2023), "Effect of lightweight sand and shrinkage reducing admixture on structural build-up and mechanical performance of UHPC". Journal of Building Engineering, 68, pp 106144.
16. Loghman, M. (2020), " Researching on Sustainable Architecture in Approach to Energy Efficiency", Journal of Urban Management and Energy Sustainability, 2(2), pp 127-133.
17. Moradi, L., Jamshidi, M., & Nasri, M. (2016), Architectural studies with analytical approach of vernacular architecture based on the theory of climate-orientation (Case Study hot and dry climate).
18. Li, Q., Zhang, L., Zhang, L., & Wu, X. (2021), "Optimizing energy efficiency and thermal comfort in building green retrofit", Energy, 237, pp 121509.
19. Zhou, L. and Haghghat, F. (2009), "Optimization of ventilation system design and operation in office environment", Part I: Methodology. Building and Environment, 44(4), pp 651-656.
20. Nocentini, K., Biwole, P., Achard, P. (2018), "Silica Aerogel Blankets as Superinsulating Material for Developing Energy Efficient Buildings", In Sustainability through Energy-Efficient Buildings , pp 151-164.
21. Wang, X., Yu, R., Shui, Z., Song, Q., Zhang, Z. (2017), "Mix design and characteristics evaluation of an eco-friendly Ultra-High Performance Concrete incorporating recycled coral based materials". Journal of Cleaner Production, 165, pp 70-80.
22. Ghafari, E., Costa, H., Júlio, E. (2015), "Statistical mixture design approach for eco-efficient UHPC", Cement and Concrete Composites, 55, pp 17-25.
23. Rogers, C. A. (1995), "Intelligent materials", Scientific American, 273(3), pp 154-161.
24. Qader, I. N., Mediha, K. Ö. K., Dagdelen, F., AYDOĞDU, Y. (2019), "A review of smart materials: researches and applications", El-Cezeri, 6(3), pp 755-788.