



## چگونگی شکل گیری یک ساختمان مسکونی پایدار با استفاده از

### مواد و مصالح هوشمند در شهر تبریز

وحید شیخ لویی بناب<sup>۱</sup>، شهریار شقاقی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد شبستر، دانشگاه آزاد اسلامی، شبستر، ایران. v.sheikhloie@iaushab.ac.ir

<sup>۲</sup> (نویسنده مسئول) دکتری تخصصی، استادیار، معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد شبستر، دانشگاه آزاد اسلامی، شبستر، ایران. sh.shagagi@iaushab.ac.ir

### چکیده

معماری پایدار به‌عنوان یکی از نوین‌ترین روش‌های رشد و ارتقا براساس ویژگی‌های اقلیمی است. این سبک، سال‌های زیادی است که در دنیا از فلسفه و روش‌های اجرایی مدرن برخوردار می‌باشد. معماری پایدار به‌عنوان یک اصل و هدف بدون شک برای تحقق نیازمندی‌ها، راهکار و ابزارهایی هست. یکی از ابزارهای مهم در تشکیل یک معماری استفاده از مواد و مصالح مناسب در آن است استفاده از سیستم‌های ساختمانی هوشمند و پاسخ به‌موقع نسبت به تغییرات در شرایط محیطی مانع از هدر رفتن انرژی و دوام و افزایش عمر بیشتر در ساختمان‌ها می‌شود. توسعه پایدار و در نتیجه معماری پایدار سعی در همراهی با طبیعت به‌جای غلبه بر طبیعت و استفاده از انرژی تجدیدپذیر به‌جای سوخت‌های فسیلی در نتیجه جلوگیری از تباهی منابع طبیعی و پرهیز از آلودگی محیط‌زیست را به‌همراه دارد. استفاده از مصالح هوشمند یکی از مهم‌ترین پاسخ‌ها برای ارتباط بین معماری و محیط‌زیست است. پژوهش حاضر به روش توصیفی و تحلیلی و با تکیه بر داده‌های منابع کتابخانه‌ای و مطالعات میدانی انجام شده است. نتایج بدست آمده نشانگر آن است که استفاده از روش‌های هوشمند و ایده‌های پایدار شامل: ۱. تأسیسات و تجهیزات گرمایشی و سرمایشی؛ ۲. تهویه؛ ۳. روشنایی؛ ۴. عایق‌بندی؛ ۵. بازشوها؛ ۶. دیوارها، در جهت حفظ انرژی ساختمان‌ها مؤثر است.

### اهداف پژوهش:

۱. مطالعه اهمیت استفاده کردن از مواد و مصالح هوشمند در بخش‌های مختلف یک ساختمان مسکونی در اقلیم سرد و کوهستانی.

۲. ارائه الگویی مناسب برای شکل‌گیری یک معماری پایدار با مصرف انرژی کم در ساختمان‌های مسکونی تبریز.

### سؤالات پژوهش:

۱. چگونه می‌توان ساختمان مسکونی با معیارهای معماری پایدار طراحی کرد؟

۲. چگونه می‌توان ساختمان مسکونی با مصرف انرژی کم متناسب با اقلیم شهر تبریز طراحی کرد؟

### اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

شماره ۴۷

دوره ۱۹

صفحه ۳۰۳ الی ۳۱۸

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۰۶

تاریخ داوری: ۱۴۰۱/۰۱/۱۸

تاریخ صدور پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۹/۰۱

### کلمات کلیدی

معماری مسکونی،

آسایش حرارتی،

صفرانرژی،

مصالح هوشمند،

اقلیم سرد و کوهستانی.

### ارجاع به این مقاله

شیخ لویی بناب، وحید، شقاقی، شهریار.

(۱۴۰۱). چگونگی شکل‌گیری یک

ساختمان مسکونی پایدار با استفاده از

مواد و مصالح هوشمند در شهر تبریز.

مطالعات هنر اسلامی، ۱۹(۴۷)، ۳۰۳-۳۱۸.

۳۱۸



[dor.net/dor/20.1001.1.1735708.1401.19.47.24.2](https://dor.net/dor/20.1001.1.1735708.1401.19.47.24.2)



[dx.doi.org/10.22034/IAS.2022.326627.1865](https://dx.doi.org/10.22034/IAS.2022.326627.1865)

## مقدمه

مسکن به‌عنوان بستری برای زندگی انسان با سایر ابعاد زندگی او در ارتباط و کنش متقابل است. هر ناحیه مسکونی باید با توجه به ساختارهای گوناگون خانوادگی و نیازهای مکانی و اجتماعی مختلف ساخته شود با داشتن ویژگی‌های فضایی و اجتماعی خاص خود، محیطی منحصر به فرد را ارائه کند. در دهه‌های اخیر به دلیل افزایش تقاضا برای مسکن در ایران، تلاش‌های بسیاری برای تأمین مسکن انجام شده است؛ ولی آنچه عموماً نادیده گرفته شده جنبه‌های کیفی بناها در کنار فزونی کمی آن‌هاست. واژه کیفیت مفهوم گسترده‌ای دارد؛ به طوری که می‌توان تعاریف مختلفی از آن ارائه داد که بیانگر شاخص‌های مختلفی از آن باشد؛ از این رو جهت کسب مطلوبیت در حوزه مسکن در کنار توسعه کمی باید شاخص‌های کیفی در مطالعات برنامه‌دهی مسکن مورد بررسی قرار گیرند. مسکن پیچیده‌ترین بنا در طراحی است. طراحی این کاربری امری فراتر از پاسخ به برنامه است؛ چراکه باید چهره‌های عمومی را در عین جریان زندگی خصوصی ساکنینش، به نمایش بگذارد. این به معنای پیروی از شرایط متنوع اقتصادی، سیاسی، فرهنگی و به‌ویژه فلسفه فردی ساکنین است که در جوامع گوناگون، از فرد به فرد متفاوت خواهد بود.

شناسایی شیوه و ترجیحات رایج زندگی در جامعه و تأثیرات آن در طراحی حیاتی است. دوره معاصر در ایران، آغاز تغییرات وسیع در همه زمینه‌ها است (استرابی و همکاران، ۱۳۹۹). در دنیای امروز با توجه به محدود بودن منابع سوخت فسیلی ساختمان‌ها صنایع و دیگر ارگان‌ها به سمت استفاده از دیگر انرژی‌های موجود در زمین مانند انرژی خورشیدی، بادی، زیست انرژی و آبی حرکت کرده‌اند. اکثر ساختمان‌های انرژی صفر از شبکه برق سراسری برای ذخیره انرژی استفاده می‌کنند ولی بعضی از آن‌ها هم مستقل از شبکه هستند. اگر به‌طور خلاصه به مرور تاریخ معماری قرن گذشته در زمینه آینده‌نگری بپردازیم، خواهیم دید که این آینده عموماً به‌وسیله مصالح و تکنولوژی‌هایی که در آن دوران ساخته خواهد شد، تعریف می‌شود. در واقع با ظهور مدرنیسم بود که نوعی تلاش همه‌سویه برای اندیشیدن و تفکر در مورد سرنوشت آینده معماری صورت پذیرفت.

در ۱۹۱۴م. گروه بیانیه معماری فوتور «معماران جوان ایتالیایی معماری» منتشر کردند که این بیانیه اعلام می‌داشت فوتوریست، معماری پیش‌اندیشی، بی‌پروایی و بی‌پیرایه‌گی است، معماری بتن مسلح، آهن، شیشه و تمام مصالحی است که جایگزین بهتری برای چوب، سنگ و آجر باشند؛ طوری که قابلیت بالایی از انعطاف‌پذیری و سبکی را فراهم آورند. در حال حاضر، طیف وسیعی از فرآورده‌ها و مصالح، در دسترس قرار گرفته‌اند و یا اینکه در حال عرضه به بازار هستند. برخی از آن‌ها به‌طور خاص برای استفاده در زمینه معماری تولید شده و برخی نیز برای کاربردهای دیگری مثل صنعت منسوجات، اتومبیل‌سازی و... در نظر گرفته شده‌اند. اما نکته اصلی اینجاست که چگونه این مصالح نوین در دسترس معماران و طراحان قرار گیرد؟ اگر برای معماران این امکان فراهم آید که بتوانند تمام این مصالح و فرآورده‌ها را مستقیماً یا به شکل اصلاح شده در پروژه‌های خود به‌کار گیرند، آنگاه سیل عظیمی از امکانات تازه و جالب برای طراحی ساختمان‌ها و روش‌های ساخت را به دنبال خواهد داشت.

معماران خلاق می‌توانند مصالح و فرآورده‌های نوین را برای کاربردهای خاص معماری توسعه دهند و قادر خواهند بود صنعت تازه‌ای را در معماری بر پایه مصالح نوین پدیدآورند و در نتیجه، معماران بیش از آنکه طراح ساختمان باشند، مجری، تولیدکننده و سازنده آن نیز خواهند بود (Araujo et al, 2020؛ لذا اهداف این پژوهش شامل: ۱- طراحی ساختمان مسکونی با معیارهای معماری پایدار؛ ۲- طراحی ساختمان با مصرف انرژی کم است که بر اساس استفاده از مواد و مصالح هوشمند در منطقه سرد و کوهستانی در بحث صرفه‌جویی در مصرف انرژی محقق می‌شود.

امروزه شهرهای ما در آستانه نسل بعدی ساختمان‌ها هستند؛ ساختمان‌هایی با درجات متعددی که کاملاً رفتار اکولوژیکی دارند و قادرند با بهره‌گیری هوشمندانه از مصالح سازگار و عملکرد (Hi-Tech) تکنولوژی جدید و مناسب، در برابر تغییرات مستقیم و غیرمستقیم پیرامون خود واکنش نشان دهند و خود را با شرایط مناسب تطبیق دهند. این نوآوری‌ها وظایف جدیدی را برای طراحان و معماران ایجاد می‌کند که از قافله پر سرعت تکنولوژی عقب نمانده و آن‌ها را در طرح‌های خود به کار گیرند. معرفی مصالح هوشمند و عملکرد آن‌ها و مهم‌تر از آن نحوه به‌کارگیری و رفتار آن‌ها در پروژه‌های ساختمانی هدف اصلی است که در کشورهای پیشرفته به اجرا درآمده‌اند (اصلا نیان و همکاران، ۱۳۹۹). در پژوهشی دیگر، محقق با درک ضرورت و اهمیت موضوع مصالح هوشمند و نقش آن در معماری، پژوهش حاضر را باهدف شناسایی ظرفیت‌های مصالح هوشمند و کاربردهای آن در طراحی معماری و همچنین به‌کارگیری مصالح هوشمند در مسیر رسیدن به یک معماری تعاملی در طراحی خانه فرهنگ و هنر محله سعادت‌آباد تهران انجام داده است.

روش تحقیق به‌کارگرفته‌شده در پژوهش حاضر در مرحله اول، استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای در راستای شناخت مبانی نظری موضوع و بررسی پیشینه تحقیق و نظریات مربوط به موضوع و در ادامه با توجه به ویژگی‌های این پژوهش از روش توصیفی تحلیلی استفاده شده است. محقق پس از تحلیل مؤلفه‌های مؤثر به طبقه‌بندی یافته‌های مربوط به ویژگی‌های مصالح هوشمند پرداخته است. دو اصل اساسی در این پژوهش بررسی و شناخت ویژگی‌های مصالح هوشمند و یافتن راهکارهای معماری مناسب در جهت طراحی مجموعه فرهنگ و هنر در سایت مور نظر در منطقه دوم شهرداری تهران پیشنهاد شده است (مهرا فرهادی - ۱۳۹۴). فعالیت این پروژه بر انتخاب مواد و ظرفیت فنی در دو بُعد عملی: دانش قبلی و تنش در مورد آینده بررسی می‌شود. این تحقیق شناسایی جانشینی پارادایم‌های "تکنولوژیکی و مادی" گذشته و آینده است، ارائه پروژه با ورود مواد جدید و فرایندهای تولید صورت می‌پذیرد. ظهور مواد هوشمند کامپوزیتی تمام مواد واژگون‌کننده این ویژگی‌ها را به چالش کشیده است (Araujo et al, 2020).

## ۱. معماری شهری و مصالح هوشمند

چند سال اخیر نسل جدیدی از ساختمان‌ها مشخص شده است؛ ساختمان‌هایی با درجات مختلف فناوری بالای زیست‌محیطی در رفتار خود از طریق استفاده هوشمندانه از عملکرد مواد سازنده که بسیار عالی هستند، محصولات و سازه‌هایی که با تغییر مستقیم یا غیرمستقیم در محیط خود که قادر به واکنش به آن‌ها هستند را تنظیم کرده و خود را متناسب با آن وفق داد. این وظایف جدیدی را برای طراحان و برنامه‌ریزان این ساختمان‌ها ایجاد می‌کند که باید بدانند فرایند طراحی به دانش و ادغام بسیاری احتیاج دارد. پارامترها متعلق به این مواد جدید "هوشمند" و فناوری

برای راه‌حل مشکلات دیرینه در طراحی ساختمان است. اهداف این تحقیق پایداری با عملکرد مصالح ساختمانی و پیشنهاد یک روش‌شناسی که در انتخاب مناسب به معماران و طراحان کمک کند "مواد هوشمند برای طراحی ساختمان".

در این پژوهش، اصطلاحات Smart Material و Smart Technologies تعریف شده است، به‌منظور ارزیابی از دیدگاه‌های معماری به این اشاره کرد که چگونه می‌توان معماری را با استفاده از فناوری‌های جدید توسعه داد؟ نمونه‌هایی از پروژه‌های تکمیل شده و یا آزمایش‌های معماران را توصیف می‌کند که دانش را عمیق‌تر می‌کند. این تحقیق، اثربخشی را توضیح می‌دهد با استفاده از مواد هوشمند برای تبدیل شدن به یک عامل "به سمت یک معماری جدید" (Pham & Kim, 2019).

در جدول ذیل نمونه ساختمان‌های مسکونی ساخته شده با مصالح هوشمند در جهت دستیابی آن‌ها به صرفه‌جویی در مصرف انرژی معرفی شده است:

جدول ۱- نمونه ساختمان‌های مسکونی پایدار

R	نمونه ساختمان	موقعیت	سال ساخت	معمار	تصویر
۱	مجتمع مسکونی دیوارهای سفید	نیکوزیا - قبرس	۲۰۱۵	ژان نوول	
۲	مجتمع مسکونی Alcabideche	آلکابیدک - پرتغال	۲۰۱۲	گوئدس کروز	
۳	مجموعه انرژی صفر بدینگتون	لندن - بریتانیا	۲۰۰۲	بیل دانستر و گروه آروپ	

	استفانو بویری	۲۰۱۴	میلان - ایتالیا	ساختمان مسکونی بوسکو ورتیکال	۴
	فیلیپ روو - حامد کامل نیا	در حال ساخت	مشهد - ایران	برج‌های مسکونی سبز کوثر	۵

## ۲. معماری پایدار

کاربرد مفاهیم پایایی و اهداف توسعه، پایدار در جهت کاهش اتلاف انرژی و آلودگی محیط زیست در معماری، مبحثی به نام معماری پایدار را به وجود آورده است. در این نوع معماری، ساختمان نه تنها با شرایط اقلیمی منطقه خود را تطبیق می‌دهد، بلکه ارتباط متقابلی با آن برقرار می‌کند. به طوری که بر اساس گفته ریچارد راجرز، ساختمان‌ها مانند پرندگان هستند که در زمستان پرهای خود را پوش داده و خود را با شرایط جدید محیط وفق داده و بر اساس آن سوخت و سازشان را تنظیم می‌کنند (بخشی بالکانلو و همکاران، ۱۳۹۹).

مهم‌ترین سرفصل‌های معماری پایدار را عناوین زیر تشکیل می‌دهند:

- معماری اکوتک؛
- معماری سبز؛
- توسعه پایدار

معماری پایدار که در واقع زیرمجموعه طراحی پایدار است را شاید بتوان یکی از جریان‌های مهم معاصر به حساب آورد که عکس‌العملی منطقی در برابر مسائل و مشکلات عصر صنعت به شمار می‌رود. برای مثال، ۴۰ درصد از ذخایر سوختی در ساختمان‌ها مصرف می‌شود که این به نوبه خود منجر به بحران‌های زیست‌محیطی شده و خواهد شد؛ بنابراین، ضرورت ایجاد و توسعه هرچه بیشتر مقوله پایایی در معماری به خوبی قابل مشاهده است.

اصول معماری پایدار نیز عبارت‌اند از:

- اصل اول: حفظ انرژی؛
- اصل دوم: هماهنگی با اقلیم؛
- اصل سوم: کاهش استفاده از منابع جدید؛
- اصل چهارم: برآوردن نیازهای ساکنان؛
- اصل پنجم: هماهنگی با سایت؛
- اصل ششم: کل‌گرایی.

تمام اصل معماری پایدار باید در یک پروسه کامل که منجر به ساخته شدن محیط‌زیست سالم می‌شود، تجسم یابد (Araujo et al, 2020).

سرزمین بزرگ ایران از معدود کشورهای جهان است که در طول تاریخ توانسته است با ویژگی‌های فرهنگی و جغرافیایی خود معماری متنوعی ایجاد کند. این تنوع حتی در تقسیم‌بندی‌های جغرافیایی یک منطقه محدود نیز، با اندکی دقت، به خوبی قابل مشاهده است. برای مثال، تنوع زیاد معماری مسکونی در مناطق سرسبز استان گیلان در منطقه لاهیجان، لنگرود و اطراف رشت، ناحیه آستارا و بخش شمالی طالش، منطقه فومنات، ارتفاعات دیلمان و ارتفاعات ماسوله و ماسوله رودخان و یا معماری مسکونی کویر ایران در ابیانه و ۶۰ کیلومتری نطنز - کاشان نمایانگر این مسئله هستند. عوامل گوناگونی چون توپوگرافی، ویژگی‌های اقلیمی، قابلیت‌های اقتصادی، معیشت، منابع آب و... در سرزمین پهناور ایران موجب پدیدار شدن بافت‌های مسکونی متفاوتی از نظر شکل‌گیری کالبدی شده است. این موقعیت جغرافیایی و اقلیمی خاص همراه با هوشمندی گذشتگان این سرزمین در بهره‌گیری از انرژی‌های طبیعی مانند باد و خورشید چه در کویر سوزان و چه در مناطق مرطوب کشور دست‌به‌دست هم دادند تا این معماری بی‌نظیر پدید آید ولی مشاهده می‌شود که امروزه مردم این سرزمین با سهل‌انگاری و بی‌توجهی از کنار آن گذشته و دنبال منبع الهام و الگویی خارج از این سرزمین باشند (قلی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۱).

مسکن: این واژه در گذشته به اتاق اطلاق می‌شود اتاق خصوصی را وستاخ یا گستاخ یا وثاق می‌نامیدند؛ از واژه سرا به جای کلمه خانه در اصطلاح امروز آن، استفاده می‌شد (استرابی اشتیانی و همکاران، ۱۳۹۹). واژه مسکن در حقیقت

اسم مکان از ریشه سکن است که به محل سکون یا توقف گفته می‌شود. با این همه این واژه مجموعه متنوعی از مفاهیم کالبدی و مفهومی را با خود به همراه دارد.

در بیانیه دومین اجلاس کنفرانس اجلاس بشر در استانبول ترکیه، به جای استفاده از کلمه مسکن، عبارت سرپناه مناسب استفاده شد (Pham & Kim, 2019) و در تبیین آن چنین عنوان شده است که سرپناه مناسب بیش از یک سقف بالای سر هر فرد است. بلکه به معنای خلوت مناسب، دسترسی، ایمنی کافی، امنیت تصرف، ایستایی و دوام سازه‌ای، روشنایی، گرما و تهویه مناسب، زیرساخت‌های مناسب از قبیل منابع آب، بهداشت و تجهیزات دفع زباله، معیارهای متناسب محیطی و سامت، و موقعیت و دسترسی مناسب نسبت به محل‌های کار و تأسیسات زیربنایی است که همگی باید با هزینه مناسبی در دسترس باشند. مسکن به عنوان یکی از عناصر حیاتی زیست انسان و تأمین‌کننده نیازهای مختلف او در مقیاس ملی و بین‌المللی مورد توجه است. برنامه اسکان بشر سازمان ملل در دومین کنفرانس خود در استانبول ترکیه هدف اصلی دستورالعمل خود را سرپناه مناسب برای همگان و توسعه پایدار سکونتگاه‌های بشری در فرایند شهرگرایی در جهان قرار داده است (Pham & Kim, 2019). در فصل هفتم دستور کار ۲۱ با عنوان: ترویج توسعه پایدار در اسکان بشر، نخستین برنامه این فصل، تأمین سرپناه مناسب برای همگان عنوان شده است. اصل 31 و 43 داشتن مسکن متناسب با نیاز، حق هر فرد و خانواده ایرانی دانسته شده است. بنا بر نظرات گوناگون، خانه در سه گستره ساختمانی و کاربردی و اجتماعی معنای دقیق می‌یابد (قلی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۱).

- 1- خانه به مفهوم ساختمانی، دارای وضعی است که ارزیابی فنی را نشان می‌دهد؛
- 2- خانه به مفهوم مکان زندگی، نمایانگر استقبال‌ها و اشتیاق‌های کاربردی است که انسان، واحد اندازه‌گیری و نقطه مرکزی احساس‌هایش است؛
- 3- خانه به مفهوم خانواده، نمایانگر تصور نمادینی است که واحد اندازه‌گیری و نقطه عطف آن به شکل هسته اجتماعی درآمد است. در واقع، تعریف و مفهوم عام مسکن، یک واحد مسکونی نیست، بلکه کل محیط مسکونی را شامل می‌شود.

### ۳. شرایط آسایش انسان در محیط

بنا به تعریف، آسایش (Comfort) به شرایطی از هوا گفته می‌شود که در آن ۹۷٪ افراد احساس راحتی کرده‌اند. رسیدن به شرایط آسایش ایده‌آل بسیار دشوار است؛ زیرا شرایط آسایش برای منطقه‌ای با منطقه دیگر تفاوت دارد. مثلاً افرادی که در کوهستان یا نقاط مرتفع زندگی می‌کنند احساس متفاوتی از آسایش نسبت به افرادی که در نقاط پست یا کویری زندگی می‌کنند، دارند.

چهار فاکتور مهمی که در ایجاد آسایش انسان نقش مهمی برعهده دارند عبارت‌اند از: دمای هوا - رطوبت نسبی - حرکت هوا - نور. غیر از این چهار فاکتور دو شرط ورزش و بهداشت محیط نیز در آسایش جسمی انسان تأثیر مستقیم دارد.

انسان‌ها بسته به شرایط آب‌وهوایی که در آن قرار دارند درباره شرایط آسایش احساس متفاوتی دارند. مثلاً برخی از افراد هوای مرطوب اطراف ساحل را ترجیح می‌دهند و بعضی دیگر هوای خشک بیابان‌ها و کوه‌ها را دوست دارند. در

طراحی شرایط آسایش بایستی به سه پارامتر دمای خشک، رطوبت هوا و حرکت هوا توجه داشت. سازمان مهندسی گرما، سرما و تهویه مطبوع آمریکا (ASHRAE) پس از سال‌ها مطالعه روی صدها نفر در شرایط مختلف آب‌وهوایی به مفهوم دمای مؤثر که نشان‌دهنده رابطه بین پارامترهای ذکر شده یعنی دمای خشک، رطوبت و حرکت هوا است دست یافتند. دمای مؤثر به صورت اندازه‌گیری میزان آسایش انسان که شامل ترکیبی از دمای خشک، رطوبت نسبی و حرکت هوا است بیان می‌شود. بر طبق این نظریه

در این دما افراد احساس راحتی می‌کنند؛ به طوری که برای سرعت هوای مشخص شرایط مختلفی از ترکیب دمای خشک و رطوبت نسبی وجود دارد که می‌تواند همان احساس آسایش را در درصد بالایی از افراد ایجاد کند. در این حالت گفته می‌شود که همه این ترکیبات دارای یک دمای مؤثر هستند. پس از به هم متصل کردن نقاطی که اکثر افراد با پوشش و فعالیت معمولی احساس آسایش می‌کنند می‌توان یک نمودار ترسیم نمود. به این خطوط، خطوط دمای مؤثر گفته می‌شود. چون واکنش افراد مورد آزمایش در زمستان و تابستان با هم متفاوت بود، بنابراین به این نتیجه می‌رسیم که شرایط آسایش یک فصل به فصل دیگر متفاوت است و چون سیستم‌های تهویه برای یک دما و رطوبت و حرکت مشخص هوا طراحی شده‌اند پس ممکن است شرایط آسایش ایده‌آل را برای همه فصل‌ها فراهم نکنند. Kabir et al, 2021.

#### ۴. ویژگی اقلیم سرد و معماری بومی آن

کوهستان‌های غربی که دامنه‌های غربی رشته‌کوه‌های مرکزی ایران را شامل می‌شوند با توجه به این که میانگین دمای هوا در گرم‌ترین ماه سال در آن‌ها بیش از ۱۰ و میانگین حداقل دمای هوا کمتر از ۳- درجه سانتیگراد است. گرمای شدید دره‌ها در تابستان زیاد و در زمستان بسیار کم است. زمستان‌های طولانی، سرد و سخت بوده و چندین ماه از سال زمین پوشیده از یخ است. میزان بارندگی در تابستان کم و در زمستان زیاد است. فصل بهار کوتاه بوده و زمستان و تابستان را از هم جدا می‌کند. شهرهای تبریز، ارومیه، سنندج و همدان را می‌توان در این اقلیم قرار داد. در سراسر این منطقه از آذربایجان تا فارس زمستان‌ها به شدت سرد است سرما از اوایل آذرماه شروع می‌شود و تا آخر فروردین‌ماه کم‌وبیش ادامه می‌یابد (اصلائیان و همکاران، ۱۳۹۹).

- به‌طور عمده، شبیه به اصولی است که در مناطق گرم و خشک مورد توجه بوده‌است، با این تفاوت که در مناطق سرد منابع ایجاد حرارت در داخل ساختمان است.
- استفاده از پلان‌های متراکم و فشرده
- به حداقل رساندن سطح خارجی در برابر حجم مورد پوشش
- ساختمان‌ها با مصالحی که دارای ظرفیت حرارتی بالا هستند بنا می‌شوند.
- به حداقل رساندن میزان تعویض هوای داخلی و تهویه هوای طبیعی و در نتیجه، جلوگیری از ایجاد سوز در داخل و خروج حرارت داخلی به خارج از ساختمان
- ساخت بام‌های مسطح و نگهداری برف به‌عنوان عایق بر روی بام‌ها

- ساختمان‌های درون‌گرا با حیاط مرکزی
- استفاده از ایوان و حیاط کوچک در بنا
- ساخت اتاق‌های کوچک با ارتفاع کم
- ساخت دیوارهای نسبتاً قطور

تنها تفاوت معماری این مناطق و مناطق گرم و خشک، تمایل و ضرورت استفاده از حرارت ناشی از تابش آفتاب در داخل ساختمان در فصل زمستان است؛ ولی در هر صورت برای استفاده از انرژی حرارتی حاصل از تابش آفتاب پوشش سطوح خارجی به رنگ تیره انتخاب شده و ابعاد پنجره‌ها نیز نسبت به مناطق گرم و خشک افزایش یافته است (Kabir et al, 2021).

#### ۴.۱. نوع مصالح به کار رفته

در مناطق سرد هدف اصلی حفظ حرارت در داخل ساختمان است و عمده‌ترین عامل در این مورد مقاومت حرارتی دیوارهای جانبی ساختمان است. بنابراین در این مناطق، دیوارهای جانبی ساختمان باید مقاومت حرارتی مناسبی داشته باشد تا از اتلاف حرارت داخلی ساختمان جلوگیری کند. از طرفی مصالح مورد استفاده ابنیه سنتی در مناطق کوهستانی مانند سایر مناطق اقلیمی آن چیزی است که در دسترس است؛ بنابراین اغلب جهت دیوارها از سنگ و برای پوشش سقف طبقات و بام از چوب درختان و کاهگل استفاده می‌شود. در نواحی حاشیه کوهپایه و مناطقی که خاک رس به حد کافی وجود داشته باشد، دیوارهای خشتی و آجری نیز ساخته می‌شود. در ساختمان‌های امروزی با استفاده از تکنولوژی مدرن و تأسیسات مکانیکی، سعی در مقابله با این عوامل اقلیمی شده است، ولی در گذشته این تجهیزات وجود نداشته و ابنیه‌سازان سنتی می‌بایستی بالاجبار با استفاده از وسایل و مصالح محلی با عوامل نامناسب و فرسایشی طبیعت مقابله کنند و جهت فراهم کردن شرایط آسایش در محوطه‌های شهری و در داخل ساختمان‌ها استفاده بهینه از عوامل اقلیمی همیشه مسئله اساسی و مهم در طراحی و اجرا بوده است. به‌طور کلی می‌توان بیان نمود که ساختمان‌های سنتی ما برعکس اغلب ساختمان‌های امروزی، در ستیز با شرایط طبیعی نبودند بلکه با استفاده مناسب از این شرایط در یک همزیستی و بهره‌وری منطقی در بطن طبیعت قرار داشته‌اند (بخشی بالکانلو و همکاران، ۱۳۹۹).

#### ۴.۲. جهت‌گیری بنا

جهت‌گیری بناها عموماً رو به جنوب، بین ۱۵ درجه جنوب شرقی تا ۱۰ درجه جنوب غربی می‌باشد به‌گونه‌ای که فضاهای اصلی قرار گرفته در جبهه شمالی مانند طنبی، کله‌ای و اتاق‌های نشیمن، رو به جنوب قرار می‌گیرد. تنها در خانه حاج شیخ جبهه اصلی ساختمان در سمت غرب قرار گرفته است که دارای جهت‌گیری مناسب می‌باشد.

#### ۴.۳. همسایگی‌ها

باتوجه به قرارگیری خانه‌ها مورد مطالعه در بافت قدیمی و فشرده شهر، اکثر آن‌ها از چندین جهت دارای همسایگی هستند. در یک بررسی کلی مشاهده می‌شود که بیشتر خانه‌ها از سه جبهه دارای همسایگی بوده و تنها یک جبهه آن‌ها به معبر محدود است. در این موارد ورودی نیز بیشتر در جبهه‌ای که به معبر محدود می‌شود، قرار گرفته است. در چند مورد نیز خانه از هر طرف دارای یک همسایگی است (بخشی بالکانلو و همکاران، ۱۳۹۹).

#### ۵. معرفی و بررسی مصالح هوشمند

هوشمند (intelligent)، باهوش (Smart)، حساس (Adaptive) همه برای تعریف ساختارها و مصالحی به کار می‌روند که شامل حسگرها و محرک‌ها (Actuators) بوده و توانایی سازگاری با تحریکات خارجی مانند بارها و تحریکات محیط را دارند (بخشی بالکانلو و همکاران، ۱۳۹۹). 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 برگشت‌پذیر در پاسخ به تأثیرات فیزیکی یا شیمیایی محیط اطراف تغییر دهند. اگر مصالح را به سه گروه مصالح غیرهوشمند، نیمه‌هوشمند و هوشمند طبقه‌بندی کنیم، گروه اول یعنی مصالح غیرهوشمند ویژگی خاص بالا را ندارند، نیمه‌هوشمندها تنها قادرند در پاسخ به تأثیرات محیطی شکل و فرم خود را برای یک‌بار یا مدت‌زمان اندکی تغییر دهند؛ اما در مصالح هوشمند این تغییرات تکرارپذیر و قابل برگشت خواهد بود. معماری هوشمند پویا است؛ بدین معنا که پارامترهای عملکردی اصلی، خود را باتوجه به نیاز، تقاضا و شرایط متغیر و پویا تغییر می‌دهند. یک معماری هوشمند همچنین مانند سامانه زنده‌ای قادر به تجربه‌اندوزی و استفاده از تجارب در شرایط جدید است و با این خصیصه پویایی و خودسازماندهی سامانه تضمین می‌گردد. مصالح و فرآورده‌های نوین در حال حاضر طیف وسیعی از فرآورده‌ها و مصالح، در دسترس قرار گرفته‌اند یا اینکه در حال عرضه به بازار هستند. برخی از آن‌ها به طور خاص برای استفاده در زمینه معماری تولید شده‌اند (قلی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۸).

#### ۵.۱. انواع مصالح هوشمند

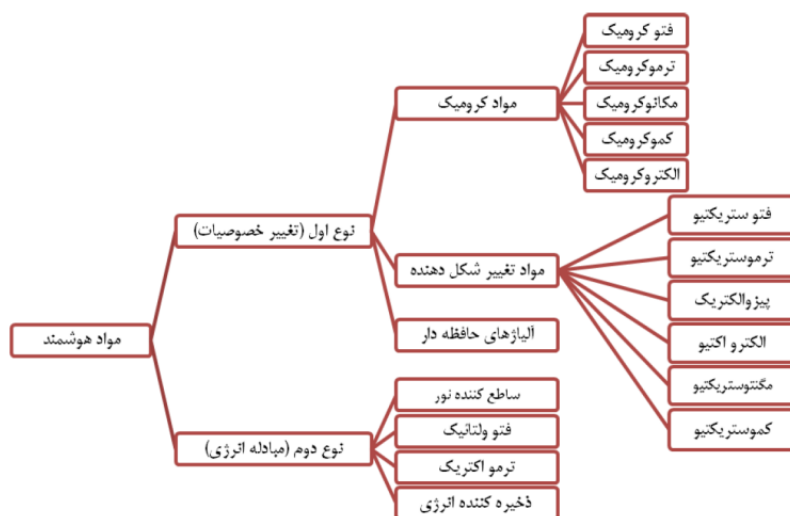
مصالح ذخیره‌کننده انرژی یکی از انواع مصالح هوشمند است. همان‌طور از نام این مصالح پیداست، آن‌ها قادر به ذخیره انرژی هستند. مصالح ذخیره‌کننده انرژی به روش‌های مختلف عمل می‌کنند و از قابلیت برگشت‌پذیری برخوردار هستند. برای مثال، انرژی را به شکل گرما، نور و الکتریسیته ذخیره می‌سازند. این مصالح به مصالح تغییر حالت‌دهنده در معماری و ساختمان‌سازی معروف هستند و می‌توان از آن‌ها برای کاربردهای مختلف استفاده کرد. یکی از کاربردهای مصالح ذخیره‌کننده انرژی استفاده از آن‌ها به‌عنوان واسطه تنظیم دما است بدین صورت که با ذخیره‌کردن سرما یا گرما در نهران خود قادر به تنظیم دمای مکان موردنظر هستند. علاوه بر آن می‌توانند از حالت جامد به مایع و برعکس تغییر حالت دهند. آن‌ها با پیروی از خاصیت بلوری شدن شکل خود را تغییر داده و انرژی گرمایی ذخیره شده در درجه حرارت‌های بالا (Carvajal-Arango et al. 2019).

مصالح کروموزنیک نیز از مصالح هوشمند است و به مصالحی گفته می‌شود که در برابر محرک‌هایی نظیر نور، دما، میدان الکتریکی و تزریق یون برانگیخته می‌شوند و نور تولید می‌کنند. در واقع مولکول‌های آن‌ها انرژی جذب شده را به صورت اشعه الکترومغناطیسی مرئی ساطع می‌کنند. میزان تغییر این مصالح از انعکاس جزئی نور تا پخش کامل آن اتفاق می‌افتد. از جمله مصالح هوشمند سانع کننده نور می‌توان به مصالح فتوکرومیک، الکترو کرومیک، هالو کرومیک و ترمو کرومیک اشاره نمود (Carvajal-Arango et al.2019).

مصالح واکنش‌دهنده به دما نیز از مصالح هوشمند هستند. این مصالح به صورت برگشت‌پذیر در برابر تغییرات دمایی اطراف خود واکنش نشان می‌دهند. گاهی برخی از مصالح به واسطه پوسته بیرونی، دمای درون خود را با دمای محیط تطبیق می‌دهند و برخی دیگر با استفاده از یک میدان الکتریکی گرمایش خود را به صورت فعال از طریق تماس بروز می‌دهند. از جمله کاربردهای این مصالح استفاده از آن‌ها در سیستم‌های تهویه ساختمان است. برای مثال؛ برخی از این سیستم‌ها در دماهای مشخص با باز و بسته‌شدن منجر به تهویه هوای اتاق می‌شوند، برخی دیگر در نمای ساختمان برای تهویه استفاده می‌شوند (Carvajal-Arango et al.2019).

مصالح تغییر رنگ‌دهنده نیز در زمره مصالح هوشمند هستند. مصالح تغییر رنگ‌دهنده به مصالحی گفته می‌شود که در برابر محرک‌های مختلف دچار تغییر رنگ می‌شوند. عملکرد این مصالح به صورت بازگشت‌پذیر است و پس از تغییر رنگ می‌توانند دومرتبه به رنگ اولیه خود بازگردند. بیشتر این مصالح وقتی در معرض نور قرار می‌گیرند رنگ خود را تغییر می‌دهند. از جمله این مصالح می‌توان به محصولات الکترو کرومیک، فتوکرومیک و ترمو کرومیک اشاره کرد. این مصالح هوشمند جایگاه ویژه‌ای در پوشش نمای ساختمان و معماری به خود اختصاص داده‌اند و از نظر زیبایی‌شناسی کاربرد فراوانی دارند (Carvajal-Arango et al.2019).

مصالح تغییر دهنده مواد درونی نیز از مصالح هوشمند هستند. این مصالح هم در دکوراسیون داخلی و هم در نمای خارجی ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرند. مواد و مصالحی که قادر به تغییر مواد درونی خود هستند تحت تأثیر فرآیندهای شیمیایی و فیزیکی، مواد درونی خود را به شکل جامد، مایع و گاز به شکل مولکول آزاد می‌کنند. این مصالح اگر در برابر آب، گاز، بخار آب و ... قرار گیرند دچار تغییر حجم می‌شوند. مصالح خود تمیزشونده که به عنوان پوشش نمای ساختمان استفاده می‌شوند جزء این نوع مصالح هوشمند هستند و خود به خود آلودگی را از سطح خود پاک می‌کنند. از مصالح هوشمند با قابلیت تغییر مواد درونی برای ضدآب کردن نما، تمیز کردن آن، افزایش کیفیت هوا در ساختمان، رفع آلودگی‌ها و جذب صوت استفاده می‌گردد (Carvajal-Arango et al.2019).



نمودار ۱- دسته‌بندی کلی مصالح هوشمند (Bamgbade et al, 2019)

در این پژوهش بیشتر به بررسی مصالح هوشمند در بخش مصالح هوشمند ذخیره‌کننده انرژی پرداخته می‌شود:

## ۶. ذخیره‌سازی انرژی حرارتی در ساختمان‌ها

در بحث ذخیره‌سازی انرژی حرارتی در ساختمان‌ها دو دیدگاه در انتخاب مواد تغییر فاز دهنده وجود دارد. در صورتی که هدف تأمین بار گرمایشی ساختمان به صورت مستقیم باشد، استفاده از مواد با دمای ذوب 86 تا 98 درجه سلسیوس و در صورتی که هدف تأمین بار گرمایشی به صورت غیرمستقیم باشد، دمای ذوب 58 تا 18 درجه سلسیوس برای این مواد مناسب می‌باشد. موادی که به صورت مستقیم در داخل ساختمان استفاده می‌شوند، دارای دمای ذوب نزدیک به دمای آسایش ساکنین داخل ساختمان می‌باشد. با گرم شدن فضای داخل ساختمان، گرمای اضافی آن توسط مواد تغییر فاز دهنده جذب شده و این مسئله سبب ذوب شدن این مواد می‌گردد. از سوی دیگر با پایین آمدن دما نیز این مواد با پس دادن انرژی ذخیره شده مجدداً منجمد گردیده و به حالت اول برمی‌گردند. به‌طور کلی، در این مواد به جای استفاده از ظرفیت حرارتی، از گرمای نهان ذوب استفاده می‌شود. توان این مواد در ذخیره‌سازی انرژی حرارتی نسبت به سایر مصالح موجود بالا می‌باشد. با فرض اختلاف دمای 46 درجه سلسیوس برای حداقل و حداکثر دمایی یک منطقه، یک کیلوگرم از این مواد حداقل معادل چهار کیلوگرم آب و یا 88 کیلوگرم سنگ یا بتن می‌تواند انرژی حرارتی در خود ذخیره کند. با به‌کارگیری این مواد در بخش‌های مختلف ساختمان، علاوه بر کاهش مصرف انرژی، به دلیل کاهش نوسانات دمایی هوای داخل و باقیماندن دمای هوای اتاق در شرایط مطلوب، شرایط راحتی افراد فراهم می‌شود. استفاده از مواد تغییر فاز دهنده در مناطقی که اختلاف دمای روز و شب زیاد است، کارایی بیشتری دارد. در صورتی که هدف استفاده غیرمستقیم از این مواد باشد، باید دمای ذوب آن‌ها به دمای سیستم‌های گرمایشی ساختمان و همچنین آب گرم بهداشتی ساختمان نزدیک باشد. در حال حاضر، اغلب مواد تغییر فاز دهنده تجاری به‌کار رفته در ساختمان‌ها پارافین و نمک‌های آب دار می‌باشد. نمک‌های آب دار به دلیل ظرفیت بالای ذخیره انرژی گرمایی، ضریب انتقال حرارت بالا و هزینه‌های مناسب در مقایسه با پارافین‌ها بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند.

سولفات (  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ) و کلرید کلسیم  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  ، سدیم، نمونه‌هایی از مواد با ترکیبات غیرآلی هستند که دارای نقطه ذوبی در حدود ۹۸ درجه سلسیوس بوده و به صورت مستقیم در فضاهای داخلی ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرند. از سوی دیگر T پارافین‌ها با دمای ذوب ۶۶ درجه سلسیوس و با داشتن اغلب خواص مورد نظر، یکی از مواد مطلوب برای ذخیره انرژی هستند که به صورت غیرمستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به اینکه دمای آب گرم مورد نیاز در تأسیسات گرمایشی ۶۶ تا ۵۸ درجه سلسیوس است؛ لذا پارافین با نقطه ذوب ۶۶ درجه سلسیوس انتخاب مناسبی برای کاربرد در سیستم‌های ذخیره‌کننده دارد. به طور کلی مواد تغییر فاز دهنده در ساختمان‌ها به دو روش فعال ۴ و غیرفعال ۸ مورد استفاده قرار می‌گیرند. در روش غیرفعال از برخی انرژی‌های تجدیدپذیر مانند خورشید استفاده شده و انرژی حاصل از آن ذخیره می‌شود. در روش دیگر که به روش فعال معروف است، از منابع گرمایشی و سرمایشی موجود در ساختمان‌ها جهت ذخیره انرژی استفاده می‌شود. در ادامه این دو روش به طور کلی توضیح داده شده است ( Bamgbade et al, 2019).

#### ۱.۶. صرفه جویی در انرژی با ساختمان‌های هوشمند

در ساختمان‌های هوشمند با استفاده از سیستم‌های خودکار کنترل روشنایی ساختمان، کنترل دوربین‌های مدار بسته، کنترل درها، کنترل وضعیت‌های اضطراری همچون آتش‌سوزی و زلزله و بسیاری کنترل‌های هوشمند دیگر مصرف انرژی به نحو چشمگیری کاهش می‌یابد. ساختمان هوشمند، ساختمانی است که مجهز به یک زیر ساختار ارتباطاتی قوی بوده که می‌تواند به صورت مستمر نسبت به وضعیت‌های متغیر محیط عکس‌العمل نشان داده و خود را با آن‌ها وفق دهد و همچنین به ساکنین ساختمان این اجازه را می‌دهد که از منابع موجود به صورت مؤثرتری استفاده کرده و امنیت و آرامش آن‌ها را افزایش دهد. هزینه‌های جاری یک ساختمان اغلب بخش عمده‌ای از درآمد مالکان را به خود اختصاص می‌دهد. اکنون بسیاری از سازمان‌ها در دنیا به صرفه جویی در مصرف انرژی و هر چه بهتر کردن محیط‌های کاری و زندگی خود روی آورده‌اند. مدت زیادی نیست که بحث درباره موضوع ساختمان‌های هوشمند در محافل عمومی مطرح شده است.

یک ساختمان هوشمند چگونه ساختمانی است؟ تعریفی که در ایالات متحده آمریکا درباره یک ساختمان هوشمند عنوان می‌شود این چنین است: «یک ساختمان هوشمند ساختمانی است که در بردارنده محیطی پویا و مقرون به صرفه به وسیله یکپارچه کردن چهار عنصر اصلی یعنی سیستم‌ها، ساختار، سرویس‌ها و مدیریت و رابطه میان آنها است». مزایای یک ساختمان هوشمند از طریق اتوماتیک کردن سیستم‌هایی مانند گرمایش، Ventilation، و تهویه مطبوع یا HVAC (Air Conditioning)، سیستم اعلام حریق و آتش‌نشانی، سیستم‌های امنیتی و مدیریت انرژی و روشنایی به وجود می‌آید. اگر حرقی در یک ساختمان به وقوع بپیوندد، سیستم اعلام حریق به سیستم امنیتی به صورت خودکار ارتباط برقرار می‌کند و از این طریق قفل‌های کلیه درب‌ها باز می‌شوند و مردم می‌توانند به راحتی از محل حریق دور شوند و سیستم امنیتی با سیستم HVAC نیز ارتباطی خودکار برقرار کرده و از این طریق هوای سالم جایگزین هوای دودآلود می‌شود. اصول یک ساختمان هوشمند می‌گوید که هزینه‌های واقعی یک ساختمان فقط هزینه‌های ساخت نیست بلکه باید به آن‌ها هزینه‌های راهبری و تعمیرات را نیز اضافه کرد. ساختمان هوشمند تمامی

این هزینه‌ها را به‌وسیله کنترل اتوماتیک و یکپارچه، مخابرات، و سیستم مدیریت کم می‌کند. در قرن بیست یکم و تغییرات فرهنگی و تکنولوژی و همچنین تغییرات فرهنگی و تکنولوژیکی و همچنین تغییر نحوه دید مردم در مورد محیط کاری و زندگی خود، چه در بخش تجاری و یا صنعتی و یا حتی مسکونی، نیاز به محیطی که حداکثر استفاده و حداقل هزینه را بتوان در آن تجربه کرد وجود دارد. سیستم‌های مختلفی که در یک ساختمان هوشمند به کار گرفته می‌شوند:

۱- سیستم مدیریت و صرفه‌جویی در مصرف انرژی؛

۲- سیستم‌های ایمنی جانی (Life safety)

۳- سیستم‌های مخابراتی

۴- سیستم‌های اتوماتیک سازی محل کاری

## ۶.۲. مدیریت و صرفه‌جویی در مصرف انرژی

طرح ساختمان هوشمند باعث شده که در مصرف انرژی به مقدار قابل‌ملاحظه‌ای صرفه‌جویی شود و همچنین مدیریت آن بسیار آسان گردد. سیستم‌های کامپیوتری به‌صورت قابل‌ملاحظه‌ای در این رابطه استفاده می‌شوند، این سیستم‌های با نام‌های مختلفی شناخته شده‌اند نام‌هایی همچون:

- سیستم اتوماتیک سازی ساختمان؛

- سیستم مدیریت انرژی؛

- سیستم مدیریت و کنترل انرژی؛

- سیستم کنترل و مانیتورینگ مرکزی.

مسئله انرژی در کشور ما سال‌ها مورد توجه نبوده و یارانه‌های آشکار و پنهان دولتی همواره شهروندان را از توجه واقعی به ارزش انرژی در اشکال مختلفش باز می‌داشته است. در سال‌های اخیر، به دلایل گوناگون لزوم محاسبه میزان مصرف صرفه‌جویی انرژی به‌عنوان یک ضرورت قطعی و چاره‌ناپذیر، مطرح شده است. سرعت رشد مصرف داخلی انرژی به حدی است که با روند موجود توسعه منابع نفتی شاید باگذشت چند سال و اندی دیگر قادر به صادرات نفت نباشیم. بخش ساختمان بیش از یک‌سوم انرژی مصرفی کشور را به خود اختصاص داده، که به نظر می‌رسد ارزش آن به قیمت جهانی سالیانه بالغ بر شش میلیارد دلار می‌شود. در صورتی که می‌توان با اجرای سیستم‌های نوین در ساختمان‌ها، این هزینه را به شکل قابل‌توجهی کاهش داد و هزینه‌ای را که برای پیاده‌کردن این سیستم اجرا می‌شود، را در مدت زمانی نه‌چندان دور از راه ذخیره انرژی به دست آورد. تغییر وضع موجود به‌سوی وضع قابل‌قبول تلاش هماهنگ عظیمی را از سوی مردم و مسئولین به‌صورت پیوسته می‌طلبد، که BMS (سیستم مدیریت یکپارچه ساختمان) همین هدف را دنبال می‌کند. در ساختمان‌های هوشمند با استفاده از سیستم‌های خودکار کنترل روشنایی ساختمان، کنترل دوربین‌های مدار بسته، کنترل درها، کنترل وضعیت‌های اضطراری همچون آتش‌سوزی و زلزله و بسیاری کنترل‌های هوشمند دیگر مصرف انرژی به نحو چشمگیری کاهش می‌یابد (Hendian & Bagherpour, 2019)

## ۶.۳. مصالح ذخیره‌کننده انرژی

همان‌طور که از نام این مصالح پیداست، آن‌ها قادر به ذخیره انرژی هستند. مصالح ذخیره‌کننده انرژی به روش‌های مختلف عمل می‌کنند و از قابلیت برگشت‌پذیری برخوردار هستند. برای مثال، انرژی را به شکل گرما، نور و الکتریسیته ذخیره می‌سازند. این مصالح به مصالح تغییر حالت‌دهنده در معماری و ساختمان‌سازی معروف هستند و می‌توان از آنها برای کاربردهای مختلف استفاده نمود. یکی از کاربردهای مصالح ذخیره‌کننده انرژی استفاده از آن‌ها به‌عنوان واسطه تنظیم دما است بدین صورت که با ذخیره‌کردن سرما یا گرما در نهران خود قادر به تنظیم دمای مکان موردنظر هستند. علاوه بر آن می‌توانند از حالت جامد به مایع و برعکس تغییر حالت دهند. آن‌ها با پیروی از خاصیت بلوری شدن شکل خود را تغییر داده و انرژی گرمایی ذخیره شده در درجه حرارت‌های بالا را آزاد می‌نمایند و به جامد تبدیل می‌شوند. برعکس هنگام تبدیل شدن به مایع، حرارت خود را حتی با ورود انرژی گرمایی ثابت نگه می‌دارند (Francis & Thomas, 2020)

## نتیجه‌گیری

موارد زیر در طراحی یک ساختمان مسکونی وجود دارد که با طراحی صحیح و هوشمند آن‌ها می‌توان از هدررفت انرژی در ساختمان جلوگیری کرد: ۱. تأسیسات و تجهیزات گرمایشی و سرمایشی؛ ۲. تهویه؛ ۳. روشنایی؛ ۴. عایق‌بندی؛ ۵. بازشوها؛ ۶. دیوارها.

جدول ۲. مواد مؤثر در طراحی

R	مورد طراحی	طرح هوشمند و ایده پایدار
۱	تأسیسات و تجهیزات گرمایشی و سرمایشی	۱. بکارگیری آبگرمکن خورشیدی ۲. استفاده از سلول‌های خورشیدی در بخش‌های نورگیر ساختمان
۲	تهویه	۱. طراحی بازشو دو طرفه در فضاها داخلی
۳	روشنایی	۱. استفاده از شیشه‌ای فتوولتائیک جهت تولید برق ۲. استفاده از روشنایی مصنوعی مجهز به حس گرهای حرکتی
۴	بازشوها	۱. استفاده از پنجره‌های سه جداره ۲. گلخانه خورشیدی با هدف حفظ گرما ۳. بام و تراس سبز
۵	جداره‌های خارجی	۱. اجرای دیوارهای دو جداره ۲. عایق‌بندی حرارتی دیوارها و سقف ۳. استفاده از پوشش‌های با ظرفیت حرارتی بالا در دیوارها، کف و سقف ۴. استفاده از سیستم گرمایش از کف

## منابع

## مقالات

- استرابی آشتیانی، حمیده؛ اعتصام، ایرج و ماجدی، حمید. (۱۳۹۹). «سیاست‌های فرهنگی - هویتی پروژه‌های معماری با تأکید بر شهرک اکباتان تهران». *مطالعات هنر اسلامی*، ۱۶(۳۸)، صص. ۳۷-۴۷.
- اصلانیان، یاشار؛ ذبیحی، حسین و رهبری منش، کمال. (۱۳۹۹). «ساختارشناسی مفهوم رضایتمندی مسکن با رویکرد فلسفه پدیدارشناسی (نمونه موردی، خانه قاجاری شیخ‌الاسلام و چند مجتمع مسکونی در زنجان». *مطالعات هنر اسلامی*، ۱۶(۳۷)، صص. ۲۸-۴۶.
- بخشی بالکانلو، عادل؛ مولانایی، صلاح‌الدین، بایزیدی، قادر. (۱۳۹۹). «معیارهای زیبایی‌شناسی سازه‌های معماری نوین در کشورهای درحال توسعه با تأکید بر معماری بیونیک». *مطالعات هنر اسلامی*، ۱۷(۳۹)، صص. ۶۷-۷۸.
- حسن قلی‌نژاد یاسوری، کبری، مفیدی شمیرانی، سید مجید. (۱۳۹۸). «استانداردهای پایداری در شکل‌گیری ساختار و عناصر معماری اقلیم گرم و خشک». *مطالعات هنر اسلامی*، ۱۵(۳۳)، صص. ۴۴-۶۹.

## منابع لاتین

- Araújo, A. G., Carneiro, A. M. P., & Palha, R. P. (2020). Sustainable construction management: A systematic review of the literature with meta-analysis. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120350.
- Bamgbade, J. A., Kamaruddeen, A. M., Nawi, M. N. M., Adeleke, A. Q., Salimon, M. G., & Ajibike, W. A. (2019). Analysis of some factors driving ecological sustainability in construction firms. *Journal of cleaner production*, 208, pp. 1537-1545.
- Carvajal-Arango, D., Bahamón-Jaramillo, S., Aristizábal-Monsalve, P., Vásquez-Hernández, A., & Botero, L. F. B. (2019). Relationships between lean and sustainable construction: Positive impacts of lean practices over sustainability during construction phase. *Journal of cleaner Production*, 234, pp. 1322-1337.
- Francis, A., & Thomas, A. (2020). Exploring the relationship between lean construction and environmental sustainability: A review of existing literature to decipher broader dimensions. *Journal of cleaner production*, 252, 119913.