مقاله

# راهکارهای نوین کاهش مصرف انرژی در ساختمان از طریق اصلاح پوستهٔ خارجی

محمد طاطار
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک
دانشکدهٔ فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس
tatar.mohammad@gmail.com

مهدی معرفت
دانشیار بخش مهندسی مکانیک
دانشکدهٔ فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس
maerefat@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۴/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۹

**چکیده**

امروزه بخش مهمی از انرژی مصرفی کشور در ساختمان‌ها مصرف می‌شود. این در حالی است که در بیشتر این ساختمان‌ها می‌توان با اخاذ تمهیداتی خاص مصرف انرژی را کاهش داد. مقالهٔ حاضر به بررسی نقش اجزای پوششی ساختمان در صرفه‌جویی غیرفعال انرژی در ساختمان می‌پردازد. در این رهگذر، ابتدا انواع گوناگون دیوارهای ترومب، دیوارهای دوپوسته‌ای و دیوارهای گرمای نهان نهفته معرفی می‌شوند. سپس عملکرد پنجره‌های دارای هواژل[1] و شیشهٔ دوجداره بررسی می‌شود. همچنین کاربرد سقف‌های سبز، سقف‌های سلول خورشیدی و سقف‌های سرمایش تبخیری، به‌عنوان ایده‌های قابل اعمال در سقف، معرفی می‌شوند.

**واژگان کلیدی:** صرفه‌جویی غیرفعال،کاهش مصرف انرژی، اجزای پوششی ساختمان، هواژل

## مقدمه

مسئلهٔ انرژی در کشور ما برای سال‌ها مورد توجه نبوده و یارانه‌های آشکار و نهان دولت همواره مردم را از توجه واقعی به ارزش انرژی در اشکال گوناگون خود بازداشته است. اما طی سال‌های اخیر، به‌دلائل گوناگون لزوم محاسبهٔ میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی به‌عنوان یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر پدیدار شده است. بخش ساختمان بیش از یک‌سوم انرژی مصرفی کشور را به‌خود اختصاص داده، که ارزش آن به قیمت جهانی سالیانه بالغ بر شش میلیارد دلار می‌شود. در کشور ما، چون قدر انرژی کمتر دانسته شده است اکثر قریب به اتفاق ساختمان‌های کشور فاقد ضوابط فنی شناخته شده برای جلوگیری از هدر رفت انرژی سرمایی یا گرمایی می‌باشد. در کشورهای توسعه‌یافته نیز بخش مهمی از انرژی تولیدی در ساختمان‌ها مصرف می‌شود. مثلاً حدود ۳۹ درصد از انرژی

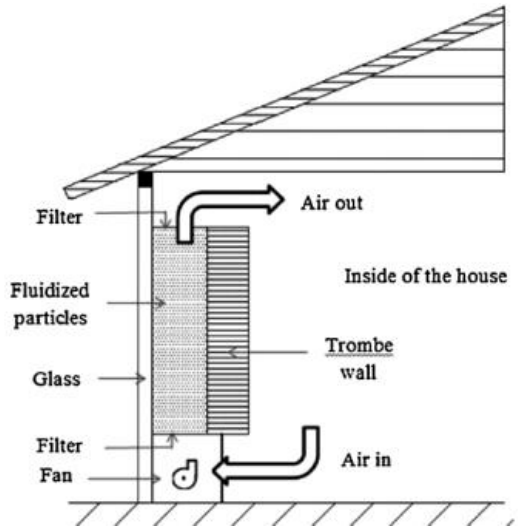
مصرفی در ایالات متحده در ساختمان‌ها مصرف می‌شود [۱]. پوشش ساختمان[۲] فضای داخل را از محیط بیرون جدا می‌کند. محققان زیادی در سرتاسر دنیا مطالعات خود را در بهبود پوشش ساختمان و اثر آن در مصرف انرژی سوق داده‌اند [۲]. در ادامه انواع اجزای پوششی ساختمان، که برای صرفه‌جویی غیرفعال انرژی در ساختمان استفاده می‌شود، معرفی می‌گردند.

## دیوارها

دیوار از جمله اجزای مهم پوششی ساختمان است که آسایش حرارتی و صوتی را فراهم می‌کند. دیوارهایی با عایق حرارتی از مهم‌ترین عوامل در صرفه‌جویی مصرف انرژی در ساختمان محسوب می‌شوند. برای میزان عایق‌کاری دیوارها مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان ضوابطی را تعریف و تعیین نموده است [۳]. در عایق‌کاری دیوارهای خارجی، توجه به مسئلهٔ چگالش ناشی از تجمع رطوبت هوا در لایه‌های سرد دیوار بسیار حائز اهمیت است [۴]. این چگالش در دیوارهای خارجی ساختمان سبب رشد میکروب‌ها می‌شود، که خود باعث کاهش عمر دیوار و شرایط نامطلوب دیگر در داخل ساختمان می‌گردد. در مجموع دیوارها به سه دستهٔ دیوارهای چوبی، دیوارهای فلزی و دیوارهای آجری تقسیم می‌شوند. البته انواع پیشرفتهٔ دیوارها نیز وجود دارد که برای بهینه‌سازی انرژی در ساختمان‌ها استفاده می‌شود؛ مواردی که در ادامه معرفی خواهند شد.

## دیوارهای خورشیدی یا دیوارهای ترومب

دیوارهای خورشیدی اصطلاحاً دیوارهایی هستند که با عبور نور خورشید و به‌دام انداختن آن باعث گرمایش داخل ساختمان می‌شوند. این دسته از دیوارها اصولاً در مناطق سردسیر استفاده می‌شود. این نوع دیوارها برای نخستین‌بار توسط مورس در قرن ۱۹ میلادی ارتقا داده شدند و بعدها توسط ترومب[۳] دوباره طراحی شدند. در این نوع دیوارها ضخامت در حدود ۳۰ سانتی‌متر و در نمای جنوبی ساختمان برای جذب نور آفتاب استفاده می‌شود. شیشه‌کاری دیوار باعث اثر گلخانه‌ای و افزایش گرمایش در ساختمان می‌شود.



شکل ۱. نمایی از دیوارهای خورشیدی یا ترومب [۲]

## دیوارهای بتن سبک

دیوارهایی که با چگالی بتن کمتر از ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب ساخته شده باشند دیوار بتن سبک[۴] نامیده می‌شود. برای کارهای ساختمانی محدوده چگالی بین ۱۶۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و تنش تسلیم در حدود ۱۵ مگاپاسکال است. یک نوع دیگر دیوارهای بتن سبک، بتن متخلخل است که از پودر آلومینیوم برای تولید حباب‌های هوای کوچک استفاده می‌شود. محدودهٔ چگالی این دیوارها بین ۶۰۰ تا ۸۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب است. این نوع دیوارها برای نخستین‌بار در اوایل قرن بیستم میلادی در اروپا مطرح شد و در سال‌های اخیر در کشورهای در حال توسعه، برای استفاده در دیوارهای خارجی و داخلی، مورد توجه قرار گرفته است. انواع دیوارهای بتن سبک مخصوصاً در ساختمان‌سازی، که بتن کاربرد زیادی دارد و عایق‌کاری حرارتی مرسوم نیست، جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی بسیار مفید است.

## دیوارهای دوپوسته‌ای

دیوارهایی که از دو لایهٔ مجزا ساخته شده و بین دو لایه فاصله است به دیوارهای دوپوسته‌ای شهرت دارند. پوستهٔ خارجی معمولاً شیشه‌ای و پوستهٔ داخلی دیوار اصلی ساختمان است. دیوارهای دوپوسته‌ای انواع گوناگونی دارند. دو نوع مهم از این دیوارهای تهویه‌ای یکی تهویهٔ اجباری در بین دولایه و دیگری تهویهٔ طبیعی است. تحقیقات انجام‌شده توسط گروه تبدیل انرژی دانشگاه تربیت مدرس نشان داده است برای شرایط اقلیمی تهران حتی با استفاده جزئی از دیوارهای دوپوسته‌ای مصرف انرژی گرمایشی تا ۱۳ درصد و انرژی سرمایشی را ۱۶ درصد کاهش می‌دهد [۵]. در یک نمونه با طراحی خوب میزان مصرف انرژی برای سرمایش ساختمان در تابستان ۴۰ درصد کاهش داشته است [۶].

## دیوارهای با مواد تغییر فاز دهنده

مواد تغییر فاز دهنده[5] با ذخیره و آزادسازی گرما باعث کاهش مصرف انرژی برای گرمایش و سرمایش در ساختمان می‌شوند. این مواد معمولاً در دیوار بتن سبک استفاده می‌شوند تا ظرفیت حرارتی آن را افزایش دهند. مواد تغییر فاز دهنده را معمولاً به گچ یا بتن تزریق می‌کنند. ظرفیت حرارتی در این دیوارها بستگی به مقدار (درصد وزنی) تزریق شده دارد. میزان ذخیرهٔ انرژی این مواد ۵ الی ۱۴ برابر آب است. طراحی می‌تواند برمبنای ذخیرهٔ انرژی خورشیدی و یا انرژی الکتریکی در ساعت‌های ارزانی برق باشد. تحقیقات انجام‌شده نشان داده است میزان مصرف انرژی سرمایشی تا ۳۰ درصد و میزان مصرف انرژی برای گرمایش تا ۵ درصد را کاهش داده است [۷]. در تحقیقات انجام‌شده در گروه تبدیل انرژی دانشگاه تربیت مدرس میزان صرفه‌جویی در انرژی گرمایشی برای فصل زمستان را در یک ساختمان خاص تا ۲۲ درصد به‌دست آورد [۸].

## در و پنجره

در و پنجره نقش حیاتی در فراهم‌آوردن آسایش حرارتی و روشنایی در ساختمان دارد، هرچند که از نظر طراحی زیبایی ساختمان نیز مهم است. در سال‌های اخیر فناوری شیشه‌کاری[6] به‌طور فزاینده‌ای افزایش پیدا کرده است. این فناوری‌ها شامل شیشه‌های کنترل نور خورشید، شیشه‌های پوشش‌دار، روکش با ضریب نشر کم، شیشه‌های دوجداره و هواژل هستند. مطالعاتی که با ۱۰ نوع مختلف شیشه‌کاری مورد استفاده در پنج منطقهٔ آب‌وهوایی گوناگون انجام شده مشاهده شده است که انرژی مصرفی سالانه ساختمان علاوه بر هدایت حرارتی و ضریب بهرهٔ گرمایی از خورشید[7] پنجره به جهت‌گیری ساختمان، شرایط آب‌وهوایی و پارامترهای ساختمان از جمله سطح عایق‌کاری و سطح کف بستگی دارد. در ادامه انواع شیشه‌کاری معرفی می‌شود.

## هواژل

هواژل یکی از نویدبخش‌ترین مواد با کارایی عایق حرارتی بالا برای کاربردهای ساختمانی است [۹]. هواژل ماده‌ای جامد و متخلخل است که حجم تخلخل آن بالای ۵۰ درصد است. چگالی آن در حدود ۱ تا ۱۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب است. این ماده را می‌توان از مواد دیگر چون سیلیس، اکسید آلومینیوم، لانتانید و اکسید فلزات واسط به‌دست آورد. شیشه‌کاری هواژل در سال ۲۰۰۶ م وارد بازار شد.

## شیشه‌های دوجداره

در این نوع از پنجره‌ها فضای بین دو شیشه را نسبت به فضای بیرون کاملاً هوابند می‌کنند که مقدار U-value را تا مقدار ۱ وات بر متر مربع کلوین کاهش دهند. در بیشتر موارد روکش‌هایی با ضریب صدور کم در دو شیشه استفاده می‌شود تا از بازتابش به داخل جلوگیری شود [۱۰]. اگرچه چالش اصلی این است که کیفیت فضای بین دو شیشه در زمان طولانی‌تری برقرار باشد. انتقال حرارت در شیشه‌های

سه‌جداره نیز با مدلسازی و مطالعهٔ عددی با روش اجزای محدود بررسی و مشاهده شده که انتقال حرارت به میزان ۰/۲ وات بر متر مربع کلوین کاهش داشته است.

جدول ۱. مزایا و معایب اجزای پوششی ساختمان (دیوار)

| نوع دیوار | مزایا | معایب |
|---|---|---|
| دیوار ترومب | کاهش مصرف انرژی<br>جلوگیری از تغییرات دمایی روی سطح دیوار | ترموسیرکولاسیون معکوس در شب<br>هزینهٔ نصب نسبتاً زیاد |
| دیوار بتن سبک | مقاومت حرارتی زیاد<br>عایق صوتی و مقاوم در برابر آتش‌سوزی<br>کاهش بار مردهٔ ساختمان | مقاومت فشاری پائین |
| دیوار با مواد تغییر فاز دهنده | کاهش بار گرمایشی و سرمایشی<br>جلوگیری از نوسانات دمایی | آثار مخرب زیست محیطی |
| دیوار دوپوسته‌ای | کاهش بار سرمایشی و گرمایشی<br>عایق حرارتی و صوتی | مقاومت کم |

جدول ۲. مزایا و معایب اجزای پوششی ساختمان (پنجره)

| نوع پنجره | مزایا | معایب |
|---|---|---|
| هواژل | کاهش مصرف انرژی، عایق حرارتی و صوتی،<br>ضریب عبور نور خورشید بالا | استحکام فشاری پایین، هزینهٔ نسبتاً زیاد |
| شیشه‌های دوجداره | کاهش مصرف انرژی، عایق حرارتی و صوتی | کاهش کیفیت فضای بین دو شیشه در زمان طولانی |
| شیشه‌های شفافیت متغیر | کاهش مصرف انرژی، کاهش شدت نور به فضای داخل | هزینهٔ نسبتاً زیاد |
| فیلم دانه‌ای معلق | کاهش مصرف انرژی، جداکردن فضای داخل و بیرون | هزینهٔ نسبتاً زیاد |

## شیشه‌های شفافیت متغیر

در این نوع از شیشه‌ها شفافیت شیشه متغیر است و برای سرمایش ساختمان‌هایی که میزان دریافت نور زیادی دارند مناسب می‌باشند. در بعضی از انواع این شیشه‌ها خواص اپتیکی تابع تابش نور خورشید است. تحقیقات نشان داده می‌دهند که با استفاده از این پنجره‌ها میزان مصرف انرژی سالانه در دورهٔ ۲۵ ساله در یونان به مقدار ۵۴ درصد یا به‌عبارت دیگر ۶۳۸۸ مگاژول کاهش داشته است [۱۱].

## فیلم دانه‌ای معلق

فیلم دانه‌ای معلق[۸] بین دو شیشهٔ لایه‌لایه هستند که دارای دانه‌های مات و ریزی با قابلیت جذب نور هستند که به‌صورت تصادفی در حرکت هستند. وقتی که ولتاژی به آنها اعمال می‌شود در سطح شیشه به‌صورت عمودی و منظم قرار می‌گیرند بنابراین شیشه شفاف خواهد شد و میزان عبور نور خورشید (ضریب عبور) افزایش می‌یابد. همچنین زمان تغییر حالت از نامنظم به منظم در حدود ۱

ثانیه می‌باشد که از شیشه های شفافیت متغیر کمتر است. متغیربودن شفافیت این نوع پنجره‌ها باعث کاهش بار سرمایشی ساختمان خواهد شد.

## سقف‌ها

سقف‌ها از مهم‌ترین اجزای ساختمان هستند که همیشه در معرض نور خورشید و دیگر تغییرات آب‌وهوایی قرار دارند. بنابراین در آسایش داخل ساختمان تاثیر بسزایی دارند. سقف‌ها بالاترین مقدار از نظر دریافت نور را دارند. کاهش دمای سقف سهم قابل توجهی در کاهش مصرف انرژی در ساختمان دارد. در ادامه تدابیر گوناگون برای بهبود کارایی سقف‌ها معرفی شده است.

## سقف‌های سبک

این نوع از سقف‌ها از به‌هم وصل کردن قطعات آلومینیوم سبک در سیستم سقف تشکیل می‌شوند که در ساختمان‌های تجاری و دولتی به‌علت مقرون به‌صرفه بودن استفاده می‌شود. هرچند به‌علت اتصالات ضعیف در مقابل باد حساس هستند و خصوصیات حرارتی بدی دارند. دو راه برای رفع این وجود دارد یکی عایق‌کاری حرارتی و دیگری افزودن سطوح شفاف در سقف [۱۲]. راهکار مناسب دیگر برای عایق‌کاری حرارتی استفاده از پلی اورتان و پلی استرین‌هاست. این نوع سقف‌ها در استادیوم با سقف‌های بزرگ به ابعاد ۵۱ در ۴۱ متر با عایق پلی اورتان و سطوح شفاف سفید مورد استفاده قرار گرفته و مشاهده شده که مصرف انرژی ۵۳/۸ درصد در مقایسه با سطوح تاریک و عایق پشم شیشه صرفه‌جویی شده است [۱۲].

## سقف‌های تهویه‌ای

سقف‌های تهویه‌ای اساساً از دو دیوارهٔ بتنی برای تهویهٔ هوا از بین آنها ساخته می‌شوند. این کانال هوایی سبب کاهش انتقال حرارت از طریق سقف می‌شود. سقف‌های تهویه‌ای هم تأثیر غیر فعال دارند که با هدایت جریان هوا صورت می‌گیرد و هم می‌توانند تأثیر فعال داشته باشند که با نصب یک فن در پائین برای جابه‌جایی اجباری هوا در کانال صورت می‌گیرد. این سقف‌ها معمولاً در مناطق گرم مورد استفاده قرار می‌گیرند. مطالعاتی که در ایتالیا در تابستان انجام شده نشان می‌دهد که صرفه‌جویی در مصرف انرژی ۳۰ درصد بیشتر از زمانی است که از سقف‌های معمولی استفاده می‌شود. در فصل زمستان نیز بهتر است که کانال بسته شود [۱۳].

## سقف‌های بازتابشی

سقف‌های بازتابشی[۹] یا سقف‌های سرد میزان بازتابش و ضریب نشر بالایی دارند. این نوع سقف‌ها سطح سقف را در دمای پائینی نگه می‌دارند و از انتقال حرارت هدایتی به‌داخل ساختمان جلوگیری می‌کنند. دو عامل باعث افزایش کارایی حرارتی این سقف‌ها می‌شود یکی میزان بالای بازتابندگی و دیگری ضریب نشر بالای آنهاست. معمولاً سقف‌ها بازتابندگی در حدود ۰/۲۵ تا ۰/۰۵ دارند در صورتی‌که سقف‌های بازتابشی دارای بازتابندگی در حدود ۰/۶ دارند. اکثر سقف‌ها دارای ضریب نشر ۰/۸۵ و بالاتر هستند به استثنا فلزات که در حدود ۰/۲۵ است. برای به‌دست‌آورن تأثیر سقف‌های با بازتابندگی بالا بر مصرف انرژی برای سرمایش شش نوع گوناگون از ساختمان‌ها با سقف‌های بازتابنده در سه ناحیه از کلیفورنیا مورد بررسی قرار گرفت مشاهده شد که در مصرف انرژی برای سرمایش ساختمان ۵ تا ۴۰ درصد صرفه‌جویی شده است و صرفه‌جویی انرژی در اوج تقاضا بین ۵ تا ۱۰ درصد کاهش داشته است [۱۴].

## سقف‌های سبز

ساختمان‌هایی که در آنها تمام یا قسمتی از سقف را پوشش گیاهی تشکیل دهد سقف‌های سبز می‌گویند. اغلب سقف-های سبز یک لایه مانع ریشه، یک لایه برای زهکشی و یک لایه برای آبیاری می‌باشد. لایه‌هایی با بستر عمیق به

گیاهان با ریشه‌های بزرگ یا درختان اجازه رشد می‌دهد در حالی‌که لایه‌های با بستر کم عمق بیشتر برای گیاهان با ریشه‌های کوچک مناسب است. سقف‌های سبز نه‌تنها به‌عنوان منعکس‌کننده و جاذب نور، که به‌عنوان یک لایهٔ اضافی عایق حرارتی عمل می‌کنند. این سقف‌ها فقط به‌عنوان بهبوددهندهٔ عایق حرارتی‌اند و جایگزین عایق حرارتی نمی‌شوند. یکی از تحقیقات انجام‌شده در شرایط اقلیمی کلیفورنیا نشان می‌دهد که میانگین کاهش دریافت گرما در تابستان و هدر رفتن گرما در زمستان به‌ترتیب ۷۰ تا ۹۰ درصد و ۱۰ تا ۳۰ درصد کاهش یافته است [۱۵].

## سقف‌های فتوولتائیک

امروزه تلاش زیادی برای برای یکپارچه کردن این نوع سقف‌ها با ساختمان انجام شده است؛ مخصوصاً در کشورهایی که با محدودیت زمین مواجه‌اند. استفاده از این فناوری در سطح ساختمان یک راه‌حل مؤثر برای تأمین انرژی ساختمان است و کاشی‌های سقف‌های فتوولتائیک را می‌توان به‌صورت مستقیم به‌جای کاشی‌های سقف سنتی عوض کرد. به‌علت هزینهٔ پائین و انعطاف‌پذیری آن استفاده از آن در ساختمان‌ها به‌سرعت در حال رشد است. معمولاً عمر متوسط این مواد حدود ۳۰ سال است.

## سقف‌های سرمایش تبخیری

در سقف‌های سرمایش تبخیری از گرمای نهان تبخیر برای خنک‌کردن سقف ساختمان استفاده می‌شود. برای سرمایش تبخیری روش‌های گوناگونی وجود دارد. تکنیکی که برای مناطق گرمسیری برای سرمایش استفاده می شود مخزن آب در سقف است. بدین صورت که مخزن آب کم‌عمقی در بالای سقف که اطراف آن عایق می‌باشد و سطح عایق بالا متحرک می‌باشد. در تابستان قسمت عایق بالا، مخزن آب را در طول روز از تابش آفتاب می‌پوشاند و در طول شب برای خنک‌شدن آب محفظه کنار می‌رود. با استفاده از این روش دمای اتاق تا ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد در تابستان کاهش می‌یابد در زمستان نیز این فرایند معکوس می‌شود؛ بدین صورت که در طول شب محفظه بسته است و در روز کنار می‌رود [۱۶].

جدول ۳. مزایا و معایب اجزای پوششی ساختمان (سقف)

| نوع سقف | مزایا | معایب |
|---|---|---|
| سقف‌های سبک | کاهش مصرف انرژی با استفاده از عایق حرارتی | حساس در مقابل باد به‌علت اتصالات ضعیف چگالش در مناطق مرطوب |
| سقف‌های تهویه‌ای | کاهش مصرف انرژی | کاربرد در مناطق گرم |
| سقف‌های بازتابشی | کاهش مصرف انرژی | استفاده از موادی با ضریب نشر وبازتابندگی زیاد |
| سقف‌های سبز | کاهش مصرف انرژی | جایگزین عایق حرارتی نمی‌شود کاربرد بیشتر در مناطق سرد |
| سقف‌های فتوولتائیک | تأمین بخشی از انرژی ساختمان، انعکاس نور | هزینهٔ نصب زیاد |
| سقف‌های سرمایش تبخیری | کاهش مصرف انرژی | در دسترس نبودن آب |

## جمع‌بندی

مقاله حاضر به بررسی راه‌های نوین و متداول در طرح‌های مختلف اجزای پوششی ساختمان در صرفه‌جویی غیرفعال انرژی پرداخته است. امروزه با توجه به تقاضای روزافزون انرژی توجه به راهکارهای کاهش مصرف انرژی در

ساختمان بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. موارد ذکرشده به‌شدت به شرایط محیطی بستگی دارد و قبل از اجرا، باید امکان‌سنجی و ارزیابی اقتصادی لازم انجام شود. روش‌های غیرفعال، هرچند هزینهٔ اولیهٔ اضافی قابل توجهی داشته باشند، با کوچک‌کردن سیستم تهویه مطبوع و کاهش انرژی کل مصرفی ساختمان باعث جبران هزینهٔ اضافی می‌شوند.

## مآخذ


[1] D&R International. Buildings energy data book, *buildings technologies program, Energy efficiency and renewable energy*, U.S. Department of Energy press, 2009.

[2] Sadineni, B. Suresh, S. Madala, R. F. Boehm. "Passive building energy savings: A review of building envelope components." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*; 15(2011):3617-3631

[۳] امور مقررات ملی ساختمان، *مبحث نوزدهم: صرفه‌جویی در مصرف انرژی*، تهران، توسعهٔ ایران، ۱۳۸۹.

[4] Ciampi, M. F. Leccese, G. Tuoni. "Ventilated facades energy performance in summer cooling of buildings." *Solar Energy*, 75(2003):491-502.

[۵] صابونی، محمد آرمین. "کاربرد انرژی خورشیدی در ساختمان‌های مسکونی متداول با راه‌پله نما شیشه‌ای در اقلیم‌های گوناگون کشور." پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۹۰.

[6] Gratia, E. A. De. Herde, "Are energy consumptions decreased with the addition of a double-skin?" *Energy and Buildings*, 39(2007):605–619

[7] Rao, Zh. Sh. Wang, Zh. Zhang, "Energy saving latent heat storage and environmental friendly humidity-controlled materials for indoor climate." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(2012): 3136-45.

[۸] کیان‌پرور، سمیه. "تحلیل کاربرد مواد تغییر فاز دهنده در دیوار اتاق و برآورد میزان تأثیر آن بر کاهش مصرف انرژی گرمایشی در فصل زمستان." پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۸.

[9] Baetens, R. B., P. Jelle, A. Gustavsen. "Aerogel insulation for building applications: A state-of-the-art review." *Energy and Buildings*, 43(2011):761-69.

[10] Sullivan, R. F., A. Beck, D. K. Arasteh, S. E. Selkowitz. "Energy performance of evacuated glazings in residential buildings." *Transactions-American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers*, 102 (1996): 220-7.

[11] Papaefthimiou, S., E. Syrrakou, P. Yianoulis. "Energy performance assessment of an electrochromic window." *Thin Solid Films*, 502(2006): 257-264.

[12] Han, J. L .Lu, H. Yang. "Investigation on the thermal performance of different lightweight roofing structures and its effect on space cooling load." *Applied Thermal Engineering*, 29(2009):2491-99.

[13] Ciampi, M., F. Leccese, G. Tuoni. "Energy analysis of ventilated and microventilated roofs." *Solar Energy*, 79(2005):183-192.

[14] Akbari, H., R. Levinson, L. Rainer. "Monitoring the energy-use effects of cool roofs on California commercial buildings." *Energy and Buildings*, 37(2005):1007-16.

[15] Liu, K. J. Minor. “Performance evaluation of an extensive green roof.” *Presentation at Green Rooftops for Sustainable Communities*, Washington DC, pp. 1-11.

[16] Sanjay, M., P. Chand. “Passive cooling techniques of buildings: past and present-a review.” *ARISER*, 4(2008):37-46.

## پی‌نوشت

1. aerogel
2. building envelope
3. Trombe
4. lightweight concrete
5. phase change materials
6. glazing
7. solar heat gain coefficient
8. suspended particle devices (SPD) film
9. solar reflective

آدرس : خیابان حافظ ، روبروی دانشگاه صنعتی امیر کبیر ، کوچه آرژانتین ، پلاک ۲
فکس :۸۸۸۰۷۰۰۸ تلفن : ۸۸۸۹۲۱۴۴ ، ۸۸۸۹۵۹۶۹