نخستین کنفرانس ملی به سوی شهرسازی و معماری دانش بنیان

۳، اردیبهشت ماه، ۱۳۹۶، تهران، ایران

بهسازی انرژی عمیق یک ساختمان اداری در اقلیم گرم و خشک ایران

با نمای سازه‌ای (نمونه موردی: اصفهان)*

مولود کریمیان[۱]، ریما فیاض[۲]، بهروز محمدکاری[۳]

[۱] کارشناسی ارشد انرژی و معماری، دانشگاه هنر تهران
karimianmoloud@gmail.com

[۲] دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر تهران
fayaz@art.ac.ir

[۳] استادیار فیزیک ساختمان، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
kari@bhrc.ac.ir

چکیده

در تقلیل بحران انرژی فعلی، ساختمان های موجود نقش مهمی می‌توانند ایفا کنند. بخش قابل توجهی از ساختمان‌های موجود بدون در نظرگرفتن استانداردهای انرژی و پایداری ساخته شده‌اند و بهسازی آنها می‌تواند موجب کاهش آثار زیست محیطی، دستیابی به اهداف بین المللی و ملی شود. در حال حاضر بهسازی ساختمان‌های عمومی نیز در دستورکار سازمان ها و نهادهای مرتبط قرار گرفته است.

در این پژوهش یک ساختمان اداری به شکل حیاط مرکزی با قدمت ۴۳ سال و زیربنای ۳۷۰۰ مترمربع و دیوار باربر در سطح عمیق، بهسازی انرژی می‌شود. با هدف حفظ نمای ساختمان، حداقل های بهسازی انرژی پوسته در نرم افزار اپن استودیو مدلسازی شده و میزان صرفه جویی انرژی در چندین سناریو برای شیشه ها، درب دوم، عایق داخلی و سایبان به طور مجزا و سپس در سناریوهای مرکب با انرژی پلاس بدست آمده است. در این نمونه، بهترین صرفه جویی انرژی در سناریوی مرکب حدود ۱۹ درصد بود.

کلمات کلیدی

بهسازی انرژی عمیق، اقلیم گرم و خشک، ساختمان اداری، دیوار باربر، صرفه جویی انرژی

---

* این مقاله مستخرج از پایان نامهٔ کارشناسی ارشد نگارندهٔ اول با موضوع" بهسازی انرژی نمای ساختمان‌های موجود (نمونه موردی:ساختمان اداری در اصفهان)" به راهنمایی خانم دکتر ریما فیاض و آقای دکتر بهروز محمدکاری در دانشگاه هنر تهران است.

۱- مقدمه

با توجه به بحران انرژی و مصرف زیاد انرژی در بخش ساختمان ضروریست بهسازی انرژی ساختمان‌ها انجام شود و برای معاصرسازی آنها فناوری‌های جدید و منابع انرژی تجدیدپذیر مورد استفاده قرار گیرند. بهسازی انرژی ساختمان‌ها، بخشی مهمی از سرمایه گذاری برای کاهش کربن در شهرهاست و می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر بحران انرژی داشته باشد. همچنین باید توجه داشت حداکثر صرفه جویی انرژی در ساختمان‌های قدیمی بهسازی نشده ممکن است.

پس از بحران انرژی ۱۹۷۳، مقررات ساختمانی زیادی برای پوسته ساختمان مطرح شد و در ایران نیز مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان از سال ۱۳۷۰ به آن پرداخت. قوانین، پژوهش‌ها، نمونه‌های موردی و آزمایش‌های زیادی در کشورهای مختلف برای بررسی روش‌ها و راهکارهای مناسب بهسازی انرژی انجام شد و هم اکنون نیز در حال انجام است.

با وجود این، تحقیقات اندکی بر ساختمان‌های موجود در ایران انجام شده و به دلیل تعدد عوامل پیچیده (مصرف انرژی، هزینه، آسایش، مسائل زیست محیطی و ...)، روش بهسازی انرژی مناسب برای پوسته، به سهولت قابل شناسایی نیست. تکنولوژی‌های بهسازی انرژی زیادی شناخته شده هستند ولی تردید زیادی برای سودمندی و تأثیرگذاری تکنولوژی انتخابی در اقلیم و کاربری خاص وجود دارد که این امر با بررسی‌های دقیق، ممکن می‌شود (کریمیان،۱۳۹۵).

این مقاله، نتایج بهسازی انرژی عمیق یک ساختمان اداری دولتی در اصفهان را ارائه می‌دهد که در آن تنها صرفه جویی انرژی و آسایش حرارتی مدنظر قرار گرفته و از سایر عوامل صرف نظرشده است. با توجه به این امر که نمای ساختمان باید حفظ می‌شد روش‌های بهسازی محدود بودند.

۲- بهسازی انرژی

با توجه به بحران انرژی و اهمیت بخش ساختمان، بهسازی انرژی نقش قابل توجهی در بخش ساختمان پیدا کرده است.

۲-۱- تعاریف بهسازی

به سختی می‌توان تعاریف بهسازی ساختمان را در انتشارات گروه‌های حرفه‌ای مختلف این حوزه یافت و کمبود اطلاعات در این زمینه قابل توجیه است (Shah,2012). واژه‌ی"بهسازی" نیز به خوبی تعریف نشده است (Giebeler et al,2005). تعریف لغتنامه از بهسازی " اصلاح چیزی یا نصب قسمت‌های جدید است که هنگام ساخت آن شی، در دسترس نبودند". تعریف دیگر " افزودن اجزا یا لوازم به شی ای است که طی فرآیند ساخت، وجود نداشته است"(Oxford University Press,2010).

دسته بندی‌های مختلفی در بهسازی انرژی تعریف شده‌اند که یک نوع آن بر حسب میزان صرفه جویی انرژی است. بنابرین می‌توان گفت هر بهسازی در یکی از سطوح زیر قرار می‌گیرد :

۱- بهسازی سطحی (تا ۳۰٪ صرفه جویی)
۲- بهسازی متوسط (۳۰٪ تا ۶۰٪ صرفه جویی)
۳- بهسازی عمیق (۶۰٪ تا ۹۰٪ صرفه جویی)
۴- بهسازی تقریباً صفر انرژی (بیش از ۹۰٪ صرفه جویی)

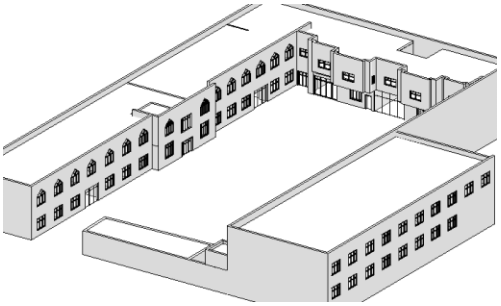
۲-۲- بیان مسئله

با نگرش زیست محیطی و تغییر اقلیمی، در ساخت و ساز جدید بر ساختمان‌های انرژی کارآ تأکید می‌شود، اما ساختمان‌های جدید درصد کمی از ساخت و ساز شهر را به خود اختصاص می‌دهند. با توجه به ساختمان‌های موجود و مصرف زیاد انرژی درآنها ضروریست بهسازی انرژی ساختمان‌ها ارتقا یابد (کریمیان، ۱۳۹۵). بهسازی ساختمان‌های عمومی نیز در دستورکار نهادهای وابسته به انرژی و پایداری قرار گرفته است. از طرفی بهتر است بهسازی پوسته‌ی ساختمان در ساختمان‌هایی با حداقل عمر ۲۰ سال انجام شود (Arias,2013). ساختمان‌های اداری متعددی در اصفهان در این دوره‌ی زمانی بررسی شدند و غالب آنها با توجه به تکنیک ساخت، نمای سازه‌ای داشتند و حفظ نمای موجود، اولویت داشت و در نتیجه محدودیت‌های زیادی به طرح بهسازی تحمیل می‌شد. این ساختمان‌ها ملزم به رعایت حداقل الزامات پوسته ساختمان هستند به شکلی که مداخله در نمای آنها به حداقل برسد. در ادامه یک مورد بررسی شده است:

۲-۳- معرفی ساختمان

این ساختمان اداری دوطبقه با مساحتی حدود ۳۷۰۰ مترمربع در جنوب شهر اصفهان واقع شده است.

شکل (۱) – ساختمان اداری موردنظر [۱]



شکل (۲) –مدل حجمی ساختمان [۱]

شکل (۳) –پلان همکف [۱]

شکل (۴) –پلان طبقه اول [۱]

۲-۴- طرح بهسازی

برای بررسی شرایط ابتدا وضعیت موجود ساختمان بررسی شد و سپس برای بهسازی، یکی از گزینه‌های بهینه انتخاب شد.

۲-۴-۱- وضعیت موجود

الف) پوسته :

- سیستم سازه‌ای : دیوار باربر
- دیوارها : در طبقه دوم ساختمان دوم، دیوارهای ۲۲ سانتیمتر/ سایر دیوارهای خارجی ۴۵ سانتیمتر و سایر دیوارهای داخلی ۳۵ سانتیمتر. لازم به ذکر است سرویس‌های کارکنان در حیاط قرار دارد و هیچ گونه همجواری با این ساختمان ندارد.

جدول ۱- گونه شناسی دیوارهای ساختمان از نظر حرارت

ردیف	ضخامت دیوار	موقعیت	مقاومت حرارتی
۱	دو آجره- ۴۵ ۴۸	دیوارهای خارجی	1.63
۲	یک آجره - ۲۲ ۲۴	دیوارهای خارجی طبقه دوم در ساختمان ۲	2.46
۳	دو آجره- ۴۵ ۴۷.۵	دیوار خارجی آشپزخانه سرایداری و نیمهی پایینی دیوار آبدارخانه ها	1.67

- وضعیت عایقکاری: دیوارها فاقد عایق حرارتی
- کف ساختمان: کف ساختمان ۳ روی انبار مدرسه است و کف ساختمان ۱و۲ در تماس با خاک است.
- سقف: از نوع طاق ضربی با مقاومت حرارتی ۳,۲۳ $m^2.K/W$ است.
- درها: تمام درهای ورودی ساختمان‌ها شیشه‌ای/ انبار و فناوری اطلاعات، چهارلنگه فولادی
- پنجره: با توجه به بررسی‌های ساده، نفوذ هوای قابل توجهی از پنجره‌ها وجود دارد.
- سایبان: ضلع جنوبی ساختمان یک در طبقه اول حدود ۲۵ سانتیمتر/ضلع غربی ساختمان دو در طبقه اول حدود ۲ متر/ مابقی پنجره‌ها فاقد سایبان

ب) تأسیسات :

- نوع سوخت جهت گرمایش : گاز، برق
- نوع سوخت جهت سرمایش : برق
- نوع سیستم گرمایش : بخاری، اسپیلیت
- نوع سیستم سرمایش : کولر آبی، اسپیلیت
- سیستم آب گرم : آبگرمکن خورشیدی، آبگرمکن گازی
- سیستم لوله کشی : روکار- روی نمای ساختمان
- وضعیت روشنایی : تمام فضاها در معرض نور خورشید

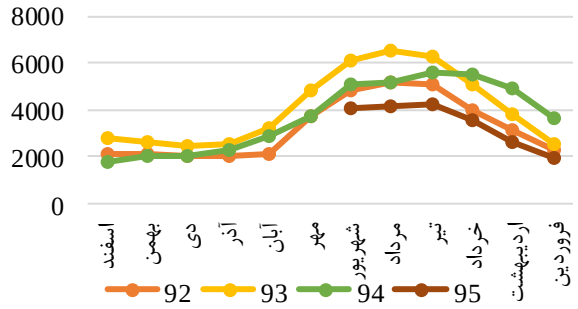
ج) مصرف انرژی :

حامل‌های انرژی مورد استفاده در این ساختمان گاز طبیعی و برق هستند. از گاز طبیعی برای گرمایش فضاها و پخت و پز استفاده می‌شود. جریان برق نیز در سیستم‌های روشنایی، سیستم سرمایش تبخیری کولرآبی، سیستم گرمایشی سرمایشی اسپیلیت و تجهیزات برقی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

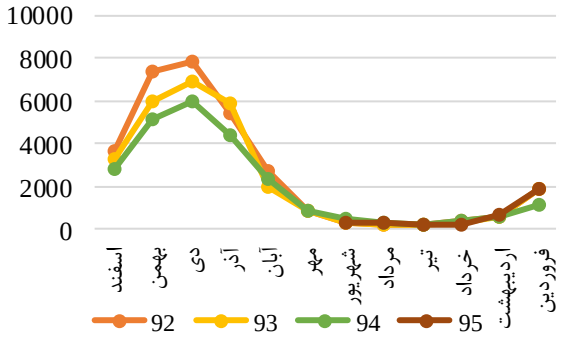
برای بررسی مصرف انرژی واقعی ساختمان و شناخت آن، مشخصات تجهیزات و قبض‌های مصرفی ساختمان جمع‌آوری گردید.

- مصرف برق و گاز در ساختمان و روز درجات

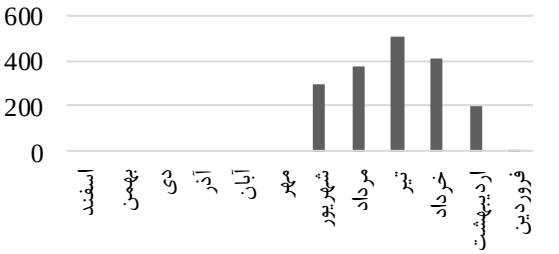
با پردازش قبوض ساختمان، مصارف ماهانه استخراج شد و نتایج زیر حاصل شد.



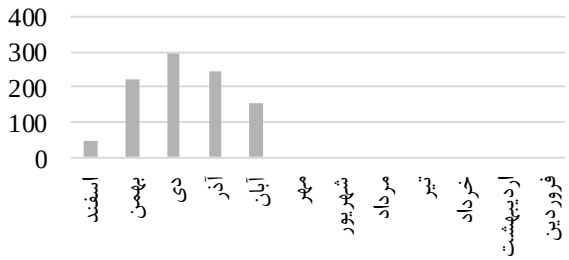
شکل (۵) -نمودار برق مصرفی ماهانه (کیلووات ساعت)،سال۹۲ تا ۹۵[۱]



شکل (۶) - نمودار گاز مصرفی ماهانه (مترمکعب)، سال ۹۲ تا ۹۵ [۱]



شکل (۷) –روزدرجه گرمایش اصفهان [۱]



شکل (۸) –روزدرجه سرمایش اصفهان [۱]

- بررسی مصرف حامل های انرژی در ساختمان

با بررسی قبوض گاز می توان دریافت که ساختمان در تمام ماه‌های سال، کف مصرفی نسبتاً ثابتی دارد که مربوط به پخت و پز و آبگرم مصرفی است و افزایش آن در پاییز و زمستان، مربوط به سیستم گرمایش بخاری است. قبض‌های برق نیز در تمام ماه‌ها، کف نسبتا ثابتی دارند که مربوط به روشنایی و تجهیزات اداری است. افزایش مصرف برق در ماه‌های گرم به دلیل استفاده از کولر آبی و اسپیلیت است و مصرف برق در ماه‌های سرد به دلیل استفاده از اسپلیت است. میانگین کل مصرف سالانه گاز در سال‌های بررسی شده، ۲۸۲۲۶ مترمکعب بوده است که حدود ۲۳۰ تا ۳۰۰ مترمکعب آن صرف تامین آبگرم و پخت و پز می‌شود و مابقی مربوط به سیستم گرمایش بخاری است که در ماه‌های سرد سال، اوج مصرف خود را دارد. لازم به ذکر است بخش عمده‌ای از آب گرم مصرفی واحد سرایداری با آبگرمکن خورشیدی تأمین می‌شود.

میانگین کل مصرف سالانه برق برابر با ۴۴۱۱۰ کیلووات ساعت می‌باشد. با استفاده از مشخصات تجهیزات و الگوی مصرف آنها، مصرف روشنایی و تجهیزات الکتریکی بین ۲۰۰۰ تا ۱۴۰۰ کیلووات ساعت تخمین زده شد. با در نظر گرفتن این اعداد و متوسط میزان مصرف برق در ماه‌های گرم سال، مقدار انرژی مصرفی برای کولرآبی و اسپیلت بین ۸۰۰ تا ۲۶۰۰ منظور می‌شود. طی دو سال اخیر با لامپ‌های کم مصرف و اصلاح الگوی مصرف ساکنین، مصرف برق کاهش یافته است.

- بررسی و مقایسه میزان مصرف حامل‌های انرژی در ساختمان

برای درک سهم حامل‌های انرژی، می‌توان میزان گاز طبیعی مصرفی را به واحد کیلووات ساعت تبدیل نمود و سپس مقادیر مصرف برق و گاز طبیعی را در ساختمان مقایسه کرد.

جدول ۲ - میزان مصرف و هزینه حامل‌های انرژی در سال ۹۴

حامل انرژی	میزان مصرف (کیلووات ساعت در سال)	میزان مصرف (٪)	ارزش مصرف (ریال)	ارزش مصرف (٪)
الکتریسیته	۱۶۷۶۳۴.۰۵	۸۶.۹۸	۳۷۴۲۶۳۶۱۰۹	۶۵.۸
گاز	۲۵۰۹۲.۹۹	۱۳.۰۲	۱۹۴۳۹۳۳۹۱۱	۳۴.۲
	۱۹۲۷۲۷.۰۴	۱۰۰	۵۶۸۶۵۷۰۰۲۰	۱۰۰

شکل (۹) – مصرف سالانه حامل‌های انرژی در ساختمان[۱]

(کیلووات ساعت)

طبق شکل ۹ ، بخش عمده نیاز انرژی بنا حدود ۸۷٪ از طریق الکتریسیته تامین می‌شود و با توجه به نرخ‌های عرضه برق و گاز به مشترکین در سال ۹۴، هزینه برق ،۶۶٪از کل هزینه انرژی ساختمان را شامل می‌شود.

- برچسب انرژی

برای تعیین برچسب انرژی ساختمان از گزارش"ساختمان‌های غیر مسکونی- تعیین معیار مصرف انرژی و دستورالعمل برچسب انرژی" سازمان ملی استاندارد ایران استفاده شده است.

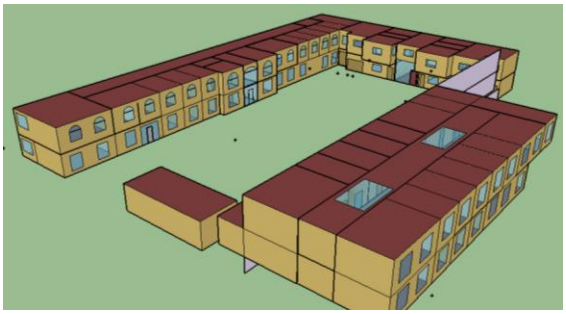
جدول۳- تعیین رده انرژی ساختمان

E actual (kwh/m²/year)	۲۰۰,۴۷
R	۲,۷
رده مصرف انرژی	**C**

براساس جدول۳ که جدول تعیین رده مصرف انرژی ساختمان براساس نسبت انرژی R می‌باشد و روابط موجود در گزارش سازمان ملی استاندارد مشخص گردید که رده انرژی ساختمان مزبور **C** می‌باشد.

- نحوه مصرف انرژی

پس از برداشت اطلاعات موردنظر از ساختمان، ابتدا در اپن استودیو مدلسازی شد و سپس در انرژی پلاس، تنظیمات لازم انجام شد و مدل کالیبره شد.



شکل (۱۰) - مدلسازی در اپن استودیو[۱]

۲-۴-۲- وضعیت بهینه

برای دستیابی به وضعیت بهینه به چند مورد باید توجه کرد که عبارتند از کاربر، پوسته ساختمان، تأسیسات. عامل مهم در این پژوهش، میزان صرفه جویی است که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

- کاربر :

در اولین مرحله‌ی بهسازی، باید تدابیر لازم برای کاربران ساختمان اتخاذ شود. کاربران این ساختمان با آگاهی نسبت به مصرف انرژی، از روشنایی لامپ‌ها خودداری کرده و با نورطبیعی و تنظیم پرده‌ها از نور خورشید بهره می‌برند. علاوه بر این طی چندسال اخیر، تمام تجهیزات خریداری شده از نوع کم‌مصرف هستند و از آبگرمکن خورشیدی برای آب‌گرم مصرفی اداره و واحد سرایداری استفاده می‌کنند.

- پوسته :

با توجه به این‌که آسیب قابل توجهی درپوسته ساختمان مشاهده نمی‌شود و ساختمان، نمای ارزشمندی دارد و با توجه به اهداف بهسازی انرژی، بهسازی بر مبنای حفظ ظاهر ساختمان و با هدف بهسازی عمیق، طراحی می‌شود. در این نمونه موردی، به دلیل باربر بودن دیوارها و استفاده از مصالح سنگین محدودیت‌های طرح بیشتر می‌شود.

سپس با توجه به حداقل‌های بهسازی انرژی پوسته، از نشریه‌ها و استانداردها استفاده شده و چند سناریو شبیه سازی می‌شود.

- صرفه جویی انرژی پوسته

سناریوهای زیر برای شبیه سازی پوسته مدل شد:

الف) سناریوهای شبیه سازی شده برای پنجره ها

G1: فیلم کم گسیل روی پنجره های موجود

G2: پنجره ی دوم- با شیشه ساده

G3: پنجره ی دوم- با شیشه ساده و فیلم کم گسیل

G4: پنجره ی دوم- با شیشه دوجداره و فیلم کم گسیل- گاز آرگون

G5: پنجره ی دوم- با شیشه دوجداره و فیلم کم گسیل

ب) سناریوهای شبیه سازی شده برای سایبان ها

Ssh1: سایبان ثابت افقی (شرق، غرب و جنوب) - ۷۰ سانتیمتر

Ssh2: سایبان ثابت عمودی (شرق، غرب و جنوب) - ۷۰ سانتیمتر

Ssh3: سایبان ثابت افقی (جنوب) و عمودی (شرق، غرب) - ۷۰ سانتیمتر

Ssh4: سایبان ثابت افقی (جنوب) و عمودی (شرق، غرب) - ۱۰۰ سانتیمتر

ج) سناریوهای شبیه سازی شده برای درهای ورودی

D: افزودن درب دوم و ایجاد فضای کنترل نشده در جلوی ورودی سه ساختمان و درب تعاون و کارگزینی

د) سناریوهای شبیه سازی شده برای عایق حرارتی داخلی

Ins1: پشم شیشه – ۲,۵ سانتیمتر

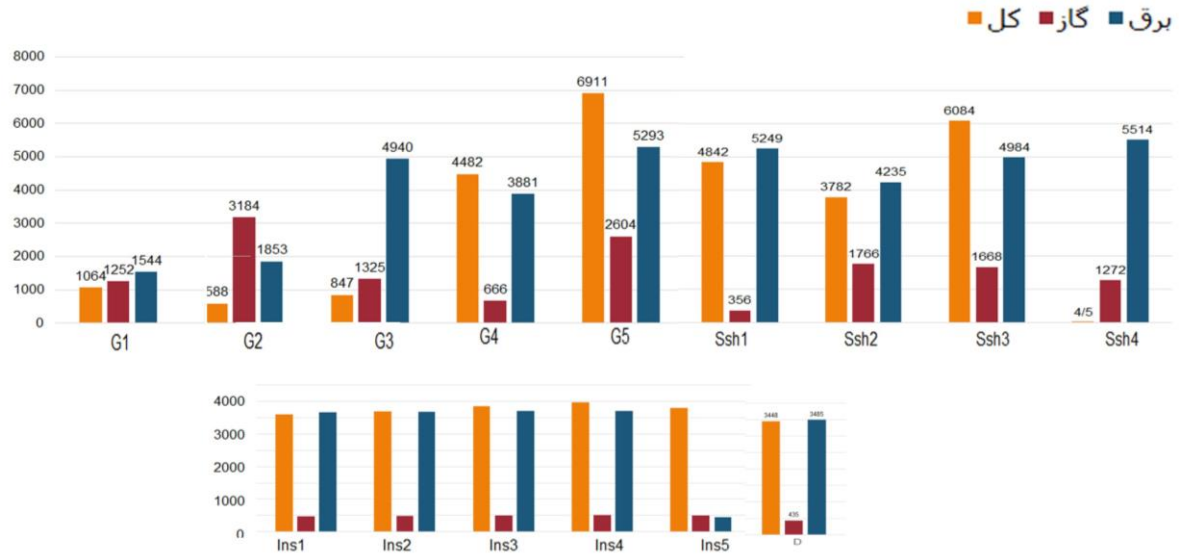
Ins2: پشم سنگ – ۲,۵ سانتیمتر

Ins3: پشم شیشه – ۵ سانتیمتر

Ins4: پشم سنگ – ۵ سانتیمتر

Ins5: عایق انعکاسی

در شکل ۱۱ مصرف برق و گاز این سناریوها مقایسه شده است.



شکل (۱۱) –مقایسه صرفه جویی انرژی سناریوها[۱]

و سپس با توجه به نتایج شبیه سازی، سناریوهای مرکب زیر شبیه سازی شد:

جدول۴- نتایج شبیه سازی سناریوهای مرکب

	برق(کیلووات ساعت)		گاز(کیلووات ساعت)		کل (کیلووات ساعت)	
وضعیت فعلی	٪ کاهش	مصرف	٪ کاهش	مصرف	٪ کاهش	مصرف
G5+D+Ssh3+Ins2	۶/۵۴	۴۴۱۱۰	.	۶۵۹۱/۱۵	.	۵۰۷۰۱/۱۸
G5+D+Ssh3+Ins4	۷/۶۲	۳۳۶۱/۱۸	۱۶/۲۱	۱۰۶۸/۴۲	۱۱/۳۸	۵۷۶۹/۷۹
G5+D+Ssh4+Ins2	۹/۵۵	۴۲۱۲/۵	۲۳/۷۷	۱۵۶۶/۷۲	۱۶/۷۲	۸۴۷۷/۲۴
G5+D+Ssh4+Ins4	۱۶/۷۱	۷۳۷۰/۷۸	۲۱/۶	۱۴۲۳/۶۹	۱۴/۳	۷۲۵۰/۲۷
			۲۷/۲۳	۱۷۹۴/۷۷	۱۹/۲۷	۹۷۷۰/۱۲

طبق جدول ۴، بهترین سناریو صرفه جویی انرژی ناشی از کلیه‌ی راهکارهای بهسازی پوسته حدود ۱۹٪ است.

- **تأسیسات** :

- اسپلیت(در برخی فضاها): اسپیلیت‌های ساختمان همگی با برچسب انرژی هستند و با نصب سایبان روی کندانسور، بازده آن‌ها می‌تواند افزایش یابد.

- کولرآبی(در برخی فضاها): کولرهای آبی خریداری شده در چندسال اخیر کم مصرف هستند ولی با نصب سایبان، بازده آن‌ها می‌تواند افزایش یابد.

- بخاری گازی: اقدامی صورت نمی گیرد.

- لامپ ها: تمامی از نوع کم‌مصرف هستند.

- تجهیزات: تجهیزات خریداری شده طی چندسال اخیر از نوع کم مصرف هستند.

- **منابع تجدیدپذیر** :

در این بخش فقط تجهیزاتی که در کشور در دسترس است مدنظر قرار می‌گیرد.

- گردآورنده خورشیدی: ساختمان از آبگرمکن خورشیدی استفاده می‌کند.

- سلول خورشیدی: با توجه به محاسبات مربوطه، ۷۴ سلول خورشیدی ۱۱۰ واتی برق مورد نیاز را تأمین می‌کنند. به عبارت دیگر این تعداد سلول خورشیدی به همراه اقدامات پوسته، باعث بهسازی عمیق ساختمان فوق شدند.

۳- نتیجه

در این مقاله، روش‌های مختلف بهسازی انرژی یک ساختمان اداری با دیوار باربر در اقلیم گرم و خشک اصفهان بررسی شد. پس از ممیزی انرژی، عملکرد حرارتی پوسته‌ی ساختمان بررسی شد. سپس طرح بهسازی پوسته در چند گزینه ارائه شد و میزان صرفه جویی انرژی در انواع گزینه‌های بهسازی با شبیه سازی بدست آمد. نتایج نشان داد میزان صرفه جویی انرژی ناشی از همه گزینه‌های بهسازی پوسته حدود ۱۹٪ است و برای دستیابی به بهسازی عمیق باید از تکنولوژی‌های فعال استفاده شود.

مراجع

[۱] کریمیان، مولود، **بهسازی انرژی نمای ساختمان های موجود (نمونه موردی: ساختمان اداری در اصفهان)**، کارشناسی ارشد، دانشگاه هنر تهران، تهران، (۲۱۴-۱۹۴) و (۲۱۹-۲۰۷)، ۱۳۹۵

[۲] Arias, A. S. M. (2013). **Facade Retrofit: Enhancing Energy Performance in Existing Buildings** (Doctoral dissertation, University of Southern California).

[۳] Giebeler, G., Fisch, R., Krause, H., Musso, F., Petzinka, K.-H., & Rudolphi, A. (2005). Refurbishment manual: maintenance, conversions, extensions. Basel: Birkhauser

[۴] Shah, S. (2012). Sustainable refurbishment. John Wiley & Sons.

[۵] Oxford University Press. 2010. "Oxford Dictionaries." Http://oxforddictionaries.com/view/entry/m_en_us1284701#m_en_us1284701.