

بررسی وضعیت مصرف انرژی و ارائه راهکارهایی جهت بهینه شدن آن مطالعه موردی: خوابگاه شهید شوریده دانشگاه صنعتی شریف

سعید ستوده یان، امیرحسین کرمانشاه، میثم کمالی، مسعود تجریشی

دانشجوی دکترا مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، sotoudeheian@mehr.sharif.ir

کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، ahkermanshah@mehr.sharif.ir

کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، meisamkamali_63@yahoo.com

دانشیار دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شریف، tajrishy@sharif.edu

چکیده

در سال‌های اخیر با توجه به رشد و افزایش جمعیت در مناطق شهری و محدودیت منابع انرژی، مصرف بهینه انرژی و کاهش تلفات آن از مهمترین مباحث مورد توجه دولت‌ها و محققین بوده است بطوریکه در کشورهای صنعتی به مدیریت مصرف انرژی به عنوان یک منبع جدید انرژی می‌نگرند. در این مقاله نتایج یک مطالعه میدانی به همراه ارائه الگویی کوچک از دانشگاه سبز، خوابگاه سبز، برای دانشگاه صنعتی شریف بیان شده است. اگر چه نتایج این مطالعه با محوریت یک خوابگاه است، ولی هدف نهایی پیاده سازی آن در مقیاس بزرگتر، در کل دانشگاه می‌باشد. در این مقاله در ابتدا با معرفی خوابگاه شهید شوریده در دانشگاه صنعتی شریف به بررسی نحوه مصرف گاز، برق و آب در این خوابگاه پرداخته شده و سپس نه راهکار اصلی در جهت بهینه شدن مصرف انرژی به منظور کاهش مخارج غیر ضروری ارائه شده است. در انتها با استفاده از روشهای مقایسه اقتصادی گزینه‌ها مانند ارزش فعلی خالص (NPV)، نرخ بازده داخلی (IRR) و دوره بازگشت سرمایه مشخص شد که سه راهکار کنترل هوشمند موتورخانه، کنترل هوشمند موتورخانه به همراه شیر برقی قطع و وصل و استفاده از سردوش کاهنده مصرف، مناسب‌ترین راهکارها برای کاهش مصرف انرژی در این خوابگاه بشمار می‌روند.

واژگان کلیدی: بهینه‌سازی مصرف انرژی، خوابگاه سبز، ارزیابی اقتصادی راهکارها، دانشگاه صنعتی شریف

مقدمه

با توجه به رشد جمعیت، حفاظت از منابع طبیعی به عنوان تولید کننده اصلی انرژی، یکی از مهم ترین چالش ها برای دولت ها در دنیا امروز می باشد. یکی از مباحث مهم در دنیای امروز مبحث انرژی و پیوند آن با الگوهای زندگی جوامع مختلف می باشد، به گونه ای که تمامی کشورهای جهان به دنبال روش هایی مناسب برای تامین انرژی و کاهش میزان مصرف آن می باشند. در سال های اخیر با توجه به رشد و افزایش جمعیت در مناطق شهری و محدودیت منابع انرژی، مصرف بهینه انرژی و کاهش تلفات آن از مهمترین مباحث مورد توجه محققین و پژوهشگران بوده است؛ بطوریکه در کشورهای صنعتی به مدیریت مصرف انرژی به عنوان یک منبع جدید انرژی می نگرند [۱].

یکی از وظایف مهم دانشگاه ها و مراکز علمی هر کشور فراهم نمودن بستر مناسب برای انجام تحقیقات نوین علمی و عملی در راستای توسعه پایدار و مدیریت مصرف انرژی است. دانشگاه ها می توانند با ایجاد مراکز و سازمان های تحقیقاتی پیشرو، نقش بسزایی در برنامه ریزی راهبردی مناسب در زمینه توسعه پایدار و مصرف بهینه انرژی داشته باشند. ایده دانشگاه سبز یکی از مهمترین این پروژه های تحقیقاتی در دانشگاه ها می باشد.

منظور از دانشگاه سبز دانشگاهی است که تمام فعالیتهای آن اعم از آموزشی و پژوهشی، دیدگاه بهداشت، ایمنی و حفاظت از محیط زیست و استفاده کارآمد و بهینه از منابع و مواد مصرفی در راستای تحقق اهداف مربوط به توسعه پایدار جامعه مورد نظر باشد. یکی از مهمترین اهداف دانشگاه سبز را میتوان ایجاد الگویی مناسب در ابعاد کوچک برای کل جامعه دانست. این در حالیست که در سالهای اخیر بسیاری از دانشگاههای معتبر جهان، برنامه های مختلفی را در زمینه دانشگاه سبز تهیه و اجرا نموده اند.

هدف اصلی از ارائه مطالعه حاضر، ارائه الگویی کوچک از دانشگاه سبز، خوابگاه سبز، برای دانشگاه صنعتی شریف می باشد. اگر چه این طرح با محوریت یک خوابگاه است، ولی هدف نهایی، پیاده سازی آن در مقیاس بزرگتر یعنی در کل دانشگاه می باشد. در این مطالعه در ابتدا به بررسی نحوه مصرف گاز، برق و آب در خوابگاه شهید شوریده دانشگاه صنعتی شریف پرداخته شده و پس از آن راهکارهای مختلف جهت بهینه سازی مصرف انرژی مورد بررسی قرار گرفته است. در انتها با استفاده از روش های برآورد اقتصادی راهکارهای مناسب جهت اجرا معرفی شده اند.

مروری بر کارهای انجام شده

در این بخش مطالعات صورت گرفته توسط دیگران در زمینه بهینه سازی مصرف انرژی در خوابگاهها و ساختمانهای آموزشی مورد بررسی قرار می گیرد تا با نگرشی بهتر به بررسی موضوع مورد نظر پرداخته شود. خدادادی به بررسی بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان خوابگاه دانشگاه اردبیل پرداخت و به این نتیجه رسید که عایق بندی باعث صرفه جویی ۲۳۵۱۵ متر مکعبی گاز طبیعی در سال می شود [۲]. قاسمی و صدری نقش طراحی و تاسیسات حرارتی و برودتی را در کاهش میزان مصرف انرژی در ساختمانهای آموزشی دانشگاه اصفهان مورد بررسی قرار داده و بیان نمودند که با عایق کاری پوسته های خارجی ساختمان یا استفاده از پنجره با شیشه های دو جداره می توان تا حداکثر ۴۰٪ در مصرف انرژی صرفه جویی نمود [۳].

نوری و همکاران با بررسی ساختمان علوم انسانی دانشگاه آزاد علوم تحقیقات به این نتیجه رسیدند که استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی، شیرهای ترموستاتیک و اعمال قوانین استاندارد ساختمان، می‌تواند سبب صرفه‌جویی ۱۲۷۳۹ مترمکعب گاز طبیعی در ساختمان شد [۴]. فضیلتی و عالم‌رجبی نقش پنجره‌های دو جداره در کاهش مصرف انرژی دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی اصفهان را مورد ارزیابی قرار دادند. این بررسی نشان داد که تعویض پنجره‌ها با پنجره‌های دو جداره نیاز به ۲۴ سال انتظار برای بازگشت سرمایه دارد. از طرفی آن‌ها به این نتیجه رسیدند که چنانچه دولت در این بخش سرمایه‌گذاری کند و متضمن هزینه‌ی تعویض پنجره‌ها گردد، سرمایه‌ی اولیه در ۲/۵ سال اول جبران خواهد شد [۵].

روش ارائه تحقیق

ضرورت اجرای بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمانها

بخش‌های مصرف کننده نهایی انرژی در کشور شامل خانگی-تجاری، صنعت، حمل‌ونقل و کشاورزی می‌باشند که مصرف آن‌ها رشد متوسط سالیانه ۵/۵ درصد را طی سالهای ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۳ داشته است [۶]. در بیشتر کشورهای دنیا مصرف انرژی در بخش خانگی، درصد بالایی از مصرف کل انرژی کشور را به خود اختصاص می‌دهد. این در حالی است که عوامل مختلفی از جمله رشد جمعیت، عملکرد اقتصادی مقرون به صرفه، سلیقه مصرف کننده، توسعه‌های تکنولوژیکی و سبک ساختمان بر میزان انرژی مصرفی در بخش مسکونی موثر می‌باشد. در بخش ساختمان، طراحی معماری بر اساس شرایط آب‌وهوایی و توجه به ذخیره انرژی، دستورالعملی مهم جهت دستیابی به بیشترین بازدهی در بخش مسکونی می‌باشد [۱].

در ایران بخش خانگی-تجاری با میانگین رشد مصرف سالیانه ۶/۷۶ درصد و سهم ۴۳ درصد از کل مصرف، بزرگترین حجم مصرف انرژی را به خود اختصاص می‌دهد. در جدول ۱ حجم مصرفی انرژی توسط بخش‌های مختلف برای سال‌های متفاوت ارائه شده است [۶]. در این میان میزان مصرف انرژی ساختمان‌ها در ایران در مقایسه با سایر کشورها و استانداردهای جهانی بسیار بالاست، بگونه‌ای که میانگین مصرف انرژی در ساختمان‌ها در کشور بیش از ۲/۵ برابر متوسط مصرف جهانی است [۷].

جدول ۱- مصرف نهایی انرژی کشور طی سالهای ۱۳۷۴-۱۳۸۳ [۶]

سال	خانگی-تجاری	صنعت	حمل‌ونقل	کشاورزی	جمع کل
۱۳۷۴	۲۱۳	۹/۱۳۰	۱۴۱/۹	۳۰/۹	۵۱۶/۷
۱۳۷۸	۲۵۱/۷	۱۳۰/۱	۱۷۰/۳	۳۰/۳	۵۸۲/۴
۱۳۷۹	۲۷۰/۹	۱۳۲/۶	۱۸۳/۴	۳۰/۸	۶۱۷/۷
۱۳۸۳	۳۴۲/۵	۱۶۴/۵	۲۳۴	۳۲/۲	۷۷۳/۲
میانگین رشد سالانه (درصد)	۶/۷۶	۲/۸۵	۷/۲۱	۰/۴۷	۵/۵۲
سهم از کل مصرف (درصد)	۴۳/۱۵	۲۲/۶۰	۲۹/۱۶	۵/۰۸	۱۰۰

واحد: میلیون بشکه معادل نفت خام

در این میان شهرهای بزرگ بویژه تهران به علت مصرف سوخت‌های فسیلی دارای آلودگی هوای بالایی می‌باشند. میزان این آلودگی‌ها در شهر تهران به دلیل جمعیت مصرف کننده زیاد، بسیار بالاتر از استانداردهای مصوب سازمان بهداشت جهانی است. بخش ساختمان و مسکن در ایران حدود ۲۶/۴ درصد از انتشار دی اکسید کربن را به خود اختصاص می‌دهد و انتشار دی اکسید کربن توسط این بخش در سال ۲۰۰۸ بیش از ۱۱۹ میلیون تن بوده است. همچنین ساختمان‌ها در استان تهران سالانه

بیش از ۲۹ میلیون تن دی اکسید کربن تولید می‌کنند که این مقدار بیش از ۴۰٪ کل دی اکسید کربن تولید شده در این استان می‌باشد. لذا کاهش انرژی مصرفی ساختمان‌ها از جنبه زیست محیطی نیز بسیار سودمند خواهد بود [۷].

در دهه اخیر تلاش‌های بسیاری جهت یافتن بهترین رویکرد ممکن به منظور کنترل انرژی مصرفی در ساختمان‌های تجاری و محدود کردن عواقب آن بر محیط‌زیست صورت گرفته است. ^۱ EEPBD، سطح کارایی انرژی مربوط به قوانین ساختمانی اروپا، نمونه‌ای از این تلاش‌ها می‌باشد. هدف از این قانون اطمینان یافتن از صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بدون برهم زدن شرایط محلی و آسایش ساکنین می‌باشد. این امر از طریق استفاده از یک روش سیستماتیک جهت ارزیابی عملکرد و بهینه‌سازی طراحی قابل دستیابی می‌باشد [۸].

تحقیقات انجام شده نشان داده است که کاهش حدود ۱۰ درصدی مصرف گاز در بخش خانگی - تجاری در سال ۱۳۸۵، معادل ظرفیت تولید یک فاز از پارس جنوبی (۲۵ میلیون متر مکعب در روز) می‌باشد. لذا با توجه به پتانسیل صرفه‌جویی در مصرف گاز طبیعی به میزان سالانه ۴۰ الی ۶۰ درصد در بخش خانگی - تجاری، بهینه‌سازی مصرف انرژی در این بخش از مهمترین راهکارهای پیشگیری از بحران انرژی در فصول سرد و جلوگیری از تبعات منفی اقتصادی آن می‌باشد. لازم به ذکر است که جهت رسیدن به شرایط مطلوب، اتخاذ تدابیر لازم در خصوص اجرایی شدن فرایند ذکر شده در بلند مدت از سوی دست اندرکاران انرژی کشور امری ضروری است [۶].

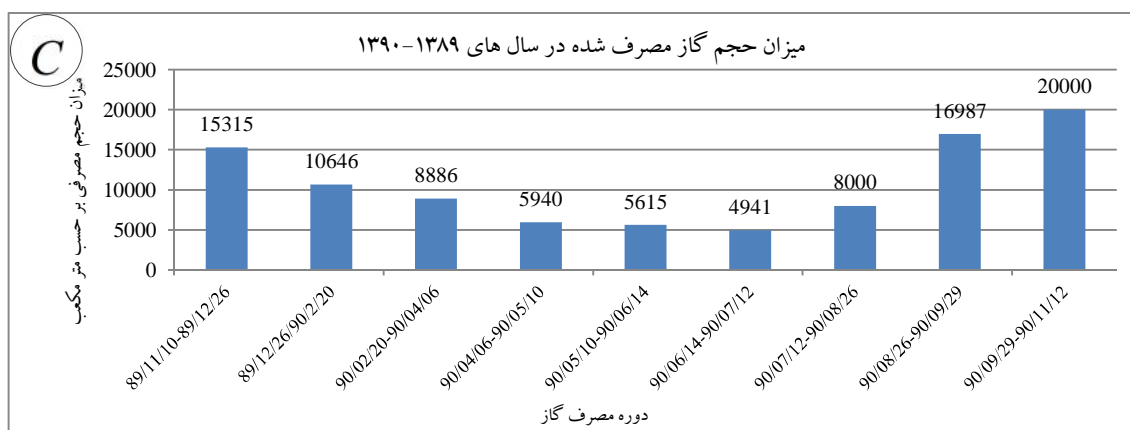
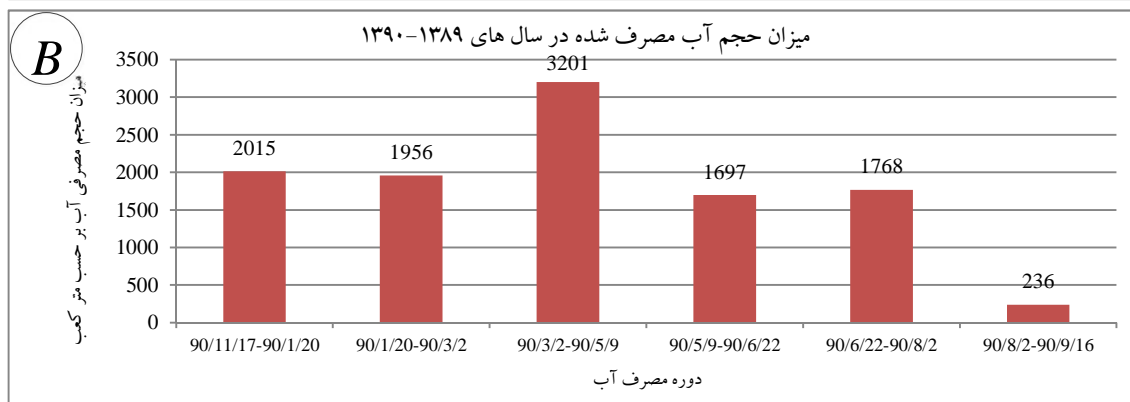
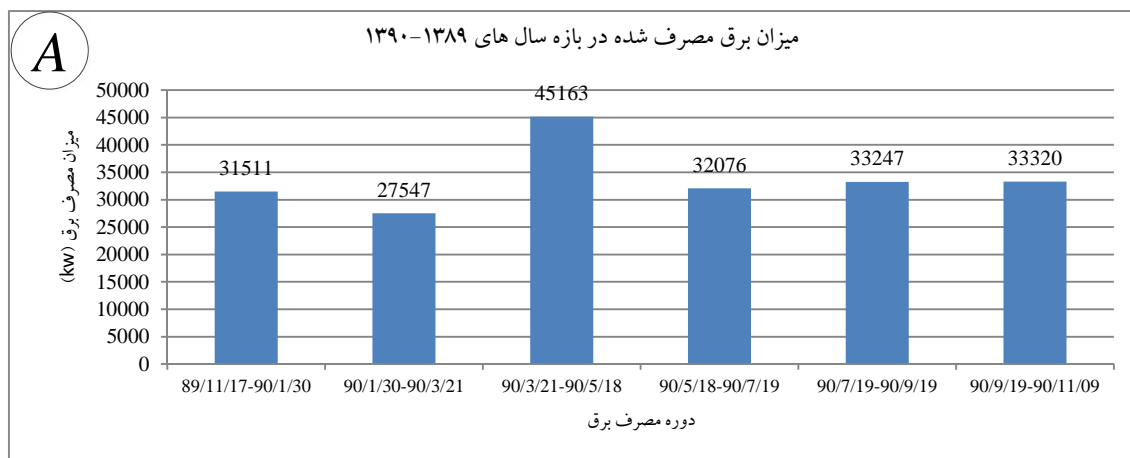
خوابگاه شهید شوریده

یک گام ضروری جهت کاهش میزان انرژی مصرفی و هم‌چنین بهبود بازده سیستم‌های تامین کننده انرژی، آگاهی‌یابی از نحوه کنونی مصرف انرژی در ساختمان می‌باشد. بررسی میزان استفاده از انرژی بویژه مربوط به ساختمان‌هایی مانند مدارس و دانشگاه‌ها می‌باشد، چراکه در این اماکن پروفایل مصرف ساکنین دارای یک سری خصوصیات منحصر بفرد می‌باشد (تغییرات بالا در بازه‌های زمانی کوتاه و اغلب بازه‌هایی با ساکنین کم اما غیر صفر). برای مثال محوطه دانشگاه MIT امکانات مناسبی را جهت مطالعه مصرف انرژی در این دانشگاه فراهم می‌سازد (با استفاده از شبکه یکپارچه تشکیل شده از ۱۰۰۰۰۰ سنسور جهت نمایش میزان مصرف در کل محوطه دانشگاه). یک راه دیگر جهت دستیابی به اطلاعات مورد نیاز، استفاده از شبکه WiFi وسیع توسعه داده شده در کل دانشگاه می‌باشد [۹].

ساختمان خوابگاه در سال ۱۳۸۰ جهت بهره برداری به عنوان خوابگاه توسط دانشگاه صنعتی شریف خریداری شد. مساحت زیر بنای این ساختمان ۳۷۰۰ متر مربع است و از دو بلوک مجزا تشکیل شده است. این ساختمان دارای ۴ طبقه می‌باشد و در مجموع از ۳۹ واحد مسکونی تشکیل شده است. به طور متوسط در هر واحد ۶ نفر ساکن هستند، که در مجموع تعداد ساکنین آن در حدود ۲۳۴ نفر می‌باشد.

¹. European Energy Performance of Building Directive

با بررسی فیش های برق، آب و گاز (مربوط به سال ۱۳۹۰) خوابگاه مشخص شد که هزینه مصرف سه پارامتر ذکر شده در طول یک سال تقریباً برابر ۲۴/۵ میلیون تومان می باشد که سرانه مصرف برق ۲۴۹۱ وات، سرانه مصرف آب ۱۴۹ لیتر و سرانه مصرف گاز ۱/۱۲ متر مکعب برآورد شده است. نحوه تغییرات این ۳ پارامتر در طی یک سال در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱- (A) میزان مصرف برق، (B) میزان مصرف آب و (C) میزان مصرف گاز بر حسب دوره مصرف در طی سالهای ۱۳۸۹-۱۳۹۰

ارائه راهکارهای کاهش مصرف

به منظور ارائه راهکارها و انتخاب گزینه‌های مناسب، شناسایی عوامل هدرروی انرژی در ساختمان خوابگاه امری ضروری می‌باشد. در این خوابگاه عوامل مختلفی که باعث هدر رفتن انرژی می‌شود عبارتند از:

- خالی بودن زمین مجاور خوابگاه
 - عدم درزگیری مناسب در و پنجره ها
 - عدم بسته شدن کامل در ورودی به ساختمان
 - عدم وجود سایبان بر روی کولرها و پارگی شلنگ کولرها
 - عدم عایقکاری لوله‌های ساختمان در بخش‌های مختلف
 - استفاده از ابزارآلات و تجهیزات قدیمی و غیرکارآمد در بسیاری از بخش‌های ساختمان
- با توجه به موارد اتلاف انرژی در خوابگاه به بیان راهکارهایی جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی پرداخته می‌شود. نحوه ارائه مطالب به این گونه است که در ابتدا راهکارهای تعیین شده ذکر می‌گردند و در ادامه میزان هزینه اولیه مورد نیاز جهت اجرای هر راهکار و سود سالانه در طی عمر مفید آن بیان می‌شود. لازم به ذکر است که این راهکارها به عنوان بخشی از ایده‌های ممکن و رایج جهت کاهش میزان مصرف انرژی بیان می‌شوند. برخی از راهکارهای ارائه شده به شرح زیر می‌باشند:

- استفاده از لامپ‌های کم مصرف به جای لامپ‌های مهتابی
- ایجاد موتورخانه هوشمند و کنترل هوشمند موتورخانه به همراه شیر برقی تابستانی زمستانی
- عایق کاری لوله‌ها و دیوارهای جانبی
- استفاده از پنجره‌های دو جداره
- استفاده از سردوش کاهنده مصرف آب
- استفاده از سنسور جهت کنترل آب خروجی از شیرآلات

بدین منظور راهکارهای ارائه شده از لحاظ میزان مصرف انرژی قبل و بعد از استفاده از آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند و سود حاصله از اجرای این راهکارها به همراه هزینه مورد نیاز جهت اجرا با در نظرگیری تمام جزئیات تعیین می‌گردد. با توجه به حجم بالای محاسبات انجام شده و محدود بودن تعداد صفحات مقاله از ذکر جزئیات خودداری کرده و نتایج نهایی صرفاً در قالب جداول تهیه شده بیان می‌گردد. لازم بذکر است که قیمت‌ها مربوط به سال ۱۳۹۰ می‌باشند.

راهکارهای مربوط به مصرف برق

جدول ۲- خلاصه وضعیت اقتصادی صرفه جویی در مصرف برق (روشنایی)

ردیف	توصیف عملکرد	سود حاصله (هزار تومان)	هزینه اجرا (هزار تومان)
۱	جایگزینی لامپهای کم مصرف با مهتابی در واحدها	۴۰۰	۱۰۳۶
۲	جایگزینی لامپهای کم مصرف با مهتابی در سایر مکانهای خوابگاه	۷۴	۱۳۳



راهکارهای مربوط به مصرف گاز:

جدول ۳- خلاصه وضعیت اقتصادی صرفه جویی در مصرف گاز

ردیف	توصیف اقدام	میزان صرفه جویی در سال (متر مکعب)	میزان صرفه جویی در سال (هزار تومان)	هزینه ایجاد (هزار تومان)
۱	موتورخانه هوشمند	۱۳۰۰۴۰	۱۲۴۲	۴۵۰
۲	موتورخانه هوشمند و شیر برقی	۲۶۰۰۹	۲۴۸۴	۱۳۹۰
۳	عایق کاری لوله‌ها	۸۶۷۰	۸۲۸	۲۲۳۳
۴	عایقکاری دیوار جانبی	۴۶۱۵	۴۸۰	۲۵۰۰
۵	پنجره دو جداره	۱۳۰۰۴	۱۲۴۲	۳۳۰۰۰

راهکارهای مربوط به مصرف آب:

جدول ۴- خلاصه وضعیت اقتصادی صرفه جویی در مصرف آب

ردیف	توصیف روش	میزان صرفه جویی در سال (متر مکعب)	میزان صرفه جویی در سال (هزار تومان)	هزینه ایجاد (هزار تومان)
۱	استفاده از سر دوش کاهنده مصرف	۲۲۹۲	۱۶۲۰	۱۸۸۰
۲	استفاده از سنسور جهت کنترل آب خروجی از شیر آلات	۳۳۴۳	۲۳۶۲	۷۸۴۰

مقایسه اقتصادی

یکی از محورهای مهم مطالعات امکان سنجی پروژه‌ها، ارزیابی اقتصادی آن‌ها می‌باشد. هر پروژه صرف نظر از نوع و اندازه آن، بایستی صرفه اقتصادی نیز داشته باشد. وجاهت اقتصادی یک پروژه حصول اطمینان از سودمندی سرمایه گذاری آن بوده و موجبات پایداری و ماندگاری آن را فراهم می‌سازد. در این مقاله ۹ راهکار جهت کاهش مصرف انرژی ارائه شده و هزینه اولیه و سود سالانه حاصله در طول عمر مفید پروژه محاسبه شده است. در این بخش با استفاده از روش‌های رایج جهت ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها، راهکارهای مورد نظر بررسی شده و مناسب‌ترین طرح از لحاظ مطلوبیت اقتصادی جهت اجرا معرفی گردد. روش‌های مورد استفاده جهت ارزیابی اقتصادی راهکارهای مورد نظر عبارتند از:

ارزش فعلی خالص ((Net Present Value (NPV))

ارزش فعلی خالص در علم اقتصاد مهندسی، یکی از روش‌های استاندارد ارزیابی طرح‌های اقتصادی می‌باشد. در این روش، جریان نقدینگی (درآمدها و هزینه‌ها) بر پایه زمان وقوع (درآمد یا هزینه) به نرخ روز تنزیل می‌شود. به این ترتیب در جریان نقدینگی، ارزش زمان انجام هزینه یا به دست آمدن درآمد نیز لحاظ می‌گردد. ارزش فعلی خالص در محاسبات اقتصادی، اقتصاد مهندسی، بودجه کشورها و مباحث اقتصاد خرد و کلان، تجارت و صنعت به‌طور گسترده‌ای به کار می‌رود [۱۰]. با استفاده از فرمول

زیر می‌توان ارزش فعلی خالص را برای هر یک از راهکارهای پیش‌رو محاسبه نمود. اگر این عدد مثبت باشد، طرح سودآور و قابل قبول بوده و اگر منفی باشد، طرح زیان‌ده و غیر قابل اجرا (از نظر اقتصادی) است.

$$NPV = \frac{R_1 - C_1}{1+r} + \frac{R_2 - C_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{R_n - C_n}{(1+r)^n} \quad (1)$$

R_i : درآمد سال i ام

C_i : هزینه سال i ام

r : نرخ تنزیل

n : عمر طرح

لازم به ذکر است که نرخ تنزیل همان نرخ بهره است که تحلیل‌گران در محاسبه ارزش فعلی جریان‌های نقدی آتی به کار می‌برند و سه فاکتور بهره خالص، صرف ریسک و تورم پیش‌بینی شده را شامل می‌شود [۱۱].

نرخ بازده داخلی (IRR) (Internal Rate of Return)

طبق تعریف نرخ بازده داخلی (IRR) معادل نرخ سودی است که سرمایه‌گذار می‌تواند با سرمایه‌گذاری در یک طرح بدست آورد. در واقع طرح مشابه یک بانک عمل نموده و به سرمایه‌گذاری که در آن سپرده‌گذاری می‌نماید، با یک نرخ سود که همان IRR است از محل درآمد سالیانه سود ارائه می‌نماید. شاخص IRR از جمله پرکاربردترین شاخص‌های مالی است که می‌توان با استفاده از آن توجیه‌پذیری مالی طرح را در مقایسه با شرایط معمول سرمایه‌گذاری در کشور بدست آورد. محاسبه شاخص IRR برای یک طرح در ارتباط تنگاتنگ با فرمول محاسبه شاخص NPV می‌باشد. براساس نمودار NPV نسبت به نرخ تنزیل، شاخص نرخ بازده داخلی محل تلاقی نمودار با محور افقی می‌باشد. لذا شاخص IRR نرخ تنزیلی است که به ازای آن نرخ تنزیل، شاخص NPV طرح معادل صفر گردد [۱۲].

$$NPV = \sum_t^n \frac{R_t - C_t}{(1+r)^t} = 0 \quad (2)$$

حال قبول سرمایه‌گذاری در صورتی ممکن خواهد بود که نرخ بازگشت داخلی آن برابر یا بزرگتر از هزینه سرمایه‌گذاری شده باشد. در صورت یکسان بودن سایر شرایط، اگر میزان خالص سرمایه‌گذاری دو طرح مساوی باشد ولی نرخ بازده داخلی آنها متفاوت باشد، طرحی که دارای نرخ داخلی بیشتری است بر دیگری برتری دارد [۱۳].

در محاسبه نرخ بازده داخلی، ارزش زمانی پول در نظر گرفته می‌شود و این امر نقطه قوت این معیار است. با استفاده از این معیار، متوسط نرخ بازده سالانه طرح‌های مختلف سرمایه‌گذاری را با توجه به جریان‌های نقدی محاسبه می‌کنند. بیان نرخ بازده داخلی به صورت درصد مزیت بزرگی است، زیرا بیشتر مدیران به راحتی می‌توانند میزان مطلوب بودن یک طرح را با توجه به نرخ بازده داخلی تشخیص دهند.

دوره بازگشت سرمایه (Payback Period (PBP))

مدت زمانی است که در آن مجموع جریان‌های نقدی ورودی با مبلغ خالص سرمایه‌گذاری برابر می‌شود. به عبارت دیگر مدت زمانی است که در آن طرح به نقطه سر به سر می‌رسد و از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$PBP = \frac{K}{NCF} \quad (3)$$

PBP: دوره برگشت سرمایه،
K: هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و

NCF: جریان نقدی سالانه که برای تمام سال‌ها مساوی است.

روش‌های قبلی سودآوری پروژه‌ها را بیان می‌کنند، در صورتی که این روش سرعت بازگشت سرمایه را تعیین می‌نماید. لذا این روش بعنوان یک روش کمکی و نه یک روش مستقل در ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها بکار گرفته می‌شود. در شرایط خاص اقتصادی ممکن است سرعت بازگشت سرمایه در کنار سودآوری آن نیز مورد توجه سرمایه‌گذار قرار گیرد. لذا در این روش ارزش کنونی سرمایه‌گذاری و درآمدها برای دوره مجهولی از افق برنامه‌ریزی پروژه برابر صفر قرار می‌گیرد تا دوره بازگشت سرمایه محاسبه شود [۱۳].

نتایج حاصل از بررسی سه روش گفته شده در بالا برای راهکارهای پیشنهادی در جدول ۵ آورده شده است. با توجه به مطالب گفته شده راهکار مطلوب راهکاری است که دارای ارزش فعلی خالص و نرخ بازده داخلی بالاتر و دوره بازگشت کوتاه‌تر باشد.

جدول ۵: مقایسه اقتصادی پروژه‌ها از سه روش NPV، IRR و PBP

ردیف	راهکارهای پیشنهادی	هزینه اولیه (هزار تومان)	عمر مفید (سال)	هزینه سالانه (هزار تومان)	سود سالانه (هزار تومان)	NPV (هزار تومان)	IRR	PBP
A	کنترل هوشمند موتورخانه	۴۵۰	۵	۱۴۱	۱۲۴۲	۳۵۸۹	۳۶۶۲	۰/۳۶
B	کنترل هوشمند موتورخانه به همراه شیر برقی قطع و وصل	۱۳۹۰	۵	۴۳۵	۲۴۸۴	۶۷۵۹	۳۰۵۲	۰/۵۶
C	عایقکاری لوله	۲۲۳۳	۲۰	۳۹۷	۸۲۸	۲۷۵۱	۰/۵۹	۲/۷
D	عایقکاری دیوار جانبی (پلی یورتان)	۲۵۰۰	۲۰	۴۴۴	۴۸۰	۵۶۵	۰/۲۳	۵/۲
E	پنجره دوجداره	۳۱۰۰۰	۱۰	۶۶۵	۱۲۴۲	-۲E+۰۴	-۰/۱۷	۲۶/۶
F	استفاده از سردوش کاهنده مصرف	۱۸۸۰	۵	۵۸۸	۱۶۲۰	۳۵۷۶	۶/۲	۱/۱۶
G	استفاده از لامپ‌های کم مصرف در اتاق‌ها	۱۰۳۶	۳	۴۶۹	۴۰۰	-۲/۵	۰/۱۶	۲/۵۹
H	استفاده از لامپ‌های کم مصرف در مکان‌های عمومی	۱۳۳	۲	۸۴	۷۴	۴	۰/۲۶	۱/۸
I	استفاده از سنسور جهت شیرهای آب (ظرفشویی و روشویی)	۷۸۴۰	۵	۲۴۵۱	۲۳۶۳	۸۵۸	۰/۲۶	۳/۳

لذا با کنار هم قرار دادن پارامترهای تعیین شده و مقایسه آن‌ها با یکدیگر می‌توان به این نتیجه رسید که سه اقدام بیان شده در زیر دارای شرایط مطلوب بوده و از لحاظ اجرا دارای اولویت می‌باشند:

- کنترل هوشمند موتورخانه

- کنترل هوشمند موتورخانه به همراه شیر برقی قطع و وصل
- استفاده از سردوش کاهنده مصرف

جمع بندی و نتیجه گیری

با توجه به اهمیت مسئله بهینه سازی مصرف انرژی در بخش های مختلف کشور بالاخص مراکز وابسته به دولت از جمله دانشگاه ها، در این تحقیق میزان انرژی مصرفی در خوابگاه شهید شوریده دانشگاه صنعتی شریف به عنوان نمونه مورد بررسی قرار گرفته و می توان از نتایج این مقاله جهت کاهش مصرف انرژی در دیگر خوابگاه ها استفاده نمود.

با توجه به میزان مصرف انرژی در بخش های مختلف خوابگاه و سهم هر یک از آن ها در ایجاد هزینه مالی آورده شده در متن مقاله، ۹ راهکار جهت بهینه سازی مصرف انرژی ارائه و بررسی شده است. همان طور که گفته شده مبنای ارائه این راهکارها اتلاف انرژی بیش از حد در بعضی از بخش های خوابگاه می باشد و این راهکارها نیز جهت کاهش این مصارف ارائه شده است. برای هر یک از راهکارها نیز هزینه اولیه و سود سالانه مشخص شده است. در انتها نیز راهکارهای مطرح شده مورد ارزیابی اقتصادی قرار گرفته و بهترین راهکارها جهت اجرا تعیین گردیده اند.

نتایج بررسی ۹ راهکار پیشنهادی با استفاده از ۳ روش ارزیابی اقتصادی گزینه ها نشان دادند که ۳ راهکار کنترل هوشمند موتورخانه، کنترل هوشمند موتورخانه به همراه شیر برقی قطع و وصل و استفاده از سردوش کاهنده مصرف سودمندترین گزینه های اجرایی در خوابگاه شهید شوریده می باشند و برای بهینه شدن مصرف انرژی، اجرای این راهکارها در اولویت قرار دارند.

بررسی ها نشان می دهد که بطور تقریبی در صورت استفاده از راهکارهای ارائه شده هزینه سالانه استفاده از انرژی در خوابگاه به میزان ۲۰-۱۵ درصد کاهش می یابد. البته لازم به ذکر است که درصد بیان شده مربوط به یک سال می باشد و در صورت در نظر گیری عمر مفید راهکارها به عنوان مدت زمان مورد نظر جهت سودمند بودن آن ها، میزان درصد صرفه جویی افزایش می یابد. از آنجایی که اجرای طرح هایی که قابلیت برآورد اقتصادی (سرمایه گذاری اولیه و سود سالانه) را ندارند می تواند سبب کاهش بخشی از انرژی مصرفی شوند لذا در ادامه پیشنهاداتی جهت کاهش مصرف انرژی بیان شده و توضیحاتی در مورد هر یک بیان می گردد:

- استفاده از عایق های ویژه بر روی پنجره ها

پنجره ها از نظر صرفه جویی انرژی نقش حساسی دارند، چرا که حدود ۳۰٪ از کل تلفات حرارتی ساختمان از پنجره ها صورت می گیرد. طبق محاسبات صورت گرفته در بخش ارزیابی اقتصادی استفاده از پنجره دو جداره مقرون به صرفه به نظر نمی رسد. لذا سیستم عایق ویژه پنجره می تواند جایگزینی برای سیستم پنجره های قدیمی باشد. این برچسبها باعث می شوند ورود گرما در تابستان تا ۸۰٪ کاهش یابد. علاوه بر این انواع کم تابش این محصولات (Low-E) قادرند تلفات حرارتی زمستانی را نیز تا ۳۰٪ کاهش دهند [۱۴].

- درزبندی ساختمان

استفاده از درزگیر سبب کاهش ۳/۵٪ مصرف گاز در ساختمان می شود. با توجه به اینکه میزان مصرف گاز در خوابگاه در یک سال ۹۶۳۳۰ مترمکعب است، در نتیجه با استفاده از این درزگیرها در حدود ۳۳۷۰ مترمکعب در مصرف گاز طبیعی صرفه جویی می شود.

- بررسی ترموستات های شوفاژها

به دلیل عدم آشنایی دانشجویان با ترموستات های شوفاژ، این بخش از سیستم گرمایشی دارای کارایی کافی نمی باشد. بررسی ها نشان می دهد که استفاده از این شیرآلات سبب صرفه جویی ۲۰٪ در مصرف سوخت می گردد.



مراجع:

1. Design an Optimum Pattern of Orientation in Residential Complexes by Analyzing the Level of Energy Consumption (Case Study: Maskan Mehr Complexes, Tehran, Iran) Foad Faizi*, Marzieh Noorani, Abdolkarim Ghaedi, Mohammadjavad Mahdavinjad, Procedia Engineering 21 (2011) 1179 – 1187
۲. خدادادی، محمدرضا، "بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان خوابگاههای دانشگاهها" سومین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان، ۱۳۸۲
۳. قاسمی، بوذر جمهر، و ارسلان صدری، ملک، "بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمانهای آموزشی (دانشگاه اصفهان)" چهارمین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان، ۱۳۸۴
۴. نوری، جعفر، برقی پور، راحله، طاهری، علیرضا، و میر حیدری، فائزه. "ممیزی و استقرار سیستم مدیریت انرژی در مجتمع های آموزشی" پنجمین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان، تهران، ۱۳۸۵.
۵. فضیلتی، محمد علی، و عالم رجبی، علی اکبر، "پتانسیل کاهش مصرف سوخت در ساختمانهای اداری" پنجمین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان، تهران، ۱۳۸۵.
۶. شاهرودی، مهدی، "اثر بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمانها بر سیستم عرضه و تقاضای انرژی کشور" مجله اقتصاد انرژی، شماره ۹۹، ۱۳۸۶.
۷. نصراللهی، فرشاد، "ضوابط معماری و شهرسازی کاهش دهنده مصرف انرژی ساختمانها" نشست کمیته ملی انرژی ایران، ۱۷ اسفند ۹۰

8. A systematic methodology for optimising the energy performance of buildings in Bahrain Hassan Radhi, School of Architecture, University of Sheffield, United Kingdom, Energy and Buildings 40 (2008) 1297–1303

9. ENERNET: Studying the dynamic relationship between building occupancy and energy consumption Claudio Martani*, David Lee, Prudence Robinson, Rex Britter, Carlo Ratti, Energy and Buildings 47 (2012) 584-591

10. http://en.wikipedia.org/wiki/net_peresent_value

۱۱. میثم جعفریگی، بررسی اقتصادی چهار راهکار کاهش مصرف انرژی در مجتمع مسکونی: مطالعه موردی بلوک A3 شهرک

اکباتان ، دانشگاه آزاد واحد تهران مرکز، ۱۳۹۰

<http://www.bamdadgharn.ir/index.php/articles/41-financial-and-economic/>. ۱۲

۱۳. حسین اسلامی، ارزیابی اقتصادی پروژه های سرمایه گذاری، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف

۱۴. <http://www.ifco.ir> سایت سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور