



ممیزی انرژی در ساختمان های مسکونی شهر مشهد و مقایسه کارایی مصرف گاز در سیستم های گرمایشی متفاوت

(مطالعه موردی: شهر مشهد)

تقی ابراهیمی سالاری^۱، مینا محتشمی^۲، سیده عاطفه ضیائی^۳، نرگس صالح نیا^۴

دانشگاه فردوسی مشهد

ebrahimi_t@yahoo.com

چکیده:

مطابق با آمار انرژی سالیانه کشور، بیش از یک سوم انرژی در بخش ساختمان مصرف می شود. متأسفانه اعمال سیاست های حمایتی و پرداخت یارانه ها در زمینه عرضه انرژی باعث شده تا میزان انرژی مصرفی ساختمان های کشور ۲ تا ۳ برابر استانداردهای جهانی باشد. با توجه به اتلاف بسیار زیاد انرژی در ساختمان های موجود، و نیز کارایی پایین سیستم های گرمایشی، بررسی میزان مصرف انرژی هر ساختمان بصورت علمی امری و صرف منابع و امکانات برای بهبود راندمان و کاهش مصرف گاز برای مصارف گرمایشی در اولویت می باشد. این تحقیق به مقایسه مصرف گاز خانوارهای مشهدی در غالب سیستم های گرمایشی متفاوت با استفاده از اطلاعات مندرج در قبض های گاز ساختمان های شهر مشهد، سالنامه های هواشناسی و به منظور تعیین ضریب انتقال حرارت عملکردی دیواره های خارجی ساختمان و مقایسه آن با مقادیر مجاز و استاندارد صورت گرفته است. نتایج این پژوهش نشان می دهد که ضریب انتقال حرارت در ساختمان های مورد مطالعه در شهر مشهد با میزان استاندارد آن فاصله زیادی دارد و این امر لزوم بهینه سازی صحیح در ساختمان های شهر را نشان می دهد. همچنین مقایسه مصرف گاز ساختمان هایی که از سیستم پکیج (به همراه بخاری) استفاده می کردند و کسانی که بخاری داشتند نشان می دهد میان مصرف گاز این دو گروه از نظر آماری اختلاف معناداری وجود نداشت. اما مقایسه مصرف گاز میان دو گروه مشترکینی که از روش های بهینه سازی در ساختمان استفاده کردند و ساختمان هایی که فاقد هر گونه بهینه سازی بود از نظر آماری اختلاف معناداری مشاهده می شود. از رو جهت کاهش مصرف گاز در بخش خانگی، سرمایه گذاری جهت بهینه سازی ساختمان نسبت به بهینه سازی سیستم گرمایشی در اولویت قرار می گیرد؛ زیرا استفاده از سیستم گرمایشی با کارایی بیشتر بدون توجه به بهینه سازی و عایق بندی ساختمان نمی تواند به شکل چشمگیری در مصرف گاز صرفه جویی به همراه داشته باشد.

واژگان کلیدی: قبض گاز، بخش خانگی، سیستم های گرمایشی، ضریب انتقال حرارت، مشهد.

^۱ . استادیار گروه اقتصاد دانشگاه فردوسی مشهد

^۲ . دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی دانشگاه فردوسی مشهد

^۳ . دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی دانشگاه فردوسی مشهد

^۴ . دانشجوی دوره دکتری اقتصاد انرژی دانشگاه فردوسی مشهد

(۱) مقدمه:

انرژی یکی از فاکتورهای اساسی برای توسعه اقتصادی-اجتماعی در جوامع مختلف است. با افزایش جمعیت، صنعتی شدن و افزایش استانداردهای زندگی اهمیت انرژی به طور قابل توجهی افزایش یافته است. از سوی دیگر اهمیت روز افزون منابع انرژی در شکل‌گیری و رشد اقتصادی و ضرورت بهره‌برداری از این منابع بر پایه ملاحظات زیست محیطی و توسعه پایدار اقتصادی و اجتماعی، صرفه‌جویی در مصرف انرژی را به عنوان مسئله مهم و شایان توجه سیاستگذاران بخش انرژی در دنیا قرار داده است (باصری، ب و دیگران، ۱۳۸۹). امروزه بیشتر کشورهای جهان، به بهبود بهره‌وری به عنوان یکی از مهمترین منابع تأمین رشد اقتصادی توجه ویژه‌ای دارند و سرمایه‌گذاری زیادی را در زمینه ارتقای بهره‌وری انجام می‌دهند. اگر چه کشورهای توسعه یافته موفق شدند با استفاده از راهبردهای اقتصادی و فناوری، بحران‌های دهه ۷۰ را پشت سر گذاشته و مصرف انرژی را کاهش دهند اما تحقیقات نشان داده است که کشورهای در حال توسعه به علت عقب ماندگی فناوری و ناکافی بودن انگیزه صرفه‌جویی انرژی به دلیل انرژی در دسترس زیاد و ارزان، در استراتژی‌های فنی و اقتصادی موفق نبوده‌اند (تقی زاده و دیگران، ۱۳۸۸). در ایران نیز به دلیل پایین بودن قیمت و در دسترس آسان انواع حامل‌های انرژی، ضرورت بهینه‌سازی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی با تأخیر قابل توجه آغاز شد و وجود ذخایر عظیم گازی در کشور، ارزان بودن نسبی فرایندهای تولید، فرآورش و انتقال، ایجاد کمترین مشکلات زیست‌محیطی و سهولت در استفاده، از عوامل دخیل در مصرف بالای گاز در کشور عنوان شده است. بنابر گزارش شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت، بیشترین مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی بوده که در همین بخش بیشترین سهم مربوط به بخش گرمایش (۷۰٪)، است و مصرف گاز جهت آب گرم (۲۳٪) و پخت و پز (۷٪) در رده‌های بعدی قرار دارند. بنابراین اصلاح الگوی مصرف در سیستم‌ها و وسایل تأمین‌کننده گرمایش واحدهای مسکونی از بالاترین اولویت برخوردار است و ما در این مقاله قصد داریم ضمن انجام مراحل ممیزی انرژی در ساختمان‌های شهرستان مشهد به اولویت‌های سرمایه‌گذاری جهت بهینه‌سازی ساختمان‌ها دست پیدا کنیم که این امر می‌تواند در سیاست‌گذاری‌های مناسب جهت بهبود الگوی تقاضای انرژی در پیش گرفته شود.

(۲) پیشینه پژوهش:

در سال‌های اخیر با توجه به اهمیت بهینه‌سازی مصرف گاز و دیگر حامل‌های انرژی، مطالعاتی در داخل کشور در این زمینه صورت گرفته است که در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود.

گروه مطالعات انرژی شرکت مهندسی و ساختمان صنایع نفت، با مروری بر وضعیت اتلاف گاز طبیعی در ایران، با قراردادن سال ۱۳۷۶ به عنوان سال مبنا، و با توجه به اینکه میزان اتلاف گاز در بخش تولید و فرآورش گاز حدود ۱۳/۷ میلیارد متر مکعب بوده است حداقل امکان صرفه‌جویی در بخش خانگی - تجاری، صنعت و نیروگاه‌ها به ترتیب ۱/۶، ۱/۵ و ۱/۵ میلیارد متر مکعب در سال محاسبه کرده‌اند. کریمی و همکاران (۱۳۸۵)، به بیان دستورالعمل ممیزی انرژی و روش بررسی عملکرد دیوارهای خارجی ساختمان پرداختند در این تحقیق دستورالعمل ممیزی انرژی ساختمان با استفاده از اطلاعات مندرج در قبض‌های انرژی ساختمان و همچنین داده‌های سالیانه هواشناسی، به منظور تعیین ضریب انتقال حرارت عملکردی دیواره‌های خارجی ساختمان و مقایسه آن با مقادیر مجاز و استاندارد ارائه شده است. کیخانی (۱۳۸۸)، نیز به تشریح ممیزی انرژی بعنوان راهکاری موثر در کاهش تلفات انرژی پرداخته است و مراحل چهار گانه برداشت اطلاعات اولیه و تکمیل فرم‌های ممیزی انرژی، محاسبه ضریب بار ساختمان با توجه به قبض‌های انرژی مصرفی، محاسبه ضریب بار ساختمان با توجه به الزامات مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان و تعیین فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی را در یک مطالعه موردی بررسی کرده است.

نوفروستی، ج (۱۳۸۸)، اصلاح الگوی مصرف در سیستم‌ها و وسایل تأمین‌کننده گرمایش واحد مسکونی را در بالاترین اولویت دانسته و با توجه به نقش مشترک سیستم‌های حرارت مرکزی در تأمین گرمایش و آب گرم بهداشتی و نیاز به آب گرم در تمام

روزها با هدف صرفاً کاهش مصرف و اتلاف گاز طبیعی، اولویت اول در اصلاح الگوی مصرف، را سیستم حرارت مرکزی یا همان موتورخانه مرکزی می‌داند و با تأکید بر اینکه بدون اصلاح قیمت حامل‌های انرژی که در طرح هدفمند کردن یارانه‌ها دنبال می‌شود، موفقیت برنامه‌های بهینه‌سازی، اصلاح الگوی مصرف و صرفه جویی دور از انتظار است پیشنهاداتی را برای این دستیابی به این هدف ارائه می‌دهد. همچنین در این مقاله متوسطی برای راندمان واقعی سیستم‌های گرمایشی مختلف آمده است که در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

جدول ۱. متوسط محدوده راندمان واقعی دستگاه‌های گازسوز

(مورد استفاده در بخش خانگی)

رتبه	نوع دستگاه یا سیستم گاز سوز	متوسط محدوده راندمان واقعی فعلی
۱	پکیج شوفاژ فوری دیواری	۸۵ تا ۹۵٪
۲	آبگرمکن فوری دیواری	۷۵ تا ۸۵٪
۳	بخاری گازی دودکش دار	۴۵ تا ۷۵٪
۴	سیستم حرارت مرکزی (موتورخانه)	۴۵ تا ۵۵٪
۵	آبگرمکن گازی مخزن دار	۴۵ تا ۵۵٪
۶	شومینه	۳۵ تا ۴۰٪

منبع: نوفرستی (۱۳۸۸).

علی‌نوروزی در مقاله خود به برآورد تقاضای انرژی مفید در بخش خانگی می‌پردازد. نتایج تقاضای انرژی مفید در هر یک از ۷ بخش مورد بررسی نشان می‌دهد که بخش گرمایش محیط با میزان ۷۶۴ میلیون گیگاژول، بیشترین تقاضای انرژی مفید (حدود ۷۰ درصد) در بخش خانگی را تشکیل می‌دهد. محمودی‌مهر و آینه‌چی نیز در مقاله خود به مدلسازی و بهینه‌سازی سیستم گرمایش از کف با لوله پکس پرداخته‌اند و برای بهینه‌سازی سیستم گرمایش از کف، یک تابع هدف پیشنهاد شده و قطر لوله ضخامت بتن نوع و ضخامت کف پوش و سرعت آب گرم درون لوله‌ها به عنوان متغیرهای تصمیم‌گیری در نظر گرفته شده‌اند. در ادامه حساسیت تابع هدف به تغییر متغیرهای تصمیم‌گیری مورد بررسی و اثر تغییر دمای اتمسفر و ضخامت عایق حرارتی ساختمان بر پارامترهای طراحی مورد ارزیابی قرار گرفته است. شهریاری و همکاران (۱۳۸۴)، نیز در مقاله خود به بیان نقش درزگیر بر بار حرارتی و برودتی مصرفی خانوار در یک منزل مسکونی نمونه پرداختند که نتایج نشان می‌دهد که با درزگیری می‌توان حداقل ۳۸ درصد میزان نفوذ هوا را به داخل واحد مسکونی کاهش داد که اگر درزگیری به عنوان یک پروژه ملی در سطح کشور انجام شود، سالیانه ۵۳۶٫۲ میلیارد ریال صرفه‌جویی ناشی از بهینه‌سازی مصرف سوخت و جلوگیری از هدر رفتن انرژی حاصل می‌گردد.

۳ روش تحقیق:

مطابق با دستورالعمل‌های ارائه شده فرآیند ممیزی انرژی در ساختمان به چهار مرحله اصلی تقسیم می‌شود^۱:

- مرحله اول: بازدید، اندازه‌گیری، ثبت اطلاعات اولیه ساختمان و تکمیل فرم‌های ممیزی انرژی
 - مرحله دوم: محاسبه ضریب بار ساختمان با توجه به قبضه‌های انرژی مصرفی
 - مرحله سوم: تعیین بار ساختمان با توجه به الزامات مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان
 - مرحله چهارم: تعیین فرصت‌های صرفه جویی
- در این پژوهش قصد داریم با بررسی الزامات مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، بین تعدادی از ساختمان‌های مسکونی شهر مشهد، وضعیت کلی شهر در این مقوله را بررسی کنیم.

^۱ وزارت مسکن و شهرسازی، مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان

۳-۱- محاسبه ضریب بار ساختمان به روش بار حرارتی و با توجه به قبض‌های انرژی مصرفی:

ضریب بار حرارتی ساختمان (BLC) در حقیقت مقدار بار حرارتی به ازای یک درجه اختلاف دمای داخل و خارج می‌باشد. بار ساختمان از دو بخش انتقال حرارت از پوسته خارجی ساختمان و بار هوای نفوذی و تهویه تشکیل شده است و آن را می‌توان بصورت مستقیم یا غیر مستقیم محاسبه نمود. در حالت مستقیم باید ضرائب انتقال حرارت، مساحت‌های اجزاء ساختمان و میزان هوای نفوذی محاسبه شوند. اما در روش غیر مستقیم از میزان انرژی مصرفی بر مبنای دمای خارجی ساختمان (روز درجه گرمایش) برای تخمین BLC استفاده می‌شود.

در روش حرارتی یا روز درجه، استاندارد برای دمای مطلوب خانوار تعریف می‌گردد که خانوار با استفاده از وسایل گرمایشی، دمای اتاق را در آن سطح قرار می‌دهد. در این تکنیک با جمع کردن بار حرارتی لحظه‌ای در سرتاسر فصل گرمایشی، کل بار گرمایی ساختمان را می‌توان اندازه‌گیری نمود. در عمل، جمع کل با متوسط بارهای گرمایی در دوره‌های کوتاه‌تر (یک ساعت یا یک روز) تخمین زده می‌شود. اگر از متوسط روزانه استفاده شود، کل بار گرمایشی فصلی ساختمان، به صورت زیر محاسبه می‌گردد (راهنمای ممیزی انرژی، ۲۰۰۰):

$$DD_H(T_b) = \sum_{i=1}^{N_H} (T_b - T_{o,i})^+ \quad (1)$$

T_b در اکثر ساختمانها 18 C^0 ($65\text{ }^\circ\text{F}$) در نظر گرفته شده است و در آن DD_H (Standard Degree day) روز - درجه گرمایش استاندارد؛ T_o دمای بیرونی و T_b دمای تعادل می‌باشد. البته تنها مقادیر مثبت این اختلاف در نظر گرفته می‌شوند. به این ترتیب با توجه به رابطه (۱) می‌توان گفت کل انرژی مصرفی در ساختمان از رابطه زیر بدست می‌آید که در آن BLC ضریب انتقال حرارت کلی ($W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$) است.

$$Q_H = 24 \sum_{i=1}^{N_H} q_{H,i}^+ = BLC \cdot \sum_{i=1}^{N_H} (T_b - T_{o,i})^+ \quad (2)$$

انرژی مصرفی در ساختمان متناسب با اختلاف دما می‌باشد اما وجود اینرسی حرارتی باعث ایجاد تأخیر زمانی می‌شود به این معنی که ذخیره انرژی در دیوارها باعث می‌شود تا ساختمان در برابر تغییرات هوای خارج از خود مقاومت نشان دهد و انتقال حرارت با تأخیر زمانی انجام شود و لزوماً در سردترین وقت شبانه‌روز، ساختمان بیشترین مصرف انرژی را نداشته باشد. که با ترسیم میزان مصرف انرژی ساختمان (گاز طبیعی، نفت‌گاز یا انرژی الکتریکی) بر حسب روز درجات گرمایش (محور طولها) و بدست آوردن خط رگرسیون، مصرف پایه ماهیانه و ساختمان بدست می‌آید. شیب خط ترسیم شده برابر BLC و تقاطع خط با نمودار مصرف، (BLC) ضریب بار ساختمان نشان دهنده مصرف پایه ساختمان است. مصرف سوخت برای هر ماه از طریق ضرب BLC در روز درجات گرمایش بدست می‌آید (کریمی و همکاران، ۱۳۸۵):

$$\text{مصرف سوخت} = \text{BLC} \cdot \text{DDH} + (\text{مصرف پایه}) \quad (3)$$

به این ترتیب ضریب بار ساختمان از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{BLC} = \frac{\sum D_i E_i - \sum D_i \sum E_i}{\sum D_i^2 - (\sum D_i)^2} \quad (4)$$

در رابطه فوق BLC، D_i ، E_i به ترتیب ضریب بار ساختمان، تعداد نقاط نمودار مصرف سوخت بر حسب روز درجه گرمایش، روز درجه گرمایش یک دوره معین و انرژی مصرفی برای همان دوره می‌باشد. میزان مصرف پایه ساختمان (C)، مطابق رابطه (۵) حساب می‌گردد.

$$C = \frac{\sum E_i}{n} - \text{BLC} \frac{\sum D_i}{n} \quad (5)$$

برای تعیین میزان دقت محاسبات حاصل از خط رگرسیون ضریب R از رابطه (۶) استفاده می شود.

$$R = \sqrt{\frac{\sum D_i^2 - \frac{(\sum D_i)^2}{n}}{\sum E_i^2 - \frac{(\sum E_i)^2}{n}}} \quad (6)$$

این ضریب بیان کننده ارتباط خطی بین متغیر مستقل و وابسته می باشد به عبارت دیگر R برابر با یک بیانگر ارتباط خطی کامل این دو پارامتر است و معادله خط از کل نقاط مذکور می گذرد و R برابر با صفر نشان دهنده عدم ارتباط بین این دو پارامتر می باشد. همچنین مجذور این ضریب، یا همان همبستگی R^2 ، تخمینی از وابستگی مصرف سوخت به روز درجه گرمایش است و در یک قانون کلی R^2 مساوی یا بزرگتر از ۰,۸ نشان دهنده ارتباط زیاد متغیر وابسته و مستقل می باشد. از این رو چنانچه R^2 مربوط به محاسبه BLC بیشتر از ۰,۸ شد، ساختمانی با اینرسی حرارتی کم و چنانچه کمتر بود نشان دهنده ساختمانی با اینرسی حرارتی زیاد در نظر گرفته می شود (کریمی و همکاران، ۱۳۸۵).

بنابراین با توجه به روابط فوق چنانچه مصرف گاز بر حسب روز درجات گرمایش ترسیم گردد نموداری حاصل خواهد شد که در این نمودار محور عرضی نشان دهنده میزان گاز مصرفی (انرژی مصرفی) و محور طولیها نشان دهنده روز درجات گرمایش اختلاف دما نسبت به ۱۸ درجه سانتی گراد می باشد. با مشخص بودن میزان گاز مصرفی ساختمان و اختلاف دمای هوا برای هر دوره قبض گاز مصرفی، این نمودار قابل ترسیم است. اگر بهترین رگرسیون خطی برای نقاط مذکور ترسیم گردد، در این صورت شیب خط ترسیم شده نشان دهنده ضریب بار ساختمان می باشد که وابستگی بار ساختمان را به تغییرات هوای خارج نشان می دهد. همچنین تقاطع خط ترسیم شده با محور عمودی بیانگر مصرف پایه ساختمان (که مستقل از تغییرات هوای خارجی است) می باشد. مصرف پایه ساختمان شامل آب گرم مصرفی، پخت و پز و ... می باشد. هرچه ساختمان دارای اینرسی حرارتی بالاتری باشد با بهبود ضریب انتقال حرارت دیوارها در هر مترمربع ساختمان صرفه جویی کمتری در مقایسه با یک ساختمان با اینرسی کمتر حاصل خواهد شد. در ساختمان های با مقاومت حرارتی یکسان، اینرسی حرارتی کمتر سبب می شود تا تغییرات درجه حرارت بیرون در زمان کوتاهتری بدخل ساختمان منتقل گردد، در نتیجه ارتباط انرژی مصرفی ساختمان با هوای بیرون بیشتر بوده و شیب خط رگرسیون بیشتر می باشد. بنابراین با ترسیم این خط رگرسیونی می توان به مصرف پایه ماهیانه ساختمان و ارتباط بین اختلاف دمای هوا و مصرف انرژی که همان BLC می باشد پی برد.

۴) بررسی و تحلیل اطلاعات:

این مطالعه روی ساختمان های مسکونی شهر مشهد صورت گرفته است و اطلاعات مورد نیاز از طریق سالنامه های هواشناسی، اطلاعات مندرج در قبض های گاز، مقررات ملی ساختمان جمع آوری شده است. شهر مشهد با توجه به تقسیم بندی مقررات ملی ساختمان، در گروه نیاز انرژی متوسط و نیاز گرمایشی زیاد قرار دارد. از آنجا که این مطالعه مربوط به ساختمان های مسکونی آپارتمانی است، در نوع کاربردی الف قرار می گیرد. از سوی دیگر با توجه به اطلاعات جمع آوری شده از طریق پرسشنامه نیاز سرمایشی کلیه ساختمان های مورد مطالعه از نوع سیستم های تبخیری تأمین می گردد، و در مورد سیستم های گرمایشی، کمتر یا مساوی ۵۰ درصد انرژی مصرفی از نوع برقی است، از این رو نوع انرژی مصرفی در این ساختمان ها، غیربرقی تلقی می گردد. به این ترتیب با توجه به مشخصات مطرح شده از نظر پتانسیل صرفه جویی در مصرف انرژی در گروه ۱ یعنی ساختمان هایی با صرفه

جویی در مصرف انرژی زیاد قرار می گیرد^۱. اطلاعات انرژی ساختمان و مشخصات آب و هوایی بصورت سالیانه برای شهر مشهد به ترتیب در جداول ۲ و ۳ آورده شده اند.

جدول ۲: مشخصات آب و هوایی شهر مشهد در سال ۱۳۸۹

حداقل	میانگین	حداکثر		درجه حرارت
۵,۱	۱۲,۱۳	۱۹,۶	آبان	
۱,۸	۹,۴	۱۷,۳	آذر	
-۲,۷	۳,۳	۹,۵	دی	
-۰,۶۳	۴,۳	۹,۷	بهمن	
۰,۵	۵,۱	۱۰,۳	اسفند	
۵۶,۰۳ (Ibm/lb dry air)				متوسط رطوبت
متوسط				نیاز انرژی
زیاد				نیاز گرمایشی

منبع: سایت سازمان هواشناسی ایران و مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان

جدول ۳- اطلاعات انرژی ساختمان‌ها و مصرف گاز بخش خانگی در شهر مشهد

(در فصول سرد سال ۱۳۸۹)

مصرف گاز	
۱۸۹۳۰۱۸۴۶ m ³	مجموع
۶۱۰۶۵۱۱ m ³	میانگین
۳۶۳۲۶۷۷ m ³	حداقل مصرف
۱۰۵۸۴۳۱۴ m ³	حداکثر مصرف
۷۱۹۱۴۳	تعداد مشترکین
ضرایب انتقال حرارت مرجع (گروه ۱)	
۰,۸ w/m ² °C	دیوار
۰,۵ w/m ² °C	سقف
۱,۴۵ w/m ² °C	کف

منبع: شرکت گاز استان خراسان رضوی و مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان

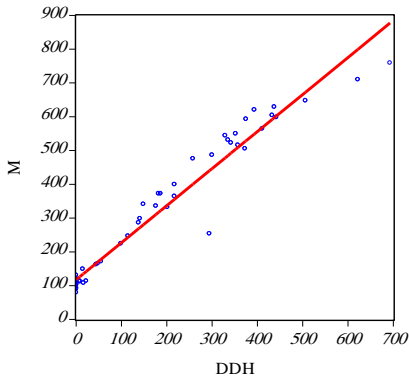
حال بایستی در ابتدا طبق رابطه (۳) میزان BLC محاسبه گردد. از آنجا که در حالت مستقیم باید ضرائب انتقال حرارت، مساحت‌های اجزاء ساختمان و میزان هوای نفوذی محاسبه شوند و این ضرائب برای ساختمان‌های مشهد به شکل دقیق در دست نیست؛ لذا از روش غیرمستقیم، یعنی تخمین رگرسیون برای بدست آوردن BLC استفاده می‌گردد. همچنین تعداد مشترکین گاز خانگی شهر مشهد نیز طبق سالنامه آماری استان خراسان در سال ۱۳۸۸ معادل ۷۱۹۱۴۳ مشترک در نظر گرفته شده است. برای تخمین این رگرسیون از مجموع درجه حرارت روزانه مشهد و نیز مجموع مصرف گاز روزانه مشترکین خانگی^۲ شهر مشهد، طی

^۱ وزارت مسکن و شهرسازی، تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان

^۲ برای بدست آوردن متوسط مصرف روزانه مشترکین خانگی، مصرف کل گاز مشترکین خانگی بر تعداد مشترکین تقسیم کرده ایم.

ماه‌های مختلف سال برای دوره زمانی ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۹ استفاده شده است.^۱ نتایج این رگرسیون در جدول ۴ آمده است. نمودار ۱ نشان می‌دهد که مصرف گاز حول خط رگرسیونی رسم شده متناسب با افزایش فاصله دمای هوا با درجه حرارت مطلوب ($18C^0$)، افزایش می‌یابد. همانطور که مطرح شد شیب این خط نشان دهنده ضریب بار حرارتی ساختمان است.

نمودار ۱- مصرف گاز بر اساس روز درجه گرمایش



جدول ۴: همبستگی میان مصرف گاز و روز درجه گرمایش

ضرایب Coefficient	مقدار ضرایب Coefficient amount	انحراف معیار Standard. Error	آماره t t-Statistic
C	۱۱۷,۵	۸,۳۸	14.02**
DDH	۱,۰۹۷	۰,۰۳۳	33.11**
$R^2 = ۰,۹۵$		F-statistic=1096.3**	
** معنی دار در سطح ۵ درصد		* معنی دار در سطح ۱۰ درصد	
منبع: یافته‌های تحقیق			

بنابراین BLC را طبق جدول فوق معادل $1,097 (m^3 gas)/^{\circ}C$ در نظر گرفت که چنانچه متوسط وزنی سطح زیر بنا در شهر مشهد با معادل $106/16$ متر مربع باشد، BLC به ازای هر واحد زیر بنا تقریباً معادل $10^{-4} \times 10^2$ خواهد بود. مسلماً بکاربردن مصالح مرغوب و عایق حرارتی می‌تواند به کاهش این ضریب انتقال حرارتی کمک کند. با توجه اینکه ساختمان‌های مورد مطالعه طبق تقسیم‌بندی مقررات ملی ساختمان در گروه ۱ قرار می‌گیرد از این رو ضریب حرارتی کل ساختمان به مرجع مربوط به ساختمان‌های ویلایی با فضاهایی با استفاده مداوم از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$\text{ضریب حرارتی کل ساختمان} = 0,8 \times A + 0,5 \times A^{-1/2} + 0,5 \times A \quad (7)$$

از آنجا که ضرایب در رابطه فوق بر حسب $\frac{w}{m^2 \cdot ^{\circ}C}$ هستند از این رو بایستی BLC بدست آمده از این روش را که بر حسب $\frac{m^3}{m^2 \cdot ^{\circ}C}$ است به جهت مقایسه، به این واحد تبدیل گردد. که می‌توان آن را بر اساس تبدیل واحدهای موجود تبدیل کرد.

$$\begin{aligned} 1 \text{ cubic foot of natural gas: } & 1015 \text{ BTU} \\ 1 \text{ ft}^3 & = 0.028 \text{ m}^3 \\ 1 \text{ BTU/h} & = 0.293 \text{ W} \end{aligned} \quad (8)$$

^۱ بر اساس کتاب راهنمای ممیزی انرژی، در این روش بکارگرفتن داده‌های ماهانه مناسب است و برای آنکه دچار رگرسیون کاذب نشویم به جای استفاده از تنها آمار یک سال (۱۲ داده) از آمار ۴ سال استفاده شده است. به این ترتیب فرض می‌شود که در این بازه زمانی وضعیت عایق بندی ساختمان‌ها ثابت مانده است.

با توجه به متوسط سطح زیر بنا و رابطه (۷) ضریب حرارتی یک ساختمان با توجه به الزامات مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، به ازای هر مترمربع معادل ۱,۲۹ است. در حالی که میزان BLC برای ساختمان‌های مشهد معادل $\frac{W}{m^2 \cdot C}$ ۴/۵۱ بدست می‌آید و با توجه به آنکه این رقم به میزان زیادی از ضریب حرارتی استاندارد فاصله دارد، لذا لزوم انجام ممیزی انرژی در ساختمان‌های شهر را نشان می‌دهد. همچنین از آنجا که R^2 در این مطالعه ۰,۹۵ است و بیشتر از ۰,۸ می‌باشد، این امر می‌رساند که ساختمان‌ها در مشهد دارای اینرسی حرارتی پایینی می‌باشند؛ بدان معنا که تغییرات درجه حرارت بیرون در زمان کوتاهی به داخل ساختمان منتقل می‌گردد و ارتباط انرژی مصرفی ساختمان با هوای بیرون زیاد است و ساختمانها از عایق کاری مناسبی برخوردار نیستند (کریمی و همکاران، ۱۳۸۵). بر اساس جدول ۴ و رابطه (۳) میزان مصرف پایه ماهیانه خانوارها در مشهد معادل ۱۱۷ مترمکعب گاز است که این مصرف شامل آب گرم مصرفی، پخت و پز و ... می‌باشد.

– مقایسه مصرف مشترکین گاز خانگی:

در این قسمت می‌خواهیم مقایسه‌ای بین میزان مصرف مشترکین خانگی با وسایل گرمایشی متفاوت داشته باشیم. از این رو در اولین مرحله بایستی حجم مناسب و مطلوب برای نمونه را مشخص کنیم. برای تعیین حجم نمونه طبق رابطه (۹) در ابتدا مصرف گاز یک نمونه تصادفی ۳۰ تایی از مشترکین خانوار مشهدی را در نظر گرفته و با استفاده از آن، اندازه نمونه مناسب را بدست می‌آوریم.

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2}{(\bar{x} - \mu)^2} = \frac{Z^2 \sigma^2}{B^2} = \frac{1.96^2 \times \sigma^2}{(16.94 - 25.64)^2} = 30 \quad (9)$$

در نمونه گرفته شده میزان میانگین معادل ۱۶,۹۴ مترمکعب است که مجذور اختلاف آن با متوسط کل جامعه (۲۵,۶۴) که همان B^2 می‌باشد، معادل ۷۵,۶۹ می‌باشد. به این ترتیب میزان S^2 ، ۵۹۱,۰۸ محاسبه می‌شود. که از آن می‌توان به جای σ^2 استفاده کرد. حال اگر میزان $B = 0.2\mu$ در نظر بگیریم، با توجه به σ^2 محاسبه شده می‌توان n مناسب را بدست آورد که معادل ۸۶ است.

$$n = \frac{1.96^2 \times 591.8}{(0.2 \times 25.64)^2} = 86$$

به این ترتیب با توجه به نتایج حاصله، ۸۶ پرسشنامه میان مناطق ۵ گانه مشهد توزیع و جمع آوری شد. در پرسشنامه‌های جمع‌آوری شده مشترکین گاز خانگی علاوه بر ثبت شماره اشتراک گاز خود، به سوالاتی در رابطه با سطح زیر بنا، نوع منزل مسکونی، نوع سیستم گرمایشی، قدمت سیستم و اینکه مجهز به کدام یک از تجهیزات بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان است، پاسخ دادند. شرکت گاز این امکان را فراهم کرده که به استفاده از شماره اشتراک گاز بتوان به قبضه‌های گاز مشترکین تا ۳۶ دوره دسترسی پیدا کرد. از آنجا که ما انرژی مفید را برای سال ۱۳۸۹ (با توجه به ۵ ماه سرد سال) بدست آوردیم، از این رو برای هر مشترک مجموع گاز مصرفی طی این ۵ ماه برای مقایسه با میزان انرژی مفید بدست آمده محاسبه شده است. این مشترکین به دو دسته تقسیم شده‌اند.

(۱) مشترکینی که از بخاری و شومینه به جهت گرمایش استفاده کرده‌اند.

(۲) مشترکینی که از پکیج و بخاری (یا شومینه) به جهت گرمایش استفاده کرده‌اند.

در این پژوهش تعداد کل مشترکین مورد بررسی به ۸۶ مورد بود که از این میزان، ۱۶ مورد از سیستم پکیج و ۷۰ مورد بخاری و شومینه داشتند. البته کلیه کسانی که از سیستم گرمایشی پکیج استفاده می‌کردند، در صورت نیاز در ماههای سرد از بخاری نیز در کنار پکیج استفاده می‌کردند. با توجه به جدول ۴ میزان مصرف جهت مصارف غیرگرمایشی معادل ۱۱۷ مترمکعب گاز بدست می‌آید از این رو با کسر این میزان مصرف، از کل مصرف گاز هر مشترک، می‌توان مصرف گاز جهت گرمایش را محاسبه کرد. حال

در این قسمت بایستی بررسی شود که میانگین مصرف گاز در این دو دسته ذکر شده اختلاف معنی داری با هم دارند یا نه. این مقایسه که با استفاده از آزمون Paired Samples Test نرم افزار Spss انجام شد که در جدول ۵ نتایج این مقایسه آمده است. مقایسه مصرف گاز در میان این دو گروه نشان می‌دهد که مصرف گاز در میان این دو دسته مشابه بوده و اختلاف معنی داری از نظر میزان مصرف گاز مشاهده نمی‌شود. چون فرض صفر مبنی بر عدم اختلاف میان این دو دسته تأیید می‌شود.

جدول ۵- مقایسه مصرف گاز جهت گرمایش میان دو گروه

	Paired Differences						
	t						
	Mean	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
		Lower	Upper	t	df	Sig. (2-tailed)	
بخاری و شومینه - پکیج و بخاری	۲,۴۱۰۵	۲,۰۶	-۲,۱۳	۶,۹	۱,۲	۱۱	۰,۲۷

منبع: محاسبات تحقیق

همانطور که در بخش قبل نیز عنوان شد ضریب انتقال حرارت در ساختمان‌های شهر از میزان استاندارد فاصله زیادی دارد و می‌توان با بهبود ضریب انتقال حرارت دیوارها، عایق بندی مناسب ساختمان‌ها و استفاده از مصالح مناسب در آنها، کاهش تقاضای انرژی مفید در این بخش ایجاد کرد. حال در این قسمت جهت بررسی نقش عایق‌سازی در ساختمان‌ها، مشترکین بر اساس استفاده از روش‌های بهینه سازی و عدم استفاده به دو دسته تفکیک شدند.

- ۱ - ساختمان‌هایی که حداقل از یکی از روش‌ها و تجهیزات بهینه‌سازی (شیشه ۲ جداره، عایق کاری حرارتی کف و دیوار، درزبندی درب و پنجره ها و ...) استفاده کرده اند.
- ۲ - ساختمان‌های فاقد هر گونه بهینه سازی هستند.

مقایسه مصرف گاز میان این دو دسته در جدول ۶ آمده است. همانطور که آزمون Paired Samples Test نشان می‌دهد، Sig کمتر از ۵ درصد بوده و مصرف گاز این دو گروه، جدا از آن که از چه سیستمی به جهت گرمایش محیط استفاده می‌کنند، با هم اختلاف معنی داری دارد. به عبارت دیگر بهینه‌سازی ساختمان توانسته است تأثیر محسوسی روی میزان مصرف گاز در بخش خانگی داشته باشد.

جدول ۶ - مقایسه مصرف کسانی که از بهینه سازی ساختمان استفاده کرده اند و آنهایی که استفاده نکرده‌اند

	Paired Differences						
	t						
	Mean	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
		Lower	Upper	t	df	Sig. (2-tailed)	
بهینه سازی ---- عدم بهینه سازی	۶,۱۸۹۶	۱,۷۵	۲,۵۹	۹,۷۹	۳,۵۴	۲۵	۰,۰۰۲

منبع: محاسبات تحقیق

۵) پیشنهادات:

محاسبات مربوط به ضریب انتقال حرارتی نشان می‌دهد که ساختمان‌ها در مشهد دارای اینرسی حرارتی پایینی می‌باشند. تغییرات درجه حرارت بیرون در زمان کوتاهی بداخل ساختمان منتقل گردیده و ارتباط انرژی مصرفی ساختمان با هوای بیرون زیاد

است؛ زیرا R^2 در این مطالعه ۰,۹۵ و بیشتر ۰,۸ است. از سوی دیگر ضریب حرارتی ساختمان‌های مشهد $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ ۴,۵۱ است و از میزان ضریب حرارتی یک ساختمان با توجه به الزامات مبحث ۱۹ مقررات ملی یعنی $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ ۱,۲۹ فاصله زیادی دارد، این امر لزوم بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی شهر مشهد را می‌رساند.

همچنین مقایسه مصرف گاز در سیستم‌های گرمایشی مختلف با میزان انرژی مفید محاسبه نشان داد که متوسط مصرف مشترکینی که از سیستم گرمایشی بخاری و شومینه استفاده می‌کردند با متوسط مصرف کسانی که از پکیج و بخاری داشتند اختلاف معناداری با هم ندارند. اما مقایسه مصرف گاز بین ساختمان‌هایی که از بهینه‌سازی مصرف ساختمان استفاده کردند با سرمایه‌گذاری جهت بهینه‌سازی ساختمان آن‌هایی که استفاده نکرده‌اند اختلاف معناداری وجود دارد.

از این رو با توجه به آزادسازی حامل‌های انرژی و اهمیت میزان گاز مصرفی لزوم بهینه‌سازی ساختمان و صرف منابع و امکانات برای بهبود راندمان و کاهش مصرف گاز برای مصارف گرمایشی بیش از پیش احساس می‌شود. با توجه به نتایج مطالعه انجام شده روی ساختمان‌های شهر پیشنهاد می‌شود که جهت صرفه‌جویی در مصرف گاز، سرمایه‌گذاری روی بهینه‌سازی ساختمان، نسبت به جایگزین کردن سیستم گرمایشی در اولویت قرار گیرد. زیرا این عمل در ساختمان‌های مورد مطالعه به شکل محسوس‌تری موجب کاهش گاز مصرفی شده است.

۶ منابع:

شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت: <http://www.ifco.ir>

سایت شرکت ملی گاز ایران: <http://www.nigc.ir>

سایت سازمان هواشناسی ایران: <http://www.irimet.net>

سالنامه‌های آماری استان خراسان رضوی.

وزارت مسکن و شهرسازی، تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، نشر توسعه، ۱۳۸۱.
باصری، درخشانیان، شفیعی (۱۳۸۹). بررسی سیاست‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی با استفاده از روش مجزا سازی، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، شماره ۲۵، صفحات ۱۱۳-۱۴۱.

تقی‌زاده، سلطانی، شکرانی (۱۳۸۸). بررسی نقش مدیریت انرژی در بهینه‌سازی مصرف انرژی، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، شماره ۲۳، صص: ۱۵۹-۱۳۷.

شهریاری، غلامرضا؛ کبیریان، محمد؛ نبی‌فر، محمدرضا؛ (۱۳۸۴)، بررسی تأثیر درزگیری بر بار حرارتی و برودتی مصرفی خانوار در یک منزل مسکونی نمونه، نشریه انرژی ایران، سال نهم، شماره ۲۵، صفحات ۹۲-۸۲.

فارسی، محمد، ۱۳۸۷، آمار کاربردی در کشاورزی و علوم زیستی، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
فاکهی خراسانی، امیرحسین؛ شفیعی، سید احسان الدین؛ سبوحی، یداله و غفرانی، محمد باقر، ۱۳۸۶، مدلسازی تقاضای انرژی مفید در بخشهای مختلف اقتصادی، ششمین همایش ملی انرژی، وزارت نیرو.

کریمی، آ و خستو، ب، ۱۳۸۵، دستورالعمل ممیزی انرژی و روش بررسی عملکرد دیواره‌های خارجی ساختمان، پنجمین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان.

کیخانی، ت، ۱۳۸۸، ممیزی انرژی در ساختمان، شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی، هفتمین همایش ملی انرژی.
نوروزی، علی، ۱۳۸۸، برآورد تقاضای انرژی مفید گرمایش محیط بخش خانگی در ایران، بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق.
نوفرستی، ج، ۱۳۸۸، راهکارهای اصلی اصلاح الگوی مصرف گاز در ساختمان، نشریه اقتصاد انرژی، شماره ۱۲۱، صفحات ۵۸-۵۲.

ASHRAE handbook of fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc, Atlanta, 2001.

Energy Audit Guide Part B: System Retrofits for Energy Efficiency, Center for Renewable Energy Sources, May 2000.