



برآورد تقاضای انرژی مفید گرمایش محیط به تفکیک گروه‌های هزینه‌ای

(مطالعه موردی: شهر مشهد)

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

دانشگاه فردوسی مشهد

ebrahimi_t@yahoo.com

چکیده:

در کشور ما بخش‌های غیر مولد (خانگی و تجاری) بیش از یک سوم مصرف انرژی نهایی در کشور را تشکیل می‌دهد که از این میزان ۷۰٪ آن مربوط به بخش گرمایش است. این امر ضرورت توجه به مصرف انرژی در این بخش‌ها و اتخاذ راهکارهای مناسب برای جلوگیری از اتلاف و مصرف بی‌رویه انرژی، به خصوص در بخش گرمایش محیط را نشان می‌دهد. در این پژوهش برای برآورد تقاضای انرژی مفید گرمایشی در بخش خانگی شهر مشهد، درغالب گروه‌های مختلف هزینه‌ای، از مدل شبیه‌سازی مصرف MADE-II استفاده شده است. محاسبات به روش بار حرارتی و ضریب انتقال حرارت عملکردی دیوارهای خارجی ساختمان و نیز با استفاده از اطلاعات آماری سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۹ شهر مشهد صورت گرفت. بررسی‌ها نشان داد که دهک‌های بالای هزینه‌ای نسبت به دهک‌های پایین سهم نسبتاً بیشتری را در مصرف گاز طبیعی داشته‌اند. از این رو خانوارهای دهک‌های پایین‌تر سهم کمتری در یارانه انرژی این بخش داشته‌اند. همچنین محاسبات مربوط به ضریب انتقال حرارتی نشان می‌دهد که ساختمان‌ها در مشهد دارای اینرسی حرارتی بالایی می‌باشند. به عبارت دیگر ارتباط انرژی مصرفی ساختمان‌ها با هوای بیرون زیاد است و می‌توان با بهبود ضریب انتقال حرارت دیوارها، عایق بندی مناسب ساختمان‌ها و استفاده از مصالح مناسب در آنها به میزان ۷۸ درصد کاهش تقاضای انرژی مفید و صرفه‌جویی در مصرف انرژی این بخش ایجاد کرد. محاسبه بازدهی سیستم‌های گرمایشی نیز نشان می‌دهد که این سیستم‌ها در شهر مشهد از کارایی نسبتاً بالای ۸۳ درصدی برخوردارند.

واژگان کلیدی: انرژی مفید- گرمایش- MADE-II - مشهد

(۱) مقدمه:

مطالعه تقاضای انرژی و تغییرات زمانی آن، منطبق با توسعه بخش‌های اقتصادی و تغییرات اجتماعی، یک بخش مهم و لازم الاجراء در فرآیند برنامه‌ریزی در زمینه توسعه بهینه سیستم انرژی می‌باشد. محدودیت منابع انرژی ضرورت استفاده کارآمد و بهینه انرژی را ایجاد کرده و باعث شده است که مقوله کارایی مصرف انرژی در سیاست‌گذاری‌ها و اغلب مطالعات بخش انرژی در دنیا مورد تأکید قرارگیرد. در ایران به دلیل ارزان بودن قیمت حامل‌های انرژی و در دسترس بودن انواع منابع انرژی ضرورت بهینه‌سازی

^۱ . استادیار گروه اقتصاد دانشگاه فردوسی مشهد

^۲ . دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی دانشگاه فردوسی مشهد

^۳ . دانشجوی دوره‌ی دکترای اقتصاد انرژی دانشگاه فردوسی مشهد

^۴ . دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی دانشگاه فردوسی مشهد

و صرفه‌جویی در مصرف انرژی با تأخیر قابل توجه آغاز شد. با این حال اتخاذ راهکارهای مناسب برای جلوگیری از اتلاف و مصرف بی‌رویه انرژی در کشور ما نیز روز به روز بیشتر احساس می‌شود. چون صرفه‌جویی انرژی می‌تواند منافع زیادی برای اقتصاد کشور به همراه داشته باشد. به طوری که ضمن اینکه موجب اجتناب از برخی هزینه‌ها می‌گردد، منافع جانبی را نیز در پی خواهد داشت که کاهش واردات انرژی و بالارفتن توان صادراتی نفت خام و گاز، کاهش سرمایه‌گذاری در صنایع بالادستی و پایین دستی نفت خام و نیروگاه‌ها، افزایش عمر ذخایر نفت و گاز و کاهش سطح آلاینده‌های محیط زیست از آن جمله است که این امر تنها با مصرف بهینه انرژی است که حاصل می‌شود.

انرژی مفید آخرین مرحله از جریان انرژی است که پس از تبدیل انرژی نهایی در تکنولوژی‌های مختلف برای برطرف کردن نیازهای بخش‌های مختلف به دست می‌آید. بخش خانگی یکی از پر مصرف ترین بخش‌های تقاضای انرژی می‌باشد بطوریکه تقاضای انرژی مفید در بخش خانگی، بیش از یک سوم مصرف انرژی نهایی در کشور را تشکیل می‌دهد (فاکاهی خراسانی و همکاران، ۱۳۸۶؛ اسیوک^۱، ۲۰۰۷). همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد در حالی که در اکثر کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، سهم مصرف انرژی در بخش‌های تولیدی چند برابر بخش‌های دیگر است در کشور ما بخش‌های غیر مولد (خانگی و تجاری) بیشترین میزان مصرف انرژی را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین در اکثر کشورهای جهان میزان متوسط مصرف انرژی در ساختمان به ازای هر متر مربع در حدود ۱۷۰ کیلو وات ساعت است، اما در کشور ما بطور متوسط میزان مصرف انرژی در ساختمانها به ازای هر متر مربع در حدود ۴۰۰ کیلو وات ساعت می‌باشد که این میزان در حدود ۲٫۵ برابر متوسط مصرف جهانی است. از سویی دیگر توجه به روش‌های مختلف به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش خانگی از اهمیت خاصی برخوردار است. طبق گزارش سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت، بیشترین مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی به ترتیب مربوط به گرمایش با ۷۰٪ مصرف، آب گرم با ۲۳٪ و پخت و پز سهم ۷٪ مصرف گاز را به خود اختصاص داده‌اند^۲. بنابراین اصلاح الگوی مصرف در سیستم‌ها و وسایل تأمین‌کننده گرمایش واحدهای مسکونی از بالاترین اولویت برخوردار است و صرف منابع و امکانات برای بهبود راندمان و کاهش مصرف گاز برای مصارف پخت و پز یا سایر مصارف در اولویت نمی‌باشد. بدین ترتیب، اولویت اول در اصلاح الگوی مصرف، سیستم‌های گرمایشی می‌باشند. در این مقاله به مدلسازی تقاضای انرژی مفید بخش خانگی برای گروه‌های هزینه‌ای دهگانه در شهر مشهد خواهیم پرداخت و پس از آن با توجه به میزان مصرف گاز خانوارهای مشهدی، متوسط بازدهی سیستم‌های گرمایشی در شهر محاسبه خواهد شد. همچنین محاسبات بر اساس مدل MADE-II و روش روز-درجه گرمایش و ضریب انتقال حرارت عملکردی دیوارهای خارجی ساختمان صورت می‌گیرد و اطلاعات آماری مورد استفاده مربوط به سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۹ خانوارهای مشهدی است که از شرکت گاز شهر مشهد، سازمان هواشناسی و سالنامه آماری استان خراسان رضوی جمع‌آوری شده است.

۲) پیشینه پژوهش:

نوروزی، ع (۱۳۸۸)، به برآورد تقاضای انرژی مفید گرمایش محیط بخش خانگی ایران پرداخته است. در این مقاله از روش و ویژگیهای مدل MADE-II جهت برآورد تقاضای انرژی در بخش خانگی شهرستان های کشور استفاده شده است. تقسیم بندی در این مقاله بر اساس گروه های هزینه ای دهگانه و به صورت بخش روستایی و شهری در تمامی استانهای کشور می باشد. محاسبات بر اساس اطلاعات آماری کشور در سال ۱۳۸۶ صورت گرفته شده است. در این مقاله تقاضای انرژی مفید گرمایش محیط توسط دو روش مختلف روز درجه و تکنولوژی در هر یک از گروه‌های هزینه‌ای روستایی و شهری و در استانهای مختلف کشور برآورد شده است. همچنین وی در مقاله « برآورد تقاضای انرژی مفید بخش خانگی در ایران به تفکیک گروه های هزینه‌ای مختلف خانوار»

^۱. Esiyok

^۲. سازمان بهینه‌سازی سوخت، مدل برنامه ریزی انرژی در استان تهران.

تلاش کرده با بهره گرفتن از متدولوژی مدل برآورد تقاضای انرژی MADE_II به برآورد انرژی مفید بخش خانگی بپردازد. نتایج تقاضای انرژی مفید در هر یک از ۷ بخش مختلف مورد بررسی نشان می‌دهد که تقاضای بخش گرمایش محیط با میزان ۷۶۴ میلیون گیگاژول، بیشترین تقاضای انرژی مفید (حدود ۷۰ درصد کل تقاضا) بخش خانگی را تشکیل می‌دهد. همچنین از میان استان‌های کشور از لحاظ تقاضای انرژی مفید، استان‌های تهران، خراسان رضوی و اصفهان، بیشترین میزان تقاضای انرژی مفید را دارند. فاکهی خراسانی، ا و همکاران (۱۳۸۶)، در مقاله خود با عنوان «مدلسازی تقاضای انرژی مفید در بخش‌های مختلف اقتصادی» به برآورد تقاضای انرژی مفید در استان تهران می‌پردازند. این مقاله بر مبنای مدل تقاضای MADE_II با فرض سه سناریوی مختلف (ادامه روند موجود، رشد مبتنی بر برنامه چهارم و ادامه روند آن، رشد بالا) توسعه داده شده است. نتایج حاصل از مدل تقاضای انرژی مفید بیانگر آن است که میزان تقاضا برابر با ۱۷/۲ گیگاوات در سال بوده و بخش خانگی با سهم تقریبی ۴۶/۳٪ و کشاورزی با سهم کمتر از ۱٪ به ترتیب بیشترین و کمترین عوامل تشکیل دهنده در تقاضای انرژی مفید استان تهران هستند. جعفرآبادی، ر، و فاکهی خراسانی، ا (۱۳۸۶)، و شاه حسینی، ا و همکاران (۱۳۸۸) نیز تقاضای انرژی مفید در بخش حمل و نقل کشور را به روش MADE در غالب سناریوهای بررسی کردند. 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 دیوارهای 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 صرفه جویی انرژی را در یک مطالعه موردی بررسی کرده است.

۳ روش تحقیق:

۳-۱) مدل‌های شبیه سازی (فنی - اقتصادی):

مدل‌های فنی - اقتصادی، مبتنی بر رهیافت مهندسی هستند. در این مدل‌ها با توصیف تفصیلی فن‌آوری و با لحاظ پتانسیل‌های پیشرفت و توسعه فن‌آوری و بهره‌گیری از فن‌آوری‌های کارآمدتر، روابط فنی بین مصرف انرژی و متغیرهای فعالیت تبیین می‌شود و امکان در نظر گرفتن تأثیر تحولات تکنولوژیکی و تحولات ساختاری بر روی مصرف انرژی، از امتیازهای مدل‌های مصرف‌نهایی است. همچنین با بهره‌گیری از مدل‌های مذکور می‌توان پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی را آسان‌تر اندازه‌گیری نمود. مدل‌های شبیه سازی در طی سالهای دهه ۱۹۷۰ میلادی متداول شدند. این دسته از مدل‌ها با این فرض که توسعه اقتصادی و اجتماعی و تغییرات تکنولوژیکی جزء مهمترین متغیرهای توضیح دهنده تقاضای انرژی هستند توسعه یافته‌اند. در مدل‌های شبیه‌سازی، تقاضای انرژی بخش‌های اصلی اقتصادی - اجتماعی مانند خانگی، صنعت و حمل و نقل، از یکدیگر متمایزند و تقاضای انرژی به شکل مجزا در هر بخش تعیین می‌شود. در بخش خانگی فرض می‌شود که توسعه اقتصادی - اجتماعی از طریق تغییر شرایط زندگی روی تقاضای انرژی اثر می‌گذارد. در این بخش نوع خانوار و مصرف انرژی در هر خانوار از مؤلفه‌های اصلی تعیین تقاضای انرژی هستند. البته این عوامل برای تخمین تقاضای انرژی در آینده بکار می‌روند. در مدل‌های شبیه‌سازی، تقاضای انرژی بصورت انرژی مفید لازم مورد مطالعه قرار می‌گیرد که برای تولید یا مصرف در سطح مورد نیاز تعریف می‌شود. با محاسبه و تخمین انرژی مفید لازم، تقاضا برای انرژی نهائی از طریق لحاظ کردن بازدهی فنی و ضریب نفوذ سوخت مربوطه محاسبه می‌شود. معادله عمومی (۱) برای محاسبه تقاضای انرژی نهائی بکار می‌رود (آژانس بین‌المللی انرژی).

$$E_{fit} = \sum_j E_{ujt} \times M_{ijt} / \eta_{ijt} \quad (1)$$

E_{fit} : تقاضا برای انرژی نهائی i در زمان t

E_{ujt} : انرژی مفید j در زمان t

M_{ijt} : ضریب نفوذ سوخت i برای تامین تقاضا برای انرژی مفید j در زمان t

η_{ijt} : راندمان سیستم در زمان t در تبدیل انرژی نهایی i به انرژی مفید j

در این مدلها مشخصه‌های اقتصادی مانند قیمت‌ها و درآمد به صورت صریح لحاظ نمی‌شوند بلکه با استفاده از شدت‌های انرژی سطوح فعالیت و راندمان‌ها، این عوامل بطور ضمنی در مدل لحاظ می‌شوند. تأثیر درآمد روی تقاضای انرژی در گروه بندی خانوارها و چگونگی جابجائی آنها در گروه های مختلف هزینه ای منعکس می‌شود. بطور خلاصه می‌توان گفت مدل‌های شبیه سازی مبتنی بر تحلیل تقاضای انرژی در بخشهای مختلف می‌باشند. این مسئله ابزار مفیدی را برای تحلیل تاثیر ساختار اقتصادی روی تقاضای انرژی فراهم می‌کند. یکی از مهمترین این مدلها، مدل MADE-II می‌باشد. این مدل، انعطاف پذیری لازم برای چگونگی تقسیم بندی بخش‌ها و زیر بخش‌ها و قابلیت کاربرد در مناطق مختلف جغرافیایی و کشورهای مختلف را دارد (سبوحی، ۱۹۸۹).

۳-۲) روش برآورد انرژی مفید:

بررسی میزان مصرف انرژی خانواده‌ها، باید در گروه‌بندی‌های مشخصی صورت بگیرد، بگونه‌ای که خانواده‌های متعلق به هر گروه، تقریباً دارای وضعیت معیشتی مشابهی باشند و رفتار نسبتاً مشابهی در مصارف انرژی از خود نشان بدهند. اما برای گروه‌های مختلف مصرف کننده انرژی در بخش خانگی، با توجه به عوامل فوق الذکر، مرزبندی‌های مشخصی در اطلاعات آماری موجود کشور وجود ندارد. با توجه به آمارهای موجود و کارهای مشابه انجام شده در این زمینه، بخش بندی خانواده‌ها معمولاً به دو گروه خانواده های شهری و خانواده های روستایی، تفکیک مناسبی برای گروه بندی اولیه می باشد. تفاوت سطح زندگی، وسایل خانگی، رفتارهای اجتماعی و مسائل فرهنگی ما بین خانواده های شهری و روستایی، ایجاب می‌کند که در بررسی تقاضای نهایی و روند رشد آن، به این دو بخش به تفکیک نگریسته شود. اما با توجه به اینکه این مطالعه تنها محدود به شهر مشهد است تقسیمات صورت گرفته تنها بر مبنای درآمد و هزینه خانوار خواهد بود. همچنین با توجه به اینکه انرژی گرمایش محیط سهم قابل توجهی از تقاضای انرژی مفید در بخش خانگی را به خود اختصاص می‌دهد^۱، در این مقاله قصد داریم به برآورد انرژی مفید گرمایش محیط در بخش خانگی شهر مشهد بپردازیم.

۳-۲-۱) برآورد انرژی مفید گرمایش محیط در بخش خانگی:

برای برآورد تقاضای انرژی مفید، در حالت کلی از رابطه (۲) استفاده می‌شود (نوروزی، ۱۳۸۸).

$$E_{i,j} = E'_{i,j} \times N \times P_i \quad (2)$$

$E_{i,j}$ ، تقاضای انرژی مفید برای خانوار گروه i و به منظور j (مثلاً گرمایش محیط)

$E'_{i,j}$ ، تقاضای انرژی مفید از نوع j به ازای هر واحد خانوار از گروه i

N ، کل تعداد خانوار

P_i ، سهم تعداد خانوار گروه هزینه ای i در کل تعداد خانوار

برای برآورد تعداد خانواده‌های متعلق به هر یک از گروه‌های هزینه‌ای، می‌توان درصد خانواده‌های متعلق به هر گروه و از آنجا کل خانواده های متعلق به گروه‌های مختلف هزینه‌ای را بدست آورد. جهت برآورد انرژی مفید گرمایش محیط ($E'_{i,j}$) نیز از

^۱ سازمان بهینه سازی سوخت، مدل برنامه ریزی انرژی در استان تهران.

تکنیک‌های مختلف استفاده می‌گردد. یکی از این روش‌ها، محاسبه انرژی مفید با در نظر گرفتن انواع تکنولوژی‌های گرمایش محیط می‌باشد. بکارگیری تکنولوژی‌های گرمایش یکی از روشهای عمده‌ای می‌باشد که در برآورد انرژی مفید بکار می‌رود. اما با توجه به آنکه آمار دقیقی از تعداد و نوع سیستم‌های گرمایشی در شهر مشهد وجود ندارد، از این رو بکارگیری این روش با خطای نسبتاً بالایی همراه است. روش دیگر تخمین انرژی مفید از روش برآورد بار حرارتی با استفاده از روابط انتقال حرارت که به روش درجه - روز معروف است، می‌باشد. در این روش استاندارد برای دمای مطلوب خانوار تعریف می‌گردد که خانوار با استفاده از وسایل گرمایش دمای اتاق را در دمای مبنا و مطلوب خود در تعادل حرارتی با دمای بیرون نگه می‌دارد. که در این مقاله از روش روز درجه به منظور برآورد تقاضای انرژی مفید استفاده شده است که در ادامه به بیان این روش می‌پردازیم.

۳-۲-۲) روش بار حرارتی یا درجه - روز:

در تکنیک انتقال حرارت با جمع کردن بار حرارتی لحظه‌ای در سرتاسر فصل گرمایشی، کل بار گرمایی ساختمان را می‌توان اندازه‌گیری نمود. توجه داشته باشید که تنها مقادیر مثبت Q_H در نظر گرفته می‌شوند. 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):

$$Q_H = 24 \sum_{i=1}^{NH} q_{H,i}^+ = 24 \cdot BLC \cdot \sum_{i=1}^{NH} (T_b - T_{o,i})^+ \quad (3)$$

دمای مبنا، دمای درون ساختمان را بر اساس میزان دمایی که بدلیل کاهش بار گرمایشی ساختمان افزایش می‌یابد، تنظیم می‌کند. کاهش بار گرمایشی ساختمان در اثر تولید حرارت داخلی صورت می‌گیرد که معمولاً 3°C در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه T_b در اکثر ساختمانها 18°C (65°F) در نظر گرفته شده است. T_o دمای بیرونی و T_b دمای تعادل می‌باشد. مجموع برای روزهای فصل گرمایشی NH، مقدار بار (BLC) نیز ضریب بار حرارتی ساختمان یعنی حرارت به ازای یک درجه اختلاف دمای داخل و خارج می‌باشد. از رابطه (۴)، می‌توان پارامتری را که بار حرارتی ساختمان را مشخص می‌کند، به صورت درجه روزهایی (DDH)، تعریف کرد که خود تابعی است از دماهای خارجی و دمای تعادل که با دمای نقطه تنظیم گرمایشی ساختمان و جذب داخلی ساختمان، تغییر می‌کند. با انتگرال‌گیری از بار گرمایشی، کل بار گرمایشی ساختمان محاسبه می‌شود. این انتگرال با مجموع بارهای حرارتی متوسط در بازه‌های کوچک (یک ساعت یا یک روز) تقریب زده می‌شود. اگر میانگین روزانه مورد استفاده قرار گیرد، بار کل ساختمان بصورت زیر برآورد می‌شود. باید توجه داشت تنها که مقادیر مثبت q_H در انتگرال‌گیری در نظر گرفته می‌شود.

$$DDH(T_b) = \sum_{i=1}^{NH} (T_b - T_{o,i})^+ \quad (4)$$

در نهایت پارمترهای مؤثر در برآورد بار گرمایشی در رابطه (۵) ارائه شده است. که می‌توان انرژی مفید را برای شهر مشهد محاسبه کرد (راهنمای ممیزی انرژی، ۲۰۰۰):

$$E' = DDH \times 24 \times A \times BLC \quad (5)$$

Energy Demand (E'): انرژی سالانه مورد نیاز، برای تامین گرمایش بر حسب ژول؛

Standard Degree: days (DD): روز - درجه گرمایش استاندارد؛

A: مساحت سطح مورد نظر (m^2)؛

BLC: ضریب انتقال حرارت کلی ($W/\text{m}^2\text{C}$)؛

۲۴: طول روز بر حسب ساعت؛

۳-۲-۳ محاسبه بار BLC :

در حقیقت مقدار بار (BLC) ضریب بار حرارتی ساختمان، حرارتی به ازای یک درجه اختلاف دمای داخل و خارج می باشد. بار ساختمان از دو بخش انتقال حرارت از پوسته خارجی ساختمان و بار هوای نفوذی و تهویه تشکیل شده را می توان بصورت مستقیم یا غیر مستقیم BLC است محاسبه نمود. در حالت مستقیم باید ضرائب انتقال حرارت، مساحت های اجزاء ساختمان و میزان هوای نفوذی محاسبه شوند. اما در روش غیر مستقیم از میزان انرژی مصرفی بر مبنای دمای خارجی ساختمان برای تخمین BLC استفاده می شود (روز درجه گرمایش). انرژی مصرفی ساختمان جهت گرمایش یا سرمایش می تواند گاز طبیعی، نفتگاز یا انرژی الکتریکی باشد. نوع انرژی مصرفی در تعیین بار ساختمان تاثیری نخواهد داشت.

- محاسبه BLC به روش غیر مستقیم (روز درجات گرمایش):

با استفاده از این روش می توان بار گرمایشی ساختمان را تخمین زد. این روش بر آنالیز موازنه حرارت در ساختمان در حالت پایدار (هدایت، نفوذ، انرژی خورشیدی و تولیدی) استوار است. انرژی مصرفی بر اساس قانون اول ترمودینامیک بدست می آید.

$$q_H = BLC(T_i - T_o) - q_g \quad (6)$$

که q_g کل حرارت کسب شده شامل حرارت کسب شده از تابش خورشید، حرارت کسب شده داخلی و تلفات زمین می باشد که چون در یک منطقه برای همه ساختمانها ثابت است معادل صفر در نظر گرفته می شود. مطابق با رابطه بالا انرژی مصرفی در ساختمان متناسب با اختلاف دما می باشد اما وجود اینرسی حرارتی باعث ایجاد تاخیر زمانی می شود به این معنی که ذخیره انرژی در دیوارها باعث می شود تا ساختمان در برابر تغییرات هوای خارج از خود مقاومت نشان دهد و انتقال حرارت با تاخیر زمانی انجام شود و لزوماً در سردترین وقت شبانه روز، ساختمان بیشترین مصرف انرژی را نداشته باشد.

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 می آید. 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 می آید (کریمی و همکاران، ۱۳۸۵):

$$\text{مصرف سوخت} = \text{مصرف پایه} + (\text{BLC} \cdot \text{DDH}) \quad (7)$$

به این ترتیب ضریب بار ساختمان از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$\text{BLC} = \frac{\sum D_i E_i - \sum D_i \sum E_i}{\sum D_i^2 - (\sum D_i)^2} \quad (8)$$

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 می باشد. میزان مصرف پایه ساختمان (C)، مطابق رابطه (۹) حساب می گردد.

$$C = \frac{\sum E_i}{n} - \text{BLC} \frac{\sum D_i}{n} \quad (9)$$

برای تعیین میزان دقت محاسبات حاصل از خط رگرسیون ضریب R از رابطه (۱۰) استفاده می شود.

$$R = \sqrt{\frac{\sum D_i^2 - \frac{\sum D_i^2}{n}}{\sum E_i^2 - \frac{\sum E_i^2}{n}}} \quad (10)$$

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، 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. با ترسیم این خط رگرسیونی نتایج زیر حاصل خواهد شد:

(۱) مصرف پایه ماهیانه

(۲) ارتباط بین اختلاف دمای هوا و مصرف انرژی که همان BLC می باشد.

بنابراین شیب خط ترسیم شده برابر با ضریب بار ساختمان (BLC) و تقاطع خط با نمودار مصرف، نشان دهنده مصرف پایه ساختمان می باشد. مصرف سوخت برای هر ماه از طریق ضرب BLC در روز درجات گرمایش بدست می آید. بطور کلی تعیین مقدار BLC برای تحلیل انرژی یک ساختمان علاوه بر مشخص کردن مصرف پایه ساختمان با توجه به دلایل زیر برای میزان انرژی مورد نیاز می باشد.

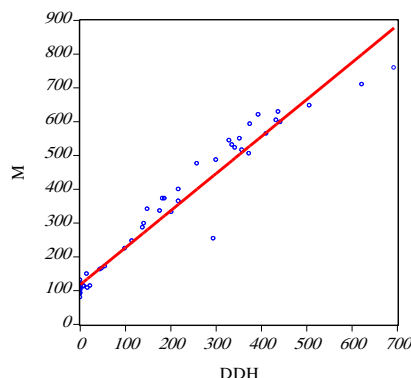
- اغلب، اطلاعات لازم برای تحلیل پوسته ساختمان در دسترس نمی باشد.
- اگر اطلاعات پوسته در دسترس بوده و ضریب بار ساختمان از طریق محاسبه اجزاء تشکیل دهنده قابل محاسبه باشد، ضریب بدست آمده از خط رگرسیون معیاری برای بررسی صحت مقادیر حساب شده خواهد بود.
- رگرسیون خطی به ما نشان می دهد که چه ارتباطی بین روز درجات گرمایش - سرمایه و مصرف انرژی وجود دارد و برای ما مشخص می کند که اینرسی حرارتی ساختمان چقدر است.

۴) بررسی و تحلیل اطلاعات:

برای محاسبه انرژی مفید در شهر مشهد، طبق رابطه (۵) بایستی در ابتدا BLC محاسبه گردد. از آنجا که در حالت مستقیم باید ضرائب انتقال حرارت، مساحت های اجزاء ساختمان و میزان هوای نفوذی محاسبه شوند و این ضرایب برای ساختمانهای مشهد به

شکل دقیق در دست نیست؛ لذا از روش دوم یعنی تخمین رگرسیون برای بدست آوردن BLC استفاده می‌گردد. برای تخمین این رگرسیون از مجموع درجه حرارت روزانه مشهد و نیز مجموع مصرف گاز روزانه مشترکین خانگی^۱ شهر مشهد، طی ماه‌های مختلف سال برای دوره زمانی ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۹ استفاده شده است.^۲ نتایج این رگرسیون در جدول ۱ آمده است. تعداد مشترکین گاز خانگی شهر مشهد نیز طبق سالنامه آماری استان خراسان در سال ۱۳۸۸ معادل ۷۱۹۱۴۳ مشترک در نظر گرفته شده است. نمودار ۱ نشان می‌دهد که مصرف گاز حول خط رگرسیونی رسم شده متناسب با افزایش فاصله دمایی هوا با درجه حرارت مطلوب (۱۸C⁰)، 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 ۱: همبستگی میان مصرف گاز و روز درجه گرمایش

ضرایب	مقدار ضرایب	انحراف معیار	آماره t
Coefficient	Coefficient amount	Standard. Error	t-Statistic
C	۱۱۷,۵	۸,۳۸	14.02**
DDH	۱,۰۹۷	۰,۰۳۳	33.11**
F-statistic=1096.3**		R ² = .۹۵	

منبع: یافته‌های تحقیق

* معنی دار در سطح ۱۰ درصد

** معنی دار در سطح ۵ درصد

بنابراین BLC را طبق جدول فوق معادل $1,097 \frac{m^3}{C}$ در نظر گرفت که چنانچه متوسط وزنی سطح زیر بنا در شهر مشهد با توجه به جدول ۲ معادل ۱۰۶/۱۶ متر مربع باشد، BLC به ازای هر واحد زیر بنا تقریباً معادل $10^{-4} \times 10^2 \frac{m^3}{m^2 \cdot C}$ خواهد بود. مسلماً بکاربردن مصالح مرغوب و عایق حرارتی می‌تواند به کاهش این ضریب انتقال حرارتی کمک کند. نوری (۱۳۸۸)، در مقاله خود بیان می‌کند چنانچه ساختمان‌های کشور از عایق حرارتی استفاده کند در این صورت ضریب حرارتی کل ساختمان به صورت رابطه ی ذیل خواهد بود:

$$= 0.6 \times A + 6.32 \times A^{-1/2} + 0.39 \times A \quad (11)$$

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

^۱ برای بدست آوردن متوسط مصرف روزانه مشترکین خانگی، مصرف کل گاز مشترکین خانگی بر تعداد مشترکین تقسیم کرده ایم.

^۲ 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.

1 cubic foot of natural gas: 1015 BTU
 $1 \text{ ft}^3 = 0.028 \text{ m}^3$
 $1 \text{ BTU/h} = 0.293 \text{ W}$

با توجه به متوسط سطح زیر بنا و رابطه (۱۱) ضریب حرارتی یک ساختمان در حالت عایق بندی مناسب به ازای هر مترمربع معادل ۰,۹۹ است. در حالی که میزان BLC ساختمان های مشهد معادل $\frac{4}{51} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{C}}$ بدست می آید و با توجه به آنکه این رقم به میزان زیادی از ضریب حرارتی استاندارد فاصله دارد، لذا لزوم انجام ممیزی انرژی در ساختمان های شهر را نشان می دهد. همچنین از آنجا که R^2 در این مطالعه ۰,۹۵ است و بیشتر از ۰,۸ می باشد، این امر نشان می دهد ساختمان ها در مشهد دارای اینرسی حرارتی پایینی می باشند؛ بدان معنا که تغییرات درجه حرارت بیرون در زمان کوتاهی به داخل ساختمان منتقل می گردد و ارتباط انرژی مصرفی ساختمان با هوای بیرون زیاد است و ساختمانها از عایق کاری مناسبی برخوردار نیستند (کریمی و همکاران، ۱۳۸۵).

جدول ۲ - تعداد و درصد خانوارهای شهری استان خراسان رضوی بر اساس گروه های هزینه ای

میانگین مساحت زیربنای محل سکونت	تعداد خانوارهای شهر مشهد	درصد خانوارها	بازه هزینه ای	
۶۵/۹۲	۲۱۹۸۷	۳/۰۸	۱۲۰۰۰۰۰ ریال و کمتر	گروه اول
۷۴/۳۸	۱۸۳۲۲	۲/۵۵	۱۲۰۰۰۰۱ تا ۱۶۵۰۰۰۰ ریال	گروه دوم
۸۰/۴۷	۱۱۹۰۹	۱/۶۶	۱۶۵۰۰۰۱ تا ۱۹۵۰۰۰۰ ریال	گروه سوم
۸۵/۲۲	۲۹۳۱۵	۴/۰۸	۱۹۵۰۰۰۱ تا ۲۴۰۰۰۰۰ ریال	گروه چهارم
۹۱/۰۰	۵۳۱۳۴	۷/۳۹	۲۴۰۰۰۰۱ تا ۳۰۰۰۰۰۰ ریال	گروه پنجم
۹۵/۸۳	۱۳۲۸۳۵	۱۸/۴۷	۳۰۰۰۰۰۱ تا ۴۵۰۰۰۰۰ ریال	گروه ششم
۱۰۰/۳۴	۱۱۵۴۲۹	۱۶/۰۵	۴۵۰۰۰۰۱ تا ۶۰۰۰۰۰۰ ریال	گروه هفتم
۱۰۷/۶۲	۶۹۶۲۴	۹/۶۸	۶۰۰۰۰۰۱ تا ۷۵۰۰۰۰۰ ریال	گروه هشتم
۱۱۲/۳۷	۶۴۱۲۷	۸/۹۲	۷۵۰۰۰۰۱ تا ۹۰۰۰۰۰۰ ریال	گروه نهم
۱۲۹/۵۵	۲۰۲۴۵۹	۲۸/۱۵	۹۰۰۰۰۰۱ ریال و بیشتر	گروه دهم
---	۷۱۹۱۴۱	۱۰۰	-----	مجموع

منبع: مرکز آمار ایران ۱۳۸۸.

بر اساس جدول ۱ و رابطه (۷) میزان مصرف پایه ماهیانه خانوارها در مشهد معادل ۱۱۷ مترمکعب گاز است که این مصرف شامل آب گرم مصرفی، پخت و پز و ... می باشد.

حال می بایست طبق رابطه (۵) تقاضای انرژی مفید برای هر واحد خانوار را محاسبه کرد. میزان DD که معادل مجموع اختلاف درجه حرارت محیط با درجه حرارت مینا یعنی 18°C ، برای فصول سرد سال (از آبان ماه تا اسفند) است، برای شهر مشهد در سال ۱۳۸۹ معادل 1660°C بدست آمد. BLC نیز در قسمت قبل معادل $10^{-4} \times 10.2$ برای ساختمان های مسکونی شهر مشهد محاسبه شد. به این ترتیب انرژی گرمایشی مفید بر حسب مترمکعب برای دوره سرد سال از رابطه ذیل محاسبه می شود:^۱

$$E' = 1660^\circ\text{C} \times A_i \text{ m}^2 \times 10.2 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{C}} \quad (12)$$

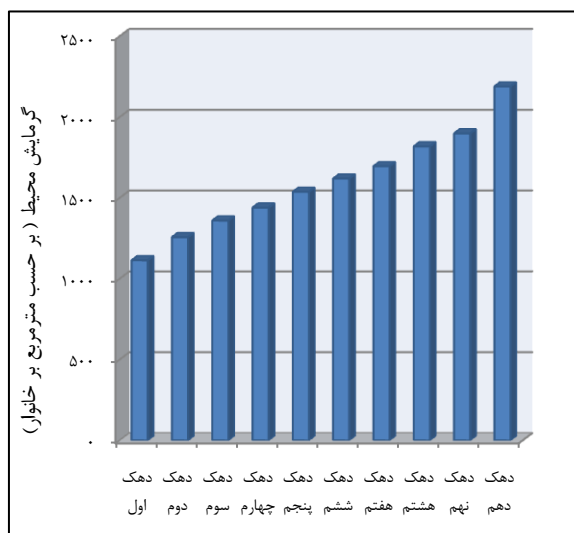
تقاضای انرژی مفید برای کل خانوارها در دهک های هزینه ای مختلف براساس رابطه ۲ و ۱۲ محاسبه شده و در جدول ۳ آمده است.

^۱ با توجه به اینکه BLC در این روش برای کل روز محاسبه می شود لذا نیازی به وارد کردن عدد ۲۴ در این رابطه نیست.

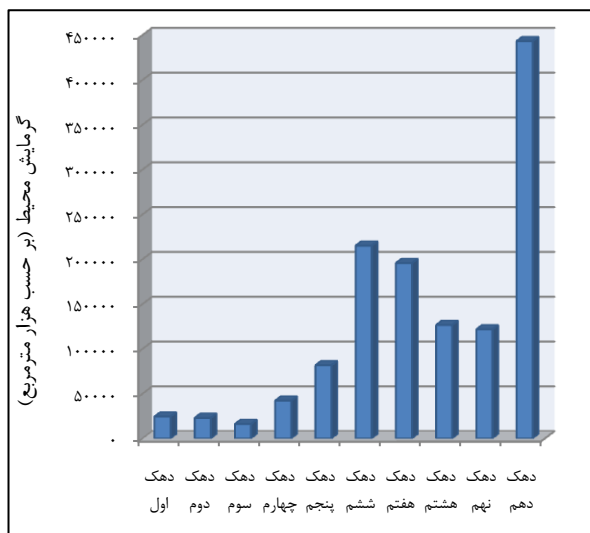
جدول ۳ - میزان تقاضای انرژی مفید برای دهک‌های هزینه‌ای مختلف (بر حسب هزار متر مکعب)

دهک	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم	نهم	دهم
کل تقاضای انرژی مفید ($E_{i,j}$)	۲۴۴۹۵	۲۳۰۳۱	۱۶۱۹۶	۴۲۲۲۰	۸۱۷۱۵	۲۱۵۱۳۰	۱۹۵۷۳۸	۱۲۶۶۳۱	۱۲۱۷۸۱	۴۴۳۲۶۳
تقاضای انرژی مفید هر خانوار ($E'_{i,j}$)	۱۱۱۴	۱۲۵۷	۱۳۶۰	۱۴۴۰	۱۵۳۸	۱۶۲۰	۱۶۹۶	۱۸۱۹	۱۸۹۹	۲۱۸۹

نمودار ۳- تقاضای انرژی مفید گرمایش برای هر خانوار (به تفکیک گروه‌های هزینه‌ای)



نمودار ۲- تقاضای انرژی مفید گرمایش (به تفکیک گروه‌های هزینه‌ای)



با محاسبه تقاضای انرژی به خانوار می‌توان نقش گروه‌های هزینه‌ای مختلف را بر تقاضای انرژی به صراحت مشاهده نمود. همانطور که از نمودار (۳) استنباط می‌گردد خانوارهای دهک‌های بالاتر تقاضای انرژی بیشتری نسبت به دهک‌های پایین‌تر دارند. با توجه به اینکه در کل سطح شهر امکان دسترسی به گاز برای همه خانوارها در دهک‌های مختلف وجود دارد، لذا اختلاف نشان داده شده در نمودار (۲) در بین دهک‌های هزینه‌ای مربوط به تعداد و سطح زیر بنای خانوارها در این دهک‌ها می‌شود. با توجه به جدول ۴ میزان تقاضای انرژی مفید برای گاز طبیعی کل خانوارها در شهر مشهد معادل ۱۲۹۰۱۹۸ هزار متر مکعب می‌باشد. همچنین میزان گاز مصرفی برای مصارف غیرگرمایشی با توجه به جدول ۱ از طریق رابطه ۱۳ محاسبه می‌شود که معادل ۱۰۱۳۹۹۲ هزار مترمکعب است.

$$(۱۳) \quad \text{تعداد مشترکین خانگی} \times \text{مصرف پایه خانوارها} \times \text{تعداد ماه سال} : \text{میزان گاز مصرفی مصارف غیر گرمایش}$$

میزان گاز مصرفی در شهر مشهد در سال ۱۳۸۹ طبق گزارش شرکت گاز شهر مشهد معادل ۲۵۵۴۷۳۶ هزارمترمکعب بوده و با توجه به آنکه طبق محاسبات انجام شده به میزان ۱۰۱۳۹۹۲ هزار مترمکعب آن به جهت مصارف غیر گرمایشی بوده است از این رو میزان مصرف گاز طبیعی خانوار به جهت گرمایش معادل ۱۵۴۰۷۴۵ می‌باشد. گرمای مفید برای بخش خانگی در مشهد معادل ۱۲۹۰۱۹۸ هزار مترمکعب بدست آمد که با توجه به رابطه (۱) نشان دهنده کارایی ۸۳ درصدی سیستم‌های گرمایشی در سطح شهر است.

۵) نتیجه گیری و پیشنهادات:

از محاسبه تقاضای انرژی به خانوار برای گروه‌های هزینه‌ای مختلف استنباط می‌گردد خانوارهای گروه‌های بالاتر تقاضای انرژی بیشتری دارند و چنانچه یارانه‌ای برای سوخت‌های مصرفی به جهت گرمایش وجود داشته باشد بخش زیادی از آن نصیب خانوارهای دهک‌های بالای هزینه‌ای، به دلیل مصرف زیادتر آنها می‌گردد در حالی که سهم اندکی از آن نصیب خانواده‌های با دهک‌های پایین هزینه‌ای می‌گردد. همچنین 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 $\frac{W}{m^2 \cdot C}$ ۴٫۵۱ است و از میزان استاندارد آن یعنی $\frac{W}{m^2 \cdot C}$ ۰٫۹۹ فاصله زیادی دارد این امر می‌رساند که می‌توان با بهبود ضریب انتقال حرارت دیوارها، عایق بندی مناسب ساختمان‌ها و استفاده از مصالح مناسب در آنها به میزان ۷۸ درصد کاهش تقاضای انرژی مفید در این بخش ایجاد کرد و صرفه‌جویی زیادی در انرژی به جهت گرمایش ایجاد کرد و از سهم بالای مصرف گاز در این بخش نسبت به سایر بخش‌ها، کاست. محاسبه بازدهی سیستم‌های گرمایشی نیز نشان می‌دهد که این سیستم‌ها در شهر مشهد از کارایی نسبتاً بالایی برخوردارند از این رو پیشنهاد می‌شود که برای کاهش تقاضای انرژی در شهر مشهد اقداماتی جهت تشویق مشترکین به عایق بندی مناسب ساختمان‌ها و استفاده از مصالحی با ضریب انتقال حرارت پایین صورت گیرد.

۶) منابع:

۱. شرکت بهینه سازی مصرف سوخت <http://www.ifco.ir>
۲. سایت شرکت ملی گاز ایران: <http://www.nigc.ir>
۳. سایت سازمان هواشناسی ایران: <http://www.irimet.net>
۴. مرکز آمار ایران، <http://www.sci.org.ir>
۵. سالنامه‌های آماری استان خراسان رضوی.
۶. سازمان بهینه سازی سوخت، مدل برنامه ریزی انرژی در استان تهران.
۷. نوروزی، علی، ۱۳۸۸، برآورد تقاضای انرژی مفید بخش خانگی در ایران به تفکیک گروه های هزینه‌ای مختلف خانوار، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال ششم، شماره ۲۳، صفحات ۱۹۳-۱۶۱.
۸. فاکهی خراسانی، امیرحسین؛ شفیع، سید احسان الدین؛ سیوحی، بداله و غفرانی، محمد باقر، ۱۳۸۶، مدل‌سازی تقاضای انرژی مفید در بخشهای مختلف اقتصادی، ششمین همایش ملی انرژی، وزارت نیرو.
۹. جعفرآبادی، رضا و فاکهی خراسانی، امیرحسین، ۱۳۸۶، مدل‌سازی تقاضای انرژی مفید در بخش حمل و نقل کشوری، ششمین همایش ملی انرژی، وزارت نیرو.
۱۰. نوروزی، علی، ۱۳۸۸، برآورد تقاضای انرژی مفید گرمایش محیط بخش خانگی در ایران، بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق.
۱۱. شاه‌حسینی، امید؛ سلیمیان، زهره؛ گودرزی، رضا؛ و علیمردانی، محمد، ۱۳۸۸، پیش‌بینی تقاضای انرژی الکتریکی در بخش حمل و نقل تا سال ۱۳۹۵ ایران توسط مدل MAED، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۳، شماره ۱، صفحات ۲۴-۱۱.
۱۲. کیخانی، ت، ۱۳۸۸، ممیزی انرژی در ساختمان، شرکت ملی پخش فرآورده های نفتی، هفتمین همایش ملی انرژی.
۱۳. کریمی، آ و خستو، ب، ۱۳۸۵، دستورالعمل ممیزی انرژی و روش بررسی عملکرد دیواره های خارجی ساختمان، پنجمین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان.
14. International Atomic Energy Agency, "Model for analysis of the energy demand (MAED). A technical document", IAEA, Press, Vienna, 1986.
15. Energy Audit Guide Part B: System Retrofits for Energy Efficiency, Center for Renewable Energy Sources, May 2000.
16. Saboohi, Y., 1989, Model for Analysis of Demand for Energy MADE-II, Stuttgart University, IKE/DC/89-1.