اولین کنفرانس بین‌المللی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع
ایران، تهران، خرداد ۱۳۸۸

ارزیابی تقاضای انرژی در گرمایش و سرمایش بخش خانگی

علی قلی‌زاده[۱]، محمدحسن سعیدی[۲]، محمدبهشاد شفیعی[۳]، محمدسعید سعیدی[۴]

[۱]کارشناس ارشد، دانشگاه صنعتی شریف؛ Ali_Gholizadeh@mech.sharif.edu
[۲]استاد، دانشگاه صنعتی شریف؛ Saman@sharif.edu
[۳]استادیار، دانشگاه صنعتی شریف؛ Behshad@sharif.edu
[۴]استاد، دانشگاه صنعتی شریف؛ Mssaidi@sharif.edu

چکیده

در این تحقیق با بررسی تحقیقات مختلف انجام شده در برآورد تقاضای انرژی در حوزه خانگی و مطالعه روش‌های مورد استفاده آنها مناسب‌ترین روش برای برآورد تقاضای انرژی در گرمایش و سرمایش این حوزه انتخاب شده است. با توجه به تحقیقات انجام شده می‌توان از روشهایی که بهترین نتیجه را بدست داده‌اند الگو برداری مناسب را انجام داد اما در اکثر آنها پارامترهای اقتصادی-اجتماعی بصورت همزمان در نظر گرفته شده است. اصل کلی مورد استفاده در اکثر آنها استفاده از آمار و اطلاعات تاریخی برای بدست آوردن الگوی مصرف است. برای برآورد انرژی مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش از دو روش، انرژی مورد نیاز جهت آب‌گرم مصرفی و مصرف برق محاسبه شده و از کل انرژی مصرفی کسر می‌گردد، برای اینکار از مدل‌های مهندسی استفاده شده است و از تلفیق این دو روش تقاضای انرژی محاسبه گردیده است. در نهایت مصرف انرژی وابسته به پارامترهای اقتصادی خواهد بود و انرژی مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش در سال ۱۴۰۰ با توجه به روند فعلی مصرف و بازده وسایل در برق برابر ۹۲۹۶ میلیون‌کیلووات‌ساعت و با خطای ۰/۹٪ و در گاز و نفت برابر با ۶ میلیون‌تراژول و با خطای ۴/۵٪ برآورد شده است.

کلمات کلیدی: تقاضای انرژی، بخش خانگی، گرمایش و سرمایش، مدل تقاضا.

مقدمه

محاسبه تقاضای انرژی به عنوان یکی از مهمترین ورودی‌ها در مدل عرضه انرژی است و پیش‌بینی انرژی مورد نیاز جامعه در آینده را ممکن می‌سازد، این در حالیست که تغییر در طراحی تجهیزات و قیمت انرژی باعث تغییرات سریع در الگوی مصرف نیز شده است و این تغییرات می‌تواند در این برآورد تأثیرگذار باشد.

قسمت مهمی از انرژی مصرفی در کشور مربوط به انرژی مورد نیاز برای سرمایش و گرمایش ساختمان‌های مسکونی است، با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران که بخش اعظمی از آن را مناطق کویری و کوهستانی تشکیل داده است در تابستان مصرف برق و در زمستان مصرف زیاد گاز را در پی خواهد داشت. در سال ۸۵ این حوزه دارای مصرف گاز طبیعی ۲۶۳/۶ میلیون بشکه معادل نفت و مصرف برق ۴۷/۲ میلیون بشکه معادل نفت و مصرف فراورده‌های نفتی ۹۰/۵ میلیون بشکه معادل نفت بوده است. در این میان به میزان ۹۸۴۴۴/۹ میلیارد ریال یارانه تعلق گرفته است که بیشترین سهم مربوط به برق بوده و بعد از آن گاز طبیعی و نفت سفید دارای مقام دوم و سوم هستند.[۱]

با توجه به سرشماری نفوس و مسکن در سال ۱۳۸۵عمده‌ترین حامل‌های انرژی برای ایجاد گرما مطابق جدول ۱ است[۲].

جدول ۱: عمده‌ترین حامل انرژی برای تولید گرما[۲]

حامل انرژی	تعداد خانوار مصرف‌کننده	درصد
نفت سفید	۴۴۳۴۶۰۰	۲۵/۳۶
گازوییل	۱۵۶۹۳۷	۰/۹
گاز مایع	۵۷۲۸۴۹	۳/۲۹
گاز طبیعی	۱۱۳۶۰۶۴۳	۶۴/۹۶
برق	۵۷۴۸۵۸	۳/۲۹
سوخت جامد	۲۶۰۳۴۰	۱/۴۹
سایر سوخت‌ها	۱۳۸۵۹	۰/۱
هیچکدام	۷۸۶۹۵	۰/۴۶
اظهار نشده	۳۸۴۷۹	۰/۲۴

همانطور که مشاهده می‌شود عمده مصرف سوخت برای گرمایش گاز طبیعی است و نفت سفید در رده‌ی دوم قرار دارد همچنین با توجه به قانون دوم ترمودینامیک عمده حامل انرژی برای سرمایش برق می‌باشد. مصرف برق برای سرمایش در کنار استفاده از سایر وسایل در خانه حدود ۳۰٪ مصرف برق کشور را به خود اختصاص داده و بعد از بخش صنعت در رده دوم قرار دارد[۳]. با توجه به این موضوع برای مدیریت صحیح انرژی و بکارگیری درست آن جهت کاهش مصرف بی‌رویه و هدرروی انرژی قوانین و استانداردهایی در ایران تدوین شده است که مهمترین آن مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان می‌باشد که از سال ۱۳۷۰ اجرای آن در ساختمان‌های کشور الزامی گردید. این مبحث چندین بار بازنگری گردیده که آخرین آن در سال ۱۳۸۱ بوده و بعد از بازنگری چاپ و به کلیه ارگان‌های کشوری ابلاغ گردید. در حال حاضر اجرای مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان برای تمامی ساختمان‌های دولتی اجباری است و اجرای آن برای تمامی ساختمان‌های بخش خصوصی واقع در تهران و شهرهای تابعه از سال ۱۳۸۴ اجباری شده است. برای

Archive of SID
www.SID.ir

ساختمان‌های واقع در سایر شهرها و استانها مطابق برنامه زمانبندی شده الزامی می‌باشد که همه بعد از ۱۳۸۴ هستند[۴].

استاندارد لازم برای اینکار نیز در مؤسسه ملی استاندارد ایران تدوین شده است و بر مبنای این استاندارد باید ضرایب هدایت حرارتی مطابق جدول ۲ باشد[۵].

مهمترین موضوع در بکارگیری این قوانین در محاسبات ضمانت اجرایی آن است که در بسیاری از کشورها سرپیچی از قوانین امری بدیهیست. با توجه به اینکه طرح فوق‌الذکر از سال ۱۳۸۴ اجرایی شده است و اطلاعات موجود که برای برآورد تقاضای انرژی مورد نیاز است مربوط به قبل از سال ۱۳۸۵ می‌باشد، عملاً فرض می‌شود استاندارد مشخصی وجود نداشته و منازل دارای عایق‌بندی نیستند.

جدول ۲: مقادیر k با فواصل رواداری ۹۰٪ یک طرفه با سطح اطمینان ۹۰ درصد[۵]

تعداد نتایج آزمون	k
۱۰	۲/۰۷
۱۱	۲/۰۱
۱۲	۱/۹۷
۱۳	۱/۹۳
۱۴	۱/۹۰
۱۵	۱/۸۷
۱۶	۱/۸۴
۱۷	۱/۸۲
۱۸	۱/۸۰
۱۹	۱/۷۸
۲۰	۱/۷۷
۲۲	۱/۷۴
۲۴	۱/۷۱
۲۵	۱/۷۰
۳۰	۱/۶۶
۳۵	۱/۶۲
۴۰	۱/۶۰
۴۵	۱/۵۸
۵۰	۱/۵۶
۱۰۰	۱/۴۷

مصرف انرژی ساختمان‌ها سهمی حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد از انتشار آلایندهٔ دی اکسید کربن مربوط به انرژی را داشته و برآورد می‌شود ۱۰ تا ۱۲ درصد از کل سهم انسان در تغییرات آب و هوایی ناشی از گازهای گلخانه‌ای ناشی از این مقدار مصرف انرژی باشد. در سرتاسر دنیا، رشد مصرف انرژی در ساختمان‌ها در هر سال به طور متوسط ۸ درصد است که این رقم در ایران بیش از ۱۰ ٪ می‌باشد. سرعت رشد انرژی در میان ملت‌ها به اختلافات ساختاری (آمار جمعیتی، ساختار صنعتی و رشد اقتصادی کشور، تفاوت در الگوهای مصرف و مقدار خدمات انرژی) که هر یک از مصرف‌کنندگان انرژی مایل به بهره‌برداری از آن هستند، بستگی دارد. در بخش ساختمان، این اختلافات از تفاوت در روش ساخت بنا و استفاده از محصولات مصرف‌کنندهٔ انرژی ناشی می‌شود. هر کشور می‌تواند رشد طبیعی تقاضا برای خدمات انرژی را با تلفیق تأمین بیشتر انرژی و ارتقای کارآیی وسایل و تجهیزات مصرف کنندهٔ انرژی، اصلاح کند. در تمامی بخش‌های مصرف‌کننده انرژی، معمولاً استراتژی مؤثرتر اقتصادی کشور، ارتقای کارآیی وسایل و تجهیزات مصرف‌کنندهٔ انرژی است. پیش‌بینی می‌شود که در سال ۲۰۲۰، مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی و تجاری در کشورهای در حال توسعه، ۳۱٪ از مصرف کل انرژی آن‌ها باشد. برنامه‌های دولت برای تدوین و وضع استانداردها و برچسب‌گذاری‌ها، می‌تواند روی بیشتر انرژی مصرفی ساختمان‌ها، از حالا تا دو دههٔ دیگر مؤثر باشد. بیشتر محصولات مصرف‌کننده انرژی که برای ساختمان‌های ۲۰ سال آینده مناسب هستند ، تاکنون ساخته نشده‌اند. در یک طرح خوب، استانداردهای اجباری کارآیی انرژی، محصولات ناکارآمد را از چرخه فروش خارج خواهد کرد و سبب افزایش رفاه اقتصادی کلی بیشتر مصرف-کنندگان، بدون ایجاد محدودیت عمده‌ای در انتخاب محصولات، خواهد شد. جدول ۳ وضعیت موجود و هدف دولت را برای استانداردهای لوازم مصرف‌کننده سوخت‌های فسیلی نشان می‌دهد[۳].

استانداردها و قوانین ذکر شده باید دارای کنترل مناسب در هنگام ساخت باشند که در ایران اینگونه نیست و با توجه به اینکه این مسئله از سال ۱۳۸۴ اجباری شده است که با تقریب خوبی برای خانه‌های ساخته شده تا این سال هیچگونه عایق‌بندی دیوارهای جانبی وجود ندارد و صرفاً در برخی مناطق عایق‌بندی سقف انجام شده است.

جدول ۳: برخی وسایل مصرف‌کننده انرژی با راندمان فعلی و راندمان هدف[۳]

نوع محصول	راندمان	
	راندمان حرارتی واقعی بر اساس استاندارد ملی	متوسط استاندارد راندمان هدف
آبگرمکن نفتی	٪۳۵	٪۸۵
آبگرمکن گازی فوری دیواری	٪۶۵	٪۸۶
آبگرمکن گازی مخزن دار	٪۴۵	٪۹۰
بخاری گازی بدون دودکش	-	٪۹۴
بخاری گازی دودکش دار	٪۶۵	٪۸۵
بخاری نفتی	٪۴۵ (دودکش دار)	٪۹۹ (بدون دودکش)

در این تحقیق تقاضای انرژی در بخش سرمایش و گرمایش با دو روش مدل‌سازی تخصصی و روش بررسی پارامترهای اقتصادی-اجتماعی مورد بررسی قرار می‌گیرد. روش‌های مدل‌سازی تخصصی

Archive of SID

www.SID.ir

در موارد بسیاری به کار گرفته شده‌اند که دارای نقایصی هستند و از جمله آنها عدم در نظرگرفتن دمای آسایش و سطح زیربنا است که با مدل اقتصادی-اجتماعی تأثیر این موارد نیز محاسبه می‌گردد. برای بررسی سناریوهای مختلف در برآورد تقاضای انرژی در آینده بررسی تأثیر این پارامترها بسیار دارای اهمیت است.

در نمونه تخصصی علاوه بر در نظرگرفته شدن ۴ فرد بالغ به عنوان ساکن مساحت زیر بنا برابر با ۱۰۰ مترمکعب درنظرگرفته شده است.

در این تحقیق بر خلاف سایر تحقیقات مدل اقتصادی-اجتماعی به صورت دو مدل مجزا در نظر گرفته شده است و هر یک بر مبنای پارامترهای مستقل از یکدیگر تقاضای انرژی را برآورد می‌کنند. پس از برآورد انرژی توسط دو مدل خطای ایجاد شده در این محاسبات نسبت به سال‌هایی که مصرف انرژی در آنها وجود دارد محاسبه شده است.

مدل NEMS[۶]

در این قسمت با توجه به اهمیت ارتباط برآورد تقاضای انرژی و مدل عرضه انرژی مدل ملی انرژی کشور آمریکا بررسی می‌گردد. مدول تقاضای خانوار مصرف انرژی را به وسیله آمارگیری پیش‌بینی می‌کند و در آن هفت بازار منبع انرژی به علاوه انرژی خورشیدی و انرژی زمین‌گرمایی آمده است. بنای این مدل بر موجودی خانه‌ها و تجهیزات مصرف‌کننده انرژی در آنها است و تراکنش بین این مدل و مدل NEMS پیش‌بینی قیمت انرژی خانوار، آلودگی، سرمایه قابل عرضه و خانه‌هایی که استفاده از آنها شروع شده است را بر مبنای نوع سوخت مصرفی و خدمات نهایی برای استفاده، ممکن می‌سازد (شکل ۱).

در مدل تقاضای خانوار ۴ مسئله اصلی مورد توجه قرار گرفته است: مسائل اقتصادی در خانوار، تأثیر ساختار، تغییرات فناوری و توسعه و تأثیر بازار انرژی. مسائل اقتصادی در خانوار شامل تعداد نفرات، نوع سکونت (تک خانوار، چند خانوار، خانه متحرک)، درآمد قابل تصرف و محل قرارگیری خانه است. در سایر موارد تأثیرات قیمت انرژی در درازمدت و کوتاه‌مدت بر مصرف و بازده وسایل، تأثیر نحوه عایق‌بندی و چگونگی قرارگیری واحدها مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

زیرمدل موجودی خانه: در این زیرمدل با استفاده از آمارگیری و اطلاعات تاریخی نرخ مساحت زیربنای از رده خارج شده و همچنین نرخ تولید ساختمان جدید محاسبه شده و این نرخ برای آینده پیش-بینی می‌گردد.

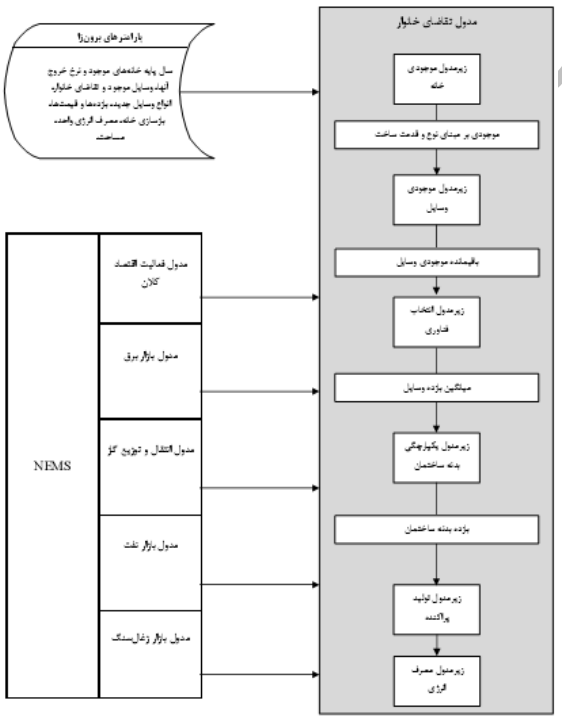
زیرمدل موجودی وسایل: وسایل مورد استفاده در خانه و بازده آنها نیز با استفاده از آمار و اطلاعات تاریخی در بازه زمانی چند ساله مورد بررسی قرار گرفته است که از جمله آنها پمپ حرارتی، اجاق گاز، تهویه مرکزی هوا، آب‌گرمکن، یخچال، فریزر، اجاق، ماشین ظرفشویی، ماشین لباسشویی و خشک‌کن است. یک تابع خطی برای از رده خارج شدن وسایل در خانه برای تجهیز خانه در دو حالت کمینه و بیشینه در نظر گرفته شده است. وقتی وسیله‌ای از رده خارج می‌گردد، وسیله‌ای جدید جایگزین آن می‌شود و به تبع آن بازده وسایل افزایش می‌یابد و دلیل این مسئله رشد فناوری، استاندارد تجهیزات و تحمیل از سوی بازار است[۶].

زیرمدل انتخاب فناوری: انتخاب تجهیزات با سوخت خاص برای ساختمان‌های جدید و خرید برای تعویض اهمیت دارد، به عنوان مثال خانه تازه تأسیس می‌تواند دارای سیستم گرمایش مرکزی باشد که روی آب‌گرم مصرفی، گرمایش منزل و ... تأثیرگذار خواهد بود. نکته‌ای که وجود دارد هزینه‌های مربوط به راه‌اندازی سیستم‌های جدید است که باعث ایجاد موازنه در خانوار بین قیمت انرژی و قیمت راه‌اندازی می‌گردد.

زیر مدل یکپارچگی بدنه خانه: این بخش بیشتر درباره بازده گرمایش و سرمایش خانه بوسیله عایق‌بندی طبق استانداردهای موجود صحبت به میان می‌آورد و معیار عمل آن بیشینه این بازده است.

زیر مدل توزیع پراکنده: در این بخش از مدل سیستم‌هایی چون فتوولتائیک و پیل سوختی لحاظ شده‌اند که میزان سرمایه‌گذاری اولیه و میزان مصرف انرژی در آنها مشخص گردیده است.

زیرمدل مصرف انرژی: مبنای کار این زیرمدل شدت مصرف انرژی بهبود یافته در سال پایه برای پیش‌بینی هر سال است با استفاده از محاسبه استفاده نهایی و نوع خانه و جمع آن با هر کدام از انرژی‌های مصرفی.



شکل ۱: تراکنش مدل خانوار و NEMS برای تقاضای خانوار

مدل مهندسی (تخصصی)

این مدل بر مبنای استخراج مصرف انرژی برای واحد نمونه و تعمیم آن برای کلیه واحدهای مشابه است. محاسبه مصرف برق بر مبنای

Archive of SID

www.SID.ir

وسایل مورد استفاده در تحقیق [۷] نیاز انرژی به سه دسته انرژی الکتریکی، انرژی گرمایش و سرمایش و انرژی مورد نیاز برای آب گرم تقسیم شده است. بنابراین با داشتن کل مصرف می‌توان با کم‌کردن مقادیر مربوط به آب‌گرم مصرفی و مصرف برق، گرمای مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش را به دست آورد. برای برآورد نیاز انرژی الکتریکی در ساختمان میزان واقعی مصرف در بازه زمانی استفاده از وسایل برقی و چراغ روشنایی برای خانواده نمونه در نظرگرفته شده است. برای این کار خانواده‌ای با چهار نفر عضو ساکن در یک واحد مسکونی در ماه دی در نظر گرفته می‌شود و مقدار مصرف به صورت زیر است[۷]:

- چراغ روشنایی: ۲عدد، ۲۳۶ وات، ۳۰ دقیقه، از ساعت ۶ تا ۶:۳۰ قبل از ظهر. ۳ عدد، ۳۵۴ وات، ۳۰ دقیقه، از ساعت ۶:۳۰ تا ۷ قبل از ظهر. ۴عدد، ۴۷۲ وات، ۲۱۰ دقیقه، از ساعت ۴:۳۰ تا ۸ بعد از ظهر. ۳عدد، ۳۵۴ وات، ۱۸۰ دقیقه، از ساعت ۸ تا ۱۱ بعد از ظهر.
- تلویزیون: ۱عدد، ۷۰ وات، ۳۰۰ دقیقه، از ساعت ۴ تا ۹ بعد از ظهر.
- کامپیوتر: ۱عدد، ۱۲۱ وات، ۱۸۰ دقیقه، از ساعت ۶ تا ۹ بعد از ظهر.
- ماشین لباسشویی: ۱عدد، ۳۴۵ وات، ۹۰ دقیقه، از ساعت ۹ تا ۱۰:۳۰ قبل از ظهر.
- سشوار: ۱عدد، ۹۵ وات، ۶۰ دقیقه، از ساعت ۷ تا ۷:۳۰ قبل از ظهر و از ساعت ۸ تا ۸:۳۰ بعد از ظهر.
- اتو: ۱عدد، ۹۶۴ وات، ۳۰ دقیقه، از ساعت ۷ تا ۷:۳۰ بعد از ظهر.
- یخچال: ۱عدد، ۲۰۵ وات، ۳۰ دقیقه در هر دو ساعت، تمام ۲۴ ساعت.

فرضیات بالا با توجه به ۱۵ ماه دی بوده است و برای تمام فصول به جز تابستان صادق است. برای فصل تابستان فرضیات ذیل اضافه می‌گردد:

- ماشین لباسشویی: ۱عدد، ۳۴۵ وات، ۹۰ دقیقه، از ساعت ۹ تا ۱۱ قبل از ظهر.
- کولر: ۱عدد، ۹۲۰ وات، ۳۶۰ دقیقه، از ساعت ۴ تا ۱۰ بعد از ظهر.

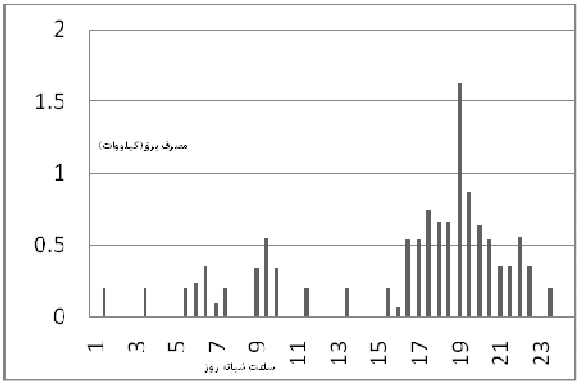
با این تخمین میزان مصرف برق حدود ۴۹۹۰۹ میلیون کیلووات ساعت می‌شود که نسبت به مقدار واقعی ۴۸۰۸۵ میلیون کیلووات دارای خطای ۳/۸ درصدی است، شکل‌های ۲ و ۳ میزان مصرف در یک روز را نشان می‌دهند.

برای برآورد انرژی مورد نیاز برای آب گرم مصرفی فرض شده است که مقدار آب مورد نیاز برای شست‌وشو برای افراد ۳۵۸/۵ لیتر در روز است و دمای مطلوب نیز ^0C ۴۱/۵ است، همچنین مقدار آب مصرفی برای ظرف شستن برای افراد ۳۰ لیتر در روز و دمای مطلوب ^0C ۵۲ خواهد بود. فرض دیگری که در این قسمت باید در نظر گرفت توزیع یکنواخت این مصرف از ساعت ۵ قبل از ظهر تا ۱۱ شب است. بنابراین انرژی مورد نیاز مطابق فرمول (۱) خواهد بود[۶].

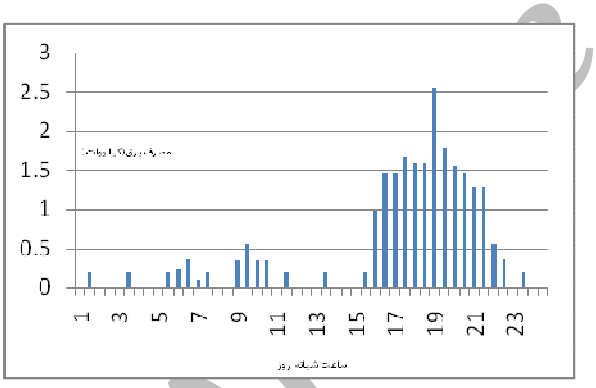
$$\dot{Q} = \rho_w C_w [\dot{V}_1 (T_1 - T_0) + \dot{V}_2 (T_2 - T_0)] \qquad (۱)$$

که T_0 دمای هوا محیط است، T_1 دمای مورد نیاز شست و شو، T_2 دمای مورد نیاز ظرف شستن، $\dot{V}_1$ دبی حجمی مورد نیاز شست و شو و $\dot{V}_2$ دبی حجمی مورد نیاز ظرف شستن می‌باشد.

بنابراین برای دمای هوا در فصول مختلف این مقدار انرژی محاسبه می‌گردد. فرض صادق در اینجا نیز اینست که ۱۵ هر ماه نشان‌دهنده تمام آن ماه است. با توجه به این محاسبات انرژی مورد نیاز برای آب‌گرم برابر با ۴۸۰۲/۴ میلیون مگاژول می‌باشد.



شکل ۲: توزیع مصرف برق در ۱۵ دی ماه



شکل ۳: توزیع مصرف برق در ۱۵ مرداد ماه

مدل تلفیقی

آقای فال[1] و همکارانش[۸] برای برآورد انرژی مورد نیاز برای گرمایش در غرب آلمان از تلفیق مدل مهندسی و مدل اقتصادی اجتماعی استفاده کرده‌اند. برای اینکار پارامترهای مورد نیاز مشخص شده و بر مبنای اطلاعات جمع‌آوری شده در سال ۱۹۹۳ و با استفاده از روش مقطع عرضی[2] تقاضای انرژی محاسبه شده است. برای برآورد این میزان انرژی، پارامتری به عنوان فاکتور انرژی مصرفی[3] در نظر گرفته شده است که برای بناهای با عمر متفاوت از

[1] Fahl
[2] Cross Sectional
[3] Useful Energy Factor

Archive of SID

www.SID.ir

مدل مهندسی استخراج شده است و با ضرب این مقدار در سطح زیر بنا مقدار انرژی مورد نیاز برای گرمایش به دست می‌آید.

برآورد پارامترها

برای برآورد تقاضای انرژی از روش سری زمانی استفاده می‌گردد و که دارای خطای کمتری نسبت به روش مقطع عرضی است، البته برای استفاده از این روش نیز مشکلاتی وجود دارد که از جمله آن نیاز به اطلاعات حداقل ۳۰ سال است که به تبع آن برخی از اطلاعات موجود نیستند و از میانگین سالانه آنها استفاده شده است. از روش مقطع عرضی به دلیل وجود سناریو قیمت نمی‌توان استفاده کرد زیرا این روش نیاز به تغییرات محلی پارامترها دارد و چون پارامتر قیمت در کل کشور ثابت است نمی‌توان از آن استفاده کرد.

پارامترهای مؤثر

برای بررسی عوامل تأثیرگذار بر مصرف انرژی می‌توان پارامترهای زیادی را برشمرد ولی اطلاعات موجود محدودیت‌هایی را اعمال می‌کند که با توجه به آنها پارامترهای زیر مورد بررسی قرار می‌گیرند.

- سرانه درآمد ناخالص داخلی.
- جمعیت.
- قیمت انرژی.
- تعداد خانوارها و تعداد افراد خانواده.
- تعداد افراد تحصیل‌کرده و در حال تحصیل.
- زیر بنا.
- تعداد اتاق.
- نوع مالکیت.
- تعداد افراد شاغل و نوع شغل
- جنسیت و سن افراد ساکن.
- سن بنا.

-تعداد افراد خانواده: تعداد افراد خانواده حاضر در یک واحد مسکونی بطور مشترک از گرمایش و سرمایش بوجود آمده نفع می‌برند. چنین مسئله‌ای برای خانه‌های دارای چند خانواده‌ی ساکن نیز صادق است. که در تقسیم‌بندی انجام شده به واحدهای دارای یک خانوار و دو خانوار و واحد دارای سه خانوار و بیشتر تقسیم شده است.

-تعداد افراد تحصیل‌کرده و در حال تحصیل: یکی از پارامترهای مؤثر در میزان مصرف انرژی برای گرمایش و سرمایش در خانوار تعداد افراد تحصیل‌کرده و یا در حال تحصیل است که معیاری برای استفاده عقلایی از انرژی و برنامه‌ریزی اقتصادی برای این منظور است. این موضوع نیز با استفاده از آمار سال ۱۳۸۵ استخراج شده است و معیار تحصیلات حداقل مدرک کارشناسی در نظر گرفته شده است.

-جنس و سن افراد خانوار: افراد با سنین متفاوت با دماهای متفاوتی احساس آسایش می‌کنند، معمولاً افراد با سن بالاتر در دماهای بالاتری احساس آرامش می‌نمایند، بطور مشابه این مسئله در مورد جنسیت‌های متفاوت نیز می‌تواند متفاوت باشد بنابراین یکی دیگر از پارامترها جنسیت و سن افراد ساکن در خانه می‌باشد. سن افراد در بازه‌های ۰-۱۹ سالگی، ۱۹ تا ۴۰ سالگی و ۴۰ سال به بالا درنظرگرفته شده است.

-مساحت زیر بنا: طبق قانون اول ترمودینامیک، گرم نمودن حجم بیشتری از هوا نیاز به صرف انرژی بیشتری نیز می‌باشد، بنابراین با توجه به برابری نسبی ارتفاع در خانه‌ها مساحت زیربنا دارای اهمیت فراوانی است که بازه‌های زیر ۵۰ مترمربع، ۵۰-۱۰۰ مترمربع و بالای ۱۰۰ مترمربع را شامل می‌شود.

-سن بنا: بسته به نوع خانه ساخته شده در زمان‌های متفاوت دارای ضریب بهره‌وری انرژی متفاوتی هستند که باید لحاظ گردد. این تقسیم‌بندی با توجه به سال و تعداد خانوار ساکن در یک واحد انجام شده است.

-نوع مالکیت: نوع مالکیت فرد می‌تواند بصورت مالک، مستأجر، در برابر خدمت، رایگان و غیره باشد که روی سرمایه‌گذاری فرد برای افزایش کارایی انرژی تأثیر مستقیم دارد.

-قیمت انرژی: به طور قطع مهمترین عامل تأثیرگذار در مصرف قیمت تعیین‌شده‌ی انرژی توسط دولت است و دولت با قراردادن یارانه و یا افزایش مالیات بر حامل‌های انرژی می‌تواند بر کاهش و افزایش مصرف نقش بسیار مؤثری داشته باشد.

-شاخص قیمت‌های خرده فروشی: به این وسیله می‌توان قیمت واقعی را محاسبه نموده و تأثیر جایگزینی حامل‌های انرژی و دیگر کالاها را بررسی کرد. اما با توجه به تأثیر ۲/۷ درصدی و ۴/۳ درصدی انرژی در سبد کالای خانوارهای شهری و روستایی به نظر می‌رسد جایگزینی وجود نخواهد داشت.

-درآمد: یکی دیگر از مهمترین پارامترهای مؤثر درآمد است که در اینجا درآمد سرانه ناخالص ملی به عنوان شاخص درآمد درنظر گرفته شده است.

-طراحی داخلی ساختمان و محل قرارگیری اتاق‌ها: قسمت‌هایی از منزل که زیاد از آنها استفاده می‌شود مانند اتاق ناهارخوری و اتاق نشیمن را در قسمت جنوبی ساختمان قرار می‌دهند. اگر فضای کافی برای تمام موارد بالا وجود نداشت اتاق نشیمن را حتماً در جنوب ساختمان قرار می‌دهند. فضای داخل ساختمان را با توجه به استفاده مشابه از آنها طبقه‌بندی می‌کنند و آنها را با درهای داخلی پیش‌ساخته از هم جدا می‌کنند. باید تا آنجا که امکان دارد فضای قسمت نشیمن کوچکتر باشد و همچنین سقف آن کوتاهتر باشد، بهتر است ارتفاع سقف در این قسمت حدود ۲/۷ متر باشد. این کار به منظور کاهش مصرف سوختی که برای گرمایش استفاده می شود پیشنهاد می شود. بنابراین یکی دیگر از پارامترها تعداد اتاق موجود در خانه است.

-اندازه و محل قرارگیری پنجره‌ها: اندازه و محل قرارگیری پنجره‌ها باید با توجه به محل قرارگیری زمین ساختمان و نوع مصالح ساختمانی, طراحی و نصب شوند. سرمایش مناسب در تابستان‌ها با استفاده از پنجره‌های باز شو قابل حصول است.

-محافظت از پنجره‌ها و عایق‌بندی: پنجره‌های معمولی به نسبت پنجره‌های دو جداره و پنجره‌های درزبندی شده تا ۱۰ برابر بیشتر

Archive of SID

www.SID.ir

تلفات حرارتی دارند. عایقکاری کاراترین تکنیک به منظور استفاده هوشمندانه انرژی است. یک منزل عایقکاری شده، در زمستان دما را ۵ درجه گرمتر و در تابستان ۱۰ درجه خنکتر نگه می‌دارد.

-تعداد افراد شاغل و نوع شغل: تعداد افراد شاغل در خانوار باعث افزایش درآمد کل خانوار می‌شود. نوع شغل افراد نیز در این مورد دخیل است و به سه دسته شغل بالا، متوسط و پایین دسته‌بندی می‌شود و شغل بالا شامل متخصصان، مدیران و قانون‌گذاران است. دسته دوم شامل تکنسین‌ها، کارمندان، کشاورزان و صنعتگران و ماهیگیران ماهر و در نهایت دسته سوم شامل متصدیان و کارگران ساده است.

نتایج

برای محاسبه ضرایب پارامترها از نرم‌افزار ای‌ویوز[4] استفاده شده است و به دلیل ارزان بودن انرژی در سبد کالای خانوار و عدم جایگزینی بین حامل‌های انرژی هر یک از انواع حامل‌های انرژی بصورت مستقل بر حسب پارامترها به دست آمده است. برای بررسی تأثیر پارامترهای دسته‌بندی شده به دسته‌های مختلف وزن‌دهی شده است به عنوان مثال خانه دارای یک اتاق ضریب وزنی ۱، خانه دارای دو اتاق وزن ۲ و خانه دارای سه اتاق دارای وزن ۳ و... است. سپس کلیه مقادیر پارامترها نسبت به سال پایه ۱۳۷۶ یکه شده‌اند و با استفاده از روش کمترین مربعات محاسبه شده‌اند. بنابراین معادلات برای مدل اقتصاد خانوار به شکل (۱) تا (۳) تشکیل شدند.

$$ECONS=C(1)+C(2)\times EPRICE+C(4)\times DWS+C(5)\times EMP+C(10)\times GDP \quad (۲)$$

$$OCONS=C(1)+C(2)\times OPRICE+C(4)\times DWS+C(5)\times EMP+C(10)\times GDP \quad (۳)$$

$$GCONS=C(1)+C(2)\times GPRICE+C(4)\times DWS+C(5)\times EMP+C(10)\times GDP \quad (۴)$$

معادلات برای مدل اجتماعی نیز بصورت تساوی (۵) است که برای مصرف برق است برای مصرف نفت و گاز نیز همین پارامترها صادق هستند.

$$ECONS=C(1)+C(3)\times AGE+C(6)\times CR+C(7)\times HH+C(8)\times OWN+C(9)\times POPUL+C(11)\times LOG(STU)+C(12)\times RM \quad (۵)$$

ضرایب معادلات و مقدار کمترین مربعات در جدول (۴) و (۵) آمده است، همانطور که مشاهده می‌شود در مدل اقتصادی ضرایب مربوط به مساحت زیربنا و تعداد افراد شاغل بیشترین تأثیر را دارد و با افزایش تعداد افراد خانوار به دلیل افزایش درآمد مجموعه خانوار مصرف انرژی افزایش می‌یابد و با افزایش سطح زیربنا در کل کشور مصرف کاهش می‌یابد و همچنین قیمت به دلیل اختصاص یارانه زیاد تأثیری در مصرف ندارد و همچنین تغییرات بسیار کم سرانه تولید ناخالص داخلی باعث تأثیر ناچیز آن بر مصرف شده است.

همانطور که در جدول(۵) مشاهده می‌گردد بیشترین تأثیر مربوط به نوع شغل و بعد از آن نوع مالکیت بر واحد مسکونی است و سایر پارامترها تأثیر چندانی بر تقاضای انرژی ندارند. حال برای بررسی صحت محاسبات صورت گرفته بوسیله این معادلات انرژی مورد نیاز بدست آمده از اطلاعات آماری را بررسی می‌کنیم و خطای بدست آمده برای هر یک را به دست می‌آوریم.

جدول ۴: مقادیر ضرایب معادلات مدل اقتصادی

ECONS	
C(1)	-۱/٤۷۷
C(2)	۰/۰۰۳
C(4)	-۱/۱۷٤
C(5)	۳/٦٤٦
C(10)	-۰/۰۱۹
R-squared	۰/۹۹۹
OCONS	
C(1)	۱/٦۱٦
C(2)	۰/۰٤
C(4)	-۳/۸٥٤
C(5)	۳/۲۲۸
C(10)	-۰/۰۲۷
R-squared	۰/۹۹٦
GCONS	
C(1)	-٥/۷٦
C(2)	۰/۲۲٤
C(4)	-۱۱/۱۷٥
C(5)	۱۷/۷۹۲
C(10)	-۰/۰٤۷
R-squared	۰/۹۹۸

خطای به دست آمده برای مدل اجتماعی دارای مقادیر بسیار زیادی است که آنرا از اعتبار ساقط می‌کند ولی در مدل اقتصاد خانوار مصرف برق دارای متوسط درصد خطای ۰/۹۱ ، مصرف نفت دارای متوسط درصد خطای ۱/۳۸ و مصرف گاز دارای متوسط درصد خطای ۴/۴۷ است که مقادیر قابل قبولی هستند.

محاسبه انرژی مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش

با توجه به معادلات به دست آمده و انرژی مورد نیاز خانوار در دو بخش مصرف وسایل الکتریکی و آبگرم مصرفی می‌توان انرژی مورد نیاز جهت گرمایش و سرمایش را محاسبه نمود. انرژی کل برابر انرژی مورد نیاز برای وسایل الکتریکی، آب‌گرم مصرفی و سرمایش و گرمایش فرض شده است، مقادیر مربوط به وسایل الکتریکی و آبگرم مصرفی از مدل تخصصی استخراج شده است که برای پیش‌بینی آن در آینده کافیست افزایش تعداد خانوار محاسبه گردد.

برای محاسبه انرژی سناریوهای متفاوتی مورد بررسی قرار می‌گیرد. نکته‌ای که در اینجا باید یادآوری گردد اینست که برای شرایط اقلیمی متفاوت باید ضریبی به عنوان ضریب شرایط آب و هوایی وارد معادلات گردد که چون تقاضای انرژی کل کشور مورد مطالعه قرار می‌گیرد این ضریب یک فرض می‌شود.

[4] Eviews

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵: مقادیر ضرایب معادلات مدل اجتماعی

ECONS	
C(1)	-۲۰۰/۴۹۲
C(3)	-۵/۶۲۹
C(6)	۵۱۵/۳۲۸
C(7)	-۳/۸۳۲
C(8)	-۳۰۳/۱۶۱
C(9)	-۱/۲۵۱
C(11)	-۴۹/۰۷۵
C(12)	۰/۰۳۲
R-squared	۰/۹۹۹
OCONS	
C(1)	۲۵/۴۴۱
C(3)	۰/۹۴۵
C(6)	-۷۶/۰۴۹
C(7)	۰/۴
C(8)	۵۰/۳۲۸
C(9)	-۰/۰۴۷
C(11)	۵/۱۱۹
C(12)	-۰/۰۱۶
R-squared	۰/۹۹۹
GCONS	
C(1)	-۶۵/۰۷۳
C(3)	-۱/۵۱۴
C(6)	۱۲۱/۱۰۸
C(7)	-۲/۴۸۷
C(8)	-۴۸/۲۰۵
C(9)	-۲/۸۰۹
C(11)	-۱۸/۵۸۲
C(12)	-۰/۰۱۸
R-squared	۰/۹۹۸

سناریوها

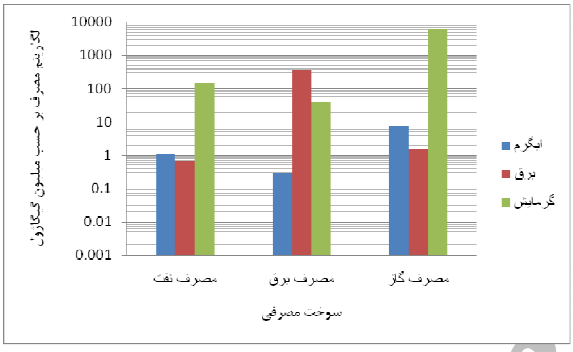
در پیش‌بینی تقاضای انرژی مورد نیاز سناریوهای زیر درنظرگرفته شده است:

I. روند فعلی قیمت‌ها و مصرف انرژی و رشد اقتصادی.
II. در اختیار قرارگرفتن انرژی با قیمت واقعی.
III. رشد اقتصادی بالا.
IV. افزایش بازده وسایل از جمله استانداردهای عایق‌بندی ساختمان.

در سناریو اول تا سوم مسایل اقتصادی مورد توجه قرار گرفته و در مورد اول فرض بر این بوده است که سرانه تولید ناخالص داخلی روند فعلی را داشته و مقدار این رشد برابر ۵ درصد خواهد بود و قیمت انرژی نیز روند کاهشی خود را با توجه به شاخص خرده‌فروشی کالای بانک مرکزی ادامه دهد. در سناریو دوم سرانه تولید ناخالص داخلی روند فعلی خود را دارد و قیمت حامل‌های انرژی برابر قیمت واقعی خواهد بود. در سناریو سوم بنا بر کلیات برنامه پنج ساله سوم قیمت‌های فعلی انرژی با رشد سرانه تولید ناخالص داخلی ۸ درصد فرض شده است.

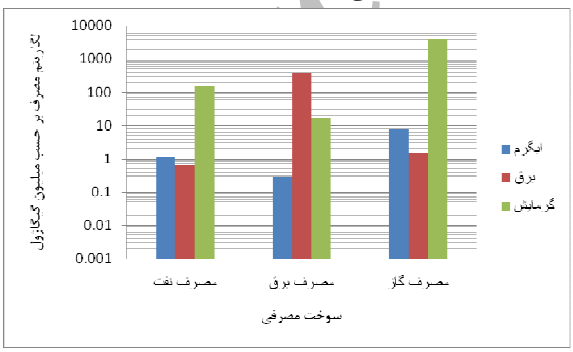
سناریو آخر بر مبنای افزایش بازده وسایل مورد استفاده در خانه بر مبنای حالت هدف پیش‌بینی شده توسط شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت است که گفته شده است.

در اولین سناریو مصرف کلی نفت، برق و گاز برابر با ۱۴۹۷۲۰، ۴۱۴۵۱۹ و ۵۸۶۱۱۱۶ میلیون‌مگاژول تخمین زده شده است که با توجه به رشد ۲/۲ برابری تعداد خانوارها مصرف آبگرم مصرفی و وسایل الکتریکی برابر با ۹۰۰۰ و ۳۷۶۰۸۱ میلیون‌مگاژول خواهد بود که بنابراین مقدار انرژی مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش برای حاملهای انرژی مختلف عبارت است از نفت ۱۴۸۰۰۰ مگاژول، گاز ۵۸۵۲۰۰۰ مگاژول و برق ۴۰۲۷۵ مگاژول است، شکل (۴) نمودار لگاریتمی مقدار مصرف انرژی بر حسب حامل انرژی را نشان می‌دهد.



شکل ۴: نمودار مصرف انرژی بر حسب حامل انرژی در سناریو اول

در سناریو دوم با توجه به اینکه تاکنون حامل‌های انرژی با قیمت واقعی که در بازار جهانی عرضه می‌گردد، توزیع نشده است نمی‌توان از روش سری زمانی استفاده کرد. با توجه به جایگزینی حامل‌های انرژی الگوی مصرف نیز دچار تغییر می‌شود. این تغییر با تغییر در درآمد افراد شاغل مدل می‌گردد.

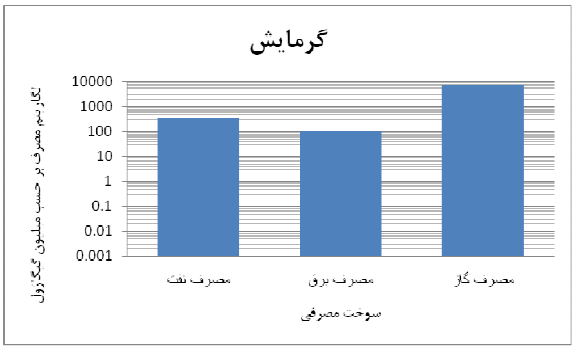


شکل ۵: نمودار مصرف انرژی بر حسب حامل انرژی در سناریو دوم

در سناریو سوم رشد سرانه تولید ناخالص داخلی هم در پارامتر GDP و هم در پارامتر EMP تأثیرگذار است و هر دو را ۱/۰۸ برابر می‌کند بنابراین تقاضای انرژی در سال ۱۴۰۰ براین مبنا مطابق شکل (۶) خواهد بود.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۶: نمودار مصرف انرژی برای گرمایش بر حسب حامل انرژی در سناریو سوم در سال ۱۴۰۰

با توجه به جدول (۲) برای گرمایش بخاری نفتی افزایش بازده ۵۵٪ و برای بخاری گازی افزایش بازده ۳۰٪ در نظر گرفته شده است و فرض شده بهبود کیفیت عایق‌بندی باعث افزایش ۳۰٪ بازده مصرف برق شود.

شکل ۷: نمودار مصرف انرژی بر حسب حامل انرژی در سناریو چهارم

نتیجه‌گیری

با استفاده از سه مدل اقتصادی، اجتماعی و تخصصی تقاضای انرژی مورد نیاز در کشور مورد بررسی قرار گرفت، پس از به دست آوردن خطا مدل اقتصادی به عنوان مدل تعیین‌کننده مصرف کل شناخته شد. با استفاده از مدل تخصصی نیاز مربوط به آبگرم مصرفی و وسایل الکتریکی استخراج شد و با استفاده از مدل اقتصادی و کسر این مقادیر نیاز کلی کشور در سال ۱۴۰۰ با توجه به سناریوهای مختلف بررسی شد و در تمام آنها گاز به عنوان اصلی‌ترین حامل انرژی برای گرمایش و برق به عنوان مهمترین حامل برای سرمایش بوده است و این دو کمترین میزان خود را در دو سناریو افزایش بازده و قیمت حامل‌های انرژی به خود اختصاص دادند. در سناریو ادامه روند فعلی مصرف انرژی مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش در سال ۱۴۰۰ با توجه به روند فعلی مصرف و بازده‌های وسایل در برق برابر ۹۲۹۶ میلیون‌کیلووات‌ساعت و با خطای ۰/۹٪ و در گاز و نفت برابر با ۶ میلیون‌تراژول و با خطای ۴/۵٪ برآورد شده است.

فهرست علائم

AGE	سن
HH	تعداد خانوار
DWS	**مساحت زیربنا**
EMP	تعداد افراد شاغل
CR	**نوع شغل**
STU	تحصیلات
OWN	**مالکیت**
RM	تعداد اتاق
GDPPC	تولید ناخالص داخلی سرانه
POPUL	جمعیت
EPRICE	قیمت برق
OPRICE	قیمت نفت
GPRICE	قیمت گاز
ECONS	مصرف برق
OCONS	مصرف نفت
GCONS	مصرف گاز

مراجع

[۱]- "ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۵"، وزارت نیرو، ۱۳۸۷.

[۲]- "سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۸۵"، درگاه ملی آمار ایران، ۱۳۸۵.

[۳]- شبکه اطلاعات و آمار وزارت نیرو www.isn.moe.org.ir

[۴]- سازمان بهنه‌سازی مصرف سوخت www.ifco.ir

[۵]- "*عایق‌های حرارتی بکارگرفته شده در ساختمان بر پایه پشم-های معدنی – ویژگی‌ها*"، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد ۸۱۱۶، چاپ اول، ۱۳۸۳.

[6]- Department of Energy,USA, www.eia.doe.gov

[7]- Ehyaei, M.A., Bahadori, M.N., "Selection of Microturbines to Meet Electrical and Thermal Energy Needs of Residential Buildings in Iran", Energy and Building, Vol. 39, 2007.

[8]- Schuler, A., Weber, C., Fahl, U., "*Energy Consumption for Space Heating of West-German Household: Empirical Evidence, Scenario Projection and Policy Implication*", Energy Policy, Vol. 28, 2000.

Archive of SID

www.SID.ir