

## مدیریت مصرف انرژی الکتریکی در بخش خانگی

سید فرید قادری، آناهیتا گیتی فروز

پژوهش در مدیریت و برنامه ریزی انرژی، دانشکده فنی دانشگاه تهران

[gitiforouz@engmail.ut.ac.ir](mailto:gitiforouz@engmail.ut.ac.ir) و [ghaderi@ut.ac.ir](mailto:ghaderi@ut.ac.ir)

واژه های کلیدی: مدیریت مصرف، انرژی الکتریکی، مدلسازی انرژی، خانگی

### چکیده:

متناسب با توسعه تکنولوژی و ارتقاء سطح زندگی مردم، نیاز به انرژی الکتریکی بعنوان نیروی محرکه چرخ عظیم خدمات صنعتی و رفاهی رو به فزونی است. قابلیت کنترل بهتر و سهولت استفاده از انرژی الکتریکی باعث شده که این انرژی در مقایسه با سایر منابع انرژی مورد توجه واقع شود. ولی محدود بودن منابع اولیه انرژی قابل تبدیل به انرژی الکتریکی و پایین بودن راندمان پروسه تبدیل در نیروگاهها، دست اندرکاران امور انرژی را به سیاستهای بهینه سازی و مدیریت مصرف رهنمون می کند. از آنجا که بخش عظیمی از مصرف انرژی الکتریکی به بخش خانگی تخصیص می یابد، در این مقاله در راستای نیل به اهداف ذکر شده ابتدا به بررسی عوامل موثر بر تقاضای برق و برآورد مدل تقاضای انرژی الکتریکی در بخش خانگی و سپس به تجزیه و تحلیل این مدل و اعمال روشهای مدیریتی متناسب با مدل برآوردی پرداخته می شود.

### مقدمه:

در سالهای اخیر افزایش هزینه تولید برق، سرمایه‌گذارهای کلان مورد نیاز برای ایجاد نیروگاهها و آلودگیهای زیست محیطی مربوط به تولید الکتریسیته و مسائل مرتبط با گرم شدن سطح زمین، گرانتتر شدن سوخت مورد نیاز نیروگاهها و تأثیرات سوء تغییرات مداوم بار روی عمر نیروگاهها، مدیریت تقاضای برق را به صورت یک مسئله اساسی درآورده است. از طرفی، مصرف بیرویه انرژی، باعث افزایش قیمت تمام شده کالا شده و از توان رقابتی آن در عرصه جهانی می‌کاهد. لذا برای بقا در بازار جهانی، لزوم مدیریت بهینه مصرف انرژی اهمیت خاصی می‌یابد.

از طرفی با رشد روزافزون جمعیت کشور، تقاضا برای استفاده از انرژی الکتریکی در بخشهای مختلف خانگی، صنعتی، تجاری و کشاورزی افزایش چشمگیری یافته است. اما دسترسی آسان و هزینه‌های پایین این نوع انرژی سبب کاهش انگیزه در صرفه‌جویی و استفاده بهینه شده است. این وضعیت نامتناسب الگوی حاکم بر مصرف برق کشور، لزوم اندیشیدن به راهکارهایی که به بهبود وضعیت مصرف این کالای ارزشمند منجر شود را ایجاب می‌کند. مدیریت و کنترل مصرف برق یک راهبرد مناسب در زمینه کنترل مصرف و جایگزین صرفه‌جویی به جای تولید است و به طور کلی:



«مدیریت و کنترل مصرف برق عبارتست از برنامه‌ریزی، اجرا و نظارت بر آن قسمت از فعالیتهای مرتبط با برق که بر مصرف برق تأثیر می‌گذارد و سبب به وجود آمدن تغییرات مصوب در شکل بار، الگوی زمانی مصرف و میزان مصرف انرژی می‌گردد.» [۸]

نکته جالب توجه، اهمیت ویژه کنترل مصرف برای کشورهای در حال توسعه است، در کشورهای غربی به لحاظ وجود ظرفیت اضافی برق و سرمایه‌گذاریهایی بسیار سنگین در طی چندین سال گذشته، مدیریت مصرف برق بیشتر به منظور بهبود ضریب بار و شکل بار مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حالیکه در کشورهای جهان سوم نیاز به سرمایه‌گذاریهایی سنگین و کمبود منابع مالی به همراه نگرانیهای شدید در خصوص آلودگی محیط زیست سبب گردیده تا مدیریت مصرف به صورت جایگزین تولید در آید و عملاً جای خود را در سیاست‌گذاریهای کلان این گونه کشورها باز کند.

به طور کلی اهداف مدیریت را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد.

- کاهش میزان مصرف پیک از طریق کنترلهای مستقیم، نرخهای تصاعدی و مبتنی بر فصلها و زمانهای مختلف و ذخیره‌سازی
- کاهش هزینه تولید و صرفه‌جویی در سرمایه با بهبود ضریب بار و بهینه کردن مصرف برق به طوری که نیاز به ساخت نیروگاههای جدید برای پوشش مصرف پیک نباشد.
- تخصیص بهینه منابع در بلندمدت با ایجاد توازن و تعادل بین عرضه و تقاضای برق
- کمک در کاهش آلودگی محیط زیست از طریق کاهش استفاده از سوختهای اولیه فسیلی مورد استفاده در نیروگاهها
- صرفه‌جویی در مصارف فرآورده‌های نفتی و گاز طبیعی که در نیروگاههای برق مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- اتخاذ سیاستهای مناسب تولیدی در صنایع و کمک به صنایع در کاهش هزینه تولید با اتخاذ سیاستهای مناسب در مصرف برق و رقابت‌پذیر کردن آنها

آزاد کردن سرمایه‌های صنعت برق به منظور افزایش کارایی و بهبود کیفی امکانات موجود در جهت افزایش رفاه مصرف‌کننده اقدامات لازم جهت مدیریت مصرف عبارتند از:

- ۱- آشنایی با تعاریف اولیه مدیریت مصرف و مطالعات کتابخانه‌ای
  - ۲- شناسایی ابزارهای مدیریت مصرف
  - ۳- برآورد تابع تقاضای برق در بخشهای مختلف خانگی، صنعتی، کشاورزی و تجاری
  - ۴- شناسایی ابزار مناسب مدیریت برای هر کدام از بخشها
  - ۵- تحلیل حساسیت
- در این مقاله به بررسی اقدامات لازم جهت مدزیت مصرف انرژی الکتریکی در بخش خانگی می‌پردازیم.

## مدیریت مصرف برق :

در ادامه مطالب قبلی، در این قسمت به منظور یافتن راه‌حلهای مناسب برای مدیریت مصرف برق بخش خانگی، روشهای مدیریت مصرف برق مورد توجه قرار می‌گیرد.

## مراحل برنامه‌ریزی مدیریت تقاضای مصرف :

تحقیقات و برنامه‌ریزی پیرامون مدیریت تقاضای مصرف هم از نظر توزیع کنندگان و هم از نظر مصرف کنندگان به بخشهای زیر تقسیم می‌شود:

- نیاز سنجی مصرف و تایین اولویت ها
- امکان سنجی توزیع و بررسی مشکلات
- امکان سنجی بهبود بهره برداری، افزایش کارایی، جایگزینی فن اورپهای پیشرفته تر و . . . همراه با هزینه های قابل قبول [۹]

## روشهای اعمال مدیریت تقاضا:

- تعیین نرخ تصاعدی: هزینه برق می تواند در اصلاح ضریب بار روزانه کمک نماید و به منظور کنترل اوج مصرف می توان با اعمال تعرفه بر اساس زمان استفاده، مشترکین را به اصلاح منحنی بار و پیک سایی تشویق کرد.
  - کنترل مقدار تقاضا در شرایط اوج مصرف: قطع بارهای اضافی در شرایط اوج مصرف بدون اینکه به میزان تولید کالا در مشترکین و راحتی مشتریان صدمه ای وارد شود. مثلا بارهایی نظیر چیلر، گرمکن های آب و . . . در زمانهای اوج مصرف قطع می شوند.
  - انتقال بار از زمان اوج به زمان کم باری
  - افزایش راندمان تجهیزات و وسائل الکتریکی: انتخاب تجهیزات مناسب برای کاربردهای متفاوت حائز اهمیت است.
  - کنترل مقدار توان راکتیو تجهیزات شبکه و مصرف کننده های سلفی: توان ظاهری از مجموع توان مفید و توان غیر مفید تشکیل یافته است. کاهش توان غیر مفید مورد نیاز مصرف کننده های سلفی و تجهیزات شبکه باعث کاهش انرژی کل مورد نیاز می شود. برای کاهش مقدار توان راکتیو سلفی، توان راکتیو خازنی در محل مصرف به شبکه تغذیه تزریق می شود و در واقع خاصیت سلفی توسط خاصیت خازنی جبران می شود.
  - شناخت مولفه های بار در شرائط پیک و اقدام مناسب برای مدیریت مصرف
  - استفاده از انرژیهای تجدید پذیر برای مدیریت مصرف
  - ایجاد انگیزه لازم برای همکاری مصرف کنندگان با برنامه مدیریت تقاضای مصرف
  - افزایش موردی: در زمانهایی که توزیع انرژی به طور معمول انجام می شود اما میزان مصرف پایینتر از حد معمول است، باید تمحیداتی بکار گرفته شود که میزان مصرف افزایش یابد. کاهش نرخ فروش انرژی در این زمانها روش موثری برای رشد مصرف تا حد معمول است. [۱۰]
- مدیریت مصرف برق با استفاده از روشهای مختلفی صورت می گیرد که شامل روشهای کلی اقتصادی، فنی، آموزشی و حقوقی می باشد. در روشهای اقتصادی پارامترهای اقتصادی به عنوان عوامل کنترل کننده مصرف مورد استفاده قرار می گیرند. روشهای فنی استفاده از تجهیزات کم مصرف و سیستمهای کارا را مد نظر قرار می دهند. روشهای آموزشی نیز استفاده از تبلیغات و گسترش آگاهیهای عمومی را مورد توجه قرار می دهند و بالاخره در روشهای حقوقی قوانین مصوبه مراجع قانونگذاری و تصمیمات متخذه ادارات و سازمانها در جهت کنترل مصرف برق مورد استفاده قرار می گیرند.

## ۱- راهبردهای اقتصادی مدیریت مصرف برق:

راهبردهای اقتصادی مدیریت مصرف با استفاده از پارامترهای مختلف اقتصادی در جهت کنترل و هدایت مصرف مربوط می شود که از طریق تحت تاثیر قراردادن تقاضای مصرف کننده به وسیله عوامل قیمت، درآمد مالیات و . . . صورت می پذیرد. اعمال روشهای مناسب مدیریت مصرف تا اندازه زیادی به شناخت شرایط حاکم بر بازار کالا و الگوی مصرفی مصرف کنندگان آن کالا بستگی دارد. انتخاب

روشهای مناسب مدیریت مرف برق نیز از این امر مشتقی نبوده و نیاز به داشتن شناخت مناسب از شرایط حاکم بر بازار برق و الگوی مصرف آن دارد. در ابتدا به بررسی شرایط حاکم بر بازار برق و شرایط مصرف کننده پرداخته می شود. در دنباله مطابقت شرایط کنونی با الگوهای رفتاری تئوری مناسب بازار مورد توجه قرار می گیرد. بازار مربوط به برق بدلیل بالا بودن هزینه های اولیه تولید و نزولی هزینه ها در شرایط انحصار طبیعی قرار دارد که دولت تنها تولید کننده آن می باشد. منحنی تقاضای یک انحصارگر در واقع همان منحنی تقاضای بازار است. بنابراین تولید کننده انحصاری غالباً یک قیمت گذار یا تعیین کننده قیمت است. تا یک پذیرنده قیمت البته بدلیل اینکه کلیه کالاهای مصرفی به صورتی جایگزین یکدیگر هستند یعنی تمام آنها برای اختصاص قسمتی از بودجه خانوار با یکدیگر در رقابت می باشند و از طرف دیگر افزایش قیمت یک کالا و گران شدن آن باعث می شود که کالاهای دیگر بتوانند امکان جایگزینی برای آن کالا را بیابند، به عنوان مثال با افزایش قیمت برق وسایل گاز سوز می توانند جایگزین وسایل برقی شوند، بنابراین انحصار کامل و تعیین کننده کامل بودن قیمت در عمل نه تنها در مورد بازار برق بلکه در خصوص هیچ کالایی امکانپذیر نبوده و بازارهای انحصاری موجود عمدتاً با یک درجه انحصار که بستگی به تعداد نگاهها و تعداد جانشینهای کالای تولیدی دارد مشخص می شوند. مقدار فروش تولید کننده انحصاری تابع یک مقداری از قیمتی است که وی در مقابل فروش کالای تولیدی خود دریافت می کند.

بنا به فرض، منحنی تقاضا دارای یک تابع معکوس منحصر به فرد بوده و قیمت را می توان به عنوان یک تابعی از تولید نشان داد. شرط به حداکثر رسانیدن سود بنگاه، ایجاب می کند که درآمدنهایی با هزینه نهایی برابر باشد. البته در شرایطی که انحصارگر بتواند مصرف کنندگان خود را تفکیک کند اعمال تبعیض قیمت بین مصرف کنندگان، بهترین روش کسب حداکثر سود می باشد. در صورتیکه یک تولید کننده انحصاری از سیاست تبعیض قیمت تبعیت کند و محصول خود را در دو بازار جداگانه بفروشد برساند سود وی برابر است با تفاوت درآمد کل از دو بازار و کل هزینه تولید وی که شامل:

مجموع هزینه های متغیر که در واقع هزینه های عملیاتی می باشند، هزینه های ثابت اولیه که از سر شکل کردن سرمایه گذاری های اولیه به مقدار تولید بدست می آید و هزینه های مربوط به قرائت کنتور، ارسال صورتحساب، کنترل وسایل اندازه گیری و تعمیر و نگهداری شبکه می باشند در این خصوص داریم:

$$\pi = R_1(q_1) + R_2(q_2) - C(q_1 + q_2) \quad (1)$$

در رابطه فوق  $q_1$ ،  $q_2$  مقادیری هستند که وی در دو بازار به فروش می رساند  $R_1(q_1)$  و  $R_2(q_2)$  توابع درآمد در دو بازار هستند و بالاخره  $C(q_1 + q_2)$  تابع هزینه محسوب میشود. شرط به حداکثر رسانیدن سود در این حالت به شرح زیر می باشد.

$$\frac{d\pi}{dq_1} = R'_1(q_1) - C'(q_1 + q_2) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{d\pi}{dq_2} = R'_2(q_2) - C'(q_1 + q_2) = 0 \quad (3)$$

در صورتیکه درآمد نهایی در بازار مساوی نباشد تولید کننده انحصاری می تواند درآمد کل خود را بدون تغییر در هزینه کل افزایش دهد برای این کار کافی است که وی فروش در بازاری که از درآمد نهایی کمتری برخوردار است به بازاری که از درآمد نهایی بازارهای مختلف. . . کششهای قیمتی بازار مربوط بستگی دارد و روابط زیر بین آنها برقرار است که در آن  $R_1$  درآمد نهایی مربوط به بازار  $I$  و  $P_1$  سطح قیمت در بازار  $I$  و  $Ed$  کشش  $MR_i = P_i (1 + 1/Ed)$  تقاضای قیمتی بازار  $I$  می باشد.

مطابق روابط فوق اعمال قیمت‌های متفاوت در بازارهای متفاوت با توجه به کششهای موجود در آنها می تواند به وضعیتی که در آن درآمدهای نهایی حاصله از تمام بازارها با هم برابر است منجر شود.

کشش قیمتی درآمد متفاوت هر کدام از بخشها مذکور در مقابل تغییرات قیمت و درآمد یک امکان عملی در اختیار تولید کننده انحصاری قرار می دهد تا از طریق تقسیم بازار و اعمال تبعیض قیمت به نتیجه مورد دلخواه خود در زمینه کسب حداکثر مورد دست یابد با اینحال بدلیل سیاسی و اجتماعی برخورد کاملاً اقتصادی با مصرف کنندگان این بخش ممکن نمی باشد و تصمیم گیری مربوط به قیمت برق عمدتاً با ملاحظات سیاسی انجام می پذیرد و عوامل سیاسی، اقتصادی و فرهنگی نظیر وجود منابع انرژی، سطح درآمد سالانه، توسط توان اقتصادی، میزان پیشرفت تکنولوژی و . . . تعیین کننده هستند و باعث شده اند که سطح قیمت‌های آن برای سالیان متمادی خصوصاً در کشورهای در حال توسعه در سطح نازلی باشد. در سالهای اخیر با توجه به مشکلات اساسی مربوط به تامین سرمایه هنگفت مورد نیاز

صنعت برق، تغییرات اساسی در دیدگاه‌های سیاستگذاران اقتصادی در زمینه قیمت گذاری برق بوجود آمده است. صنعت برق یکی از صنایع اساسی و مادر است که وضعیت آن نه تنها روند این صنعت را نشان می دهد بلکه اثر آن در سایر صنایع و بخشهای اقتصادی نیز قابل توجه است از آنجا که این صنعت یک صنعت سرمایه بری می باشد، تامین مالی مورد نیاز آن بسیار اهمیت دارد. در یک اقتصاد سالم منابع داخلی مهمترین منبع تامین نیازهای مالی می باشد. بدین جهت تعرفه های فروش برق به عنوان تنها درآمد صنعت اهمیت ویژه ای پیدا می کند که می تواند علاوه بر تامین منابع مالی مورد نیاز الگوی مصرفی مشترکین را نیز اصلاح و بهینه سازد. همچنان که عنوان رشد دولت به دلایل خاص سیاسی اقتصادی اجتماعی فرهنگی نمی خواهد و نمی تواند قیمت‌های حداکثر کننده سود خود را از مشترکین برق اخذ نماید. حداکثر کاری که می تواند صورت گیرد، تعیین تعرفه های برق بر اساس قیمت تمام شده برق می باشد تا حداقل امکان برقراری تعادل در این صنعت پر اهمیت فراهم گردد. [۴]

▪ نصب وسایل اندازه گیری چند تعرفه :

نصب کنتورهای مناسب در کنار تبیین سیستم تعرفه کارا که بتواند قیمت واقعی برق را در زمان های متفاوت مصرف اعمال کند یکی از بهترین روشهای اقتصادی مدیریت مصرف برق می باشد. در واقع با نصب کنتورهای چند تعرفه و اعمال سیستم تعرفه کارا این امکان در اختیار مصرف کننده قرار داده می شود که مصرف خود را متناسب با قیمت‌های واقعی برق تعدیل کند. تفاوت نرخ در زمانهای مختلف بستگی به وضعیت تولید و تراز تولید مصرف برق دارد بطوریکه در مواقعی که میزان تولید در پیک کفاف مصرف را نمی کند می توان مقدار تعرفه پیک را بسیار بالا برد تا مصارف در این زمان کاهش یابد.

در حال حاضر روشهای مختلفی برای قیمت گذاری برق به این روش وجود دارد که از جمله آنها می تواند به روشهای (time of use) TOU و Consumer self selection pricing اشاره کرد. [۱۰]

## ۲- راهبردهای فنی مهندسی مدیریت مصرف برق در بخش خانگی:

در حال حاضر عمده مصرف برق تجهیزات مورد استفاده برای مقاصد روشنایی، سرمایشی، گرمایشی و ماشینهای لباسشویی به پایین بودن تکنولوژی ساخت آنها در داخل کشور و عدم وجود قوانین گمرکی مناسب در خصوص واردات تجهیزات برقی که می تواند به عنوان ابزاری برای کنترل واردات تجهیزات پر مصرف مورد استفاده قرار گیرند، مربوط می شوند. روشهای فنی مهندسی مدیریت مصرف برق، مساله بهینه سازی تجهیزات برقی و روشهای بهینه استفاده از آنها را منظم دارند. [۱۰]

از مصارف خانگی حدود ۷۰٪ را مصارف روشنایی به خود اختصاص داده است. پس اعمال روشهای استفاده بهینه در سیستمهای روشنایی تاثیر بمراتب زیادی در اصلاح منحنی بار و ضریب بار شبکه خواهد داشت.

اقدامات موثر در بخش مصارف روشنایی بشرح زیر است:

- جایگزینی لامپهای پر بهره بجای لامپهای قدیمی و رشته ای
- حذف لامپهای اضافی در سیستمهای روشنایی
- بکارگیری کنترل زمانی و یا فتوسل در سیستم روشنایی
- استفاده از روشنایی موضعی و پیش بینی امکان کنترل روشنایی توسط کلیدهای متعدد
- استفاده از روشنایی موردی که متناسب با کاربری های مختلف تعیین می شود
- استفاده از روشنایی روز بجای روشنایی الکتریکی در ساختمانها
- استفاده از فلکتورهای موثر برای افزایش کارایی چراغهای روشنایی
- اصلاح شرایط فیزیکی محیط مثل رنگ امیزیهای روشن و مناسب در سقف و دیوار
- آموزش و آگاهی کارکنان موجود برای کاهش مصرف [۲]

### ۳- راهبردهای فرهنگی ، حقوقی مدیریت مصرف برق در بخش خانگی:

دستیابی به اهداف صرفه جویی در مصرف بدون داشتن ابرازی مناسب که بتواند از طریق آن مصرف کننده را به انجام این کار تشویق یا مجبور کرد ، محقق نخواهد شد و در حقیقت شرط اساسی موفقیت در برنامه فوق تغییر رفتار مصرف کنندگان در جهت کاهش مصرف برق می باشد . در زمینه راهبردهای اقتصادی نیز هر چند انگیزشهای مالی موجود می تواند محرکی برای تغییر رفتار مصرف کنندگان باشند ولی آگاهی مصرف کننده برای نمونه چگونگی وضع تعرفه های برق و پله های مختلف آن و . . . می توان نقش اساسی در برنامه ریزی مصرف او داشته باشد . روشهای فرهنگی و تبلیغی و حقوقی در واقع تکمیل کننده و ابزار اعمال سیاستهای مدیریت مصرف برق می باشند که می توانند از طریق آگاهی دادن به مردم در زمینه چگونگی کاهش مصرف ، اهمیت آن و یا اجبار تولید، واردات و استفاده از تجهیزات کم مصرف انرژی را به عنوان یک رفتار ، سبک زندگی و هنجار در آوردن روشهای فرهنگی - تبلیغی مدیریت مصرف برق می توانند به طرق مختلف به مورد اجرا در آینده که برخی از آنها به همراه معایب و مزایای هر کدام بشرح زیر می باشد :

روش	مزای	معایب
آموزش مشترکین	پوشش در سطح وسیع	اثرات نسبتاً کمتری دارد
ارتباط مستقیم با مصرف کننده	تاثیر بیشتر روی مصرف کننده	همواره باید در ارتباط مستقیم با مصرف کننده بود .
تبلیغات	با توجه به اهداف مورد نظر می توان از رسانه های ارتباطی مختلف استفاده کرد .	هزینه ها می باشد و اندازه گیری میزان تاثیر گذاری آن شکل است .

جدول (۱)

در روشهای حقوقی مدیریت مصرف برق سعی می شود تا از طریق وضع قوانین و آیین نام های مختلف ، تقویت و تکمیل روشهای فنی - اقتصادی مدیریت مصرف برق پرداخته شود ، وضع تعرفه های ترجیحی گمرکی در قبال واردات تجهیزات برقی کم مصرف، تعیین استانداردهای مصرف برق برای تجهیزات برقی تولید داخل ، وضع تعرفه های انگیزشی توسط نهادهای مرتبط و از جمله روشهای حقوقی می باشد.

برخی روشهای معمول فرهنگی - حقوقی که در سطح وسیعی مورد استفاده قرار می گیرند عبارتند از :

- تغییر ساعت : یکی از ابزارهایی که بطور گسترده در کشورهای مختلف دنیا در زمینه مدیریت با مورد استفاده قرار گرفته است ، تغییر ساعت می باشد . این ابزار در زمینه مصرف برق نیز تاثیر قابل توجهی دارد . هدف از اعمال تغییر در ساعت در زمینه مصرف برق ، ایجاد امکان استفاده بیشتر از نور طبیعی در فعالیتهای اقتصادی و کاهش مصرف برق در ساعات یک در هنگام غروب آفتاب می باشد .
- ایجاد استاندارد مصرف لوازم برقی : ایجاد استاندارد در لوازم برقی نیز بدو شکل استاندارد اجباری یا آگاه کردن مصرف کنندگان از طرق نصب بر چسبهای و انرژی بر روی لوازم برقی مصرف برق قابل حصول می باشد . نصب بر چسب و استاندارد مصرف برق خصوصاً در لوازم خانگی بطور گسترده مورد استفاده قرار گرفته و شکل نهادهای به خود گرفته است.
- ایجاد استاندارد مصرف انرژی در ساختمانها : با توجه به اینکه ساختمانهای تجاری عمده ترین مصرف کنندگان انرژی می باشند، لذا موضوع تدوین اصولی علمی برای کاهش مصرف انرژی از طریق کاهش تلفات حرارتی و استفاده حداکثر از نور طبیعی از دیر

باز مورد توجه قرار گرفته و بسیاری از کشورهای جهان به ایجاد استاندارد مصرف انرژی در ساختمانها اقدام و اجرای آنرا در ساختمانهای جدید اجباری نموده اند ، بطوریکه در ساختمانهای جدید استفاده از عایقهای مناسب ، جهت یابی جغرافیایی ، انطباق با شرایط آب و هوایی ، استفاده از طبیعت ( درختها و آب نماها ) و لوازم کنترل کننده مناسب ، میزان مصرف انرژی به طور عام و مصرف انرژی الکتریکی بطور خاص را شدیداً کاهش داده است

- کنترل بار : کنترل بار یکی از ابزارهای است که در سالهای اخیر در کشورهای مختلف دنیا یا خصوصاً در کشورهای در حال توسعه که با رشد شدید در مصرف برق مواه گردیده اند، مورد مصرف گسترده پیدا کرده است . در این روش ، هدف کنترل داوطلبانه بار مصرفی در ساعات و فصول مختلف از سوی مشترکین خانگی با هماهنگی شرکت های برق می باشد . با توجه با پتانسیل بالای صرفه جویی در صورت استفاده از این روش در مشترکین بزرگ ، استفاده از آن بعنوان ابزاری در مواقع اضطراری ، مدنظر گرفته شده است . نظریه کاهش هزینه های مربوط ، تهیه تجهیزات کنترل بار در سالهای گذشته و اهداف چند منظوره ای که در صورت استفاده از این روشها تامین خواهد شد ، استفاده از این روش اکیداً توصیه گردیده است زیرا با توجه به اینکه خود مشترک برای اعمال سیاستهای مدیریت بار وارد عمل خواهد شد ، لذا سیاستهایی را برخواهد گزید که در جهت افزایش سطح رفاه و تولیدات وی موثر خواهد بود. روشهای کنترل در این شیوه متفاوت است که از محدودیت اجرایی تا نرخهای نوسان می باشد و با توجه به نوع میزان ضرورت های تولید انرژی الکتریکی تغییر می یابند
- صندوق صرفه جویی : موضوع تشویق مشترکینی که به اهداف مدیریت بار و انرژی الکتریکی کمک می کنند، سبب گردید تا در برخی از کشورها صندوقی تحت عنوان صندوق صرفه جویی یا تشویق مشترکین تاسیس گردد . هدف از ایجاد این صندوق کمک مالی به مشترکینی است که نسبت به بهبود الگوی مصرف خود اقدام نموده اند ، یا در زمینه مصرف بهینه در پی تهیه تجهیزات مناسب حرکات می نمایند . اعتبار این صندوق از طریق کمک مستقیم دولتها یا از محل تنبیه مشترکینی که مصرف مطلوب ندارند، تامین می شود. [۱۰]

برخی راهبردهای فرهنگی و آموزشی مدیریت مصرف برق در بخش خانگی عبارتند از:

- تفکیک نشر اطلاعات: ارائه اطلاعات و پیام های مناسب و هدفمند به منظور افزایش آگاهی مصرف کنندگان در مورد انرژی و دعوت آنان به صرفه جویی در مصرف
- هنجارها: در نظر گرفتن رفتار صرفه جوئی مصرف انرژی به منزله رفتار تثبیت شده و مورد انتظار مشترک اعضای جامعه
- ترغیب (متقاعد سازی): مجموعه ففونی که فرد را به اتخاذ شیوه اندیشه و عمل خلاصه در جهت صرفه جویی ۱۵٪ مصرف انرژی به صورت خودآگاه یا ناخود آگاه هدایت می کند.
- مجموعه برنامه هایی که تلاش می کند تا نگرش مثبت نسبت به رفتار صرفه جویی مصرف انرژی و یا نگرش منفی نسبت به مصرف بی رویه را ایجاد تقویت کند.
- ابداع: ارائه رفتارهای جدید و نو توسط نمونه های برجسته در نرخ فرآیندها و مورد قبول تثبیت یا زوال آن بر اساس ارزش کارکردی آن
- مدل سازی: ارائه رفتار مطلوب به شکل تصویرهای ذهنی، کلامی یا نمادی که بعداً آن تصویر هنگام اجرای اعمال مربوطه از حافظه به خاطر آورده شوند.
- سبک زندگی: شناخت عوامل موثر بر میزان مصرف فرد و گروههای اجتماعی وسیعی در کاهش مصرف از طریق ایجاد تغییر در عوامل مصرف
- توجه حداقل: به کارگیری تو جهات معتدل و حتی ضعیف درونی برای رفتار صرفه جویانه ۲۰٪ در مقابل تاکیدات و الزامات قوی بیرون [۱۱]

**بررسی عوامل مؤثر بر تقاضا:**

حامل‌های انرژی و از جمله برق، نقش اساسی در توسعه جوامع بشری ایفا می‌کنند و به مرور زمان، اهمیت آنها در حیات اقتصادی و اجتماعی بشر گسترش می‌یابد. از این رو شناخت تقاضای برق و عوامل مؤثر بر آن می‌تواند نقش مؤثری در فرایند تصمیم‌گیری‌های اقتصادی داشته باشد. در بررسی مدل‌های مصرف برق متغیرهای بکارگرفته شده و شکل عمومی مدل‌ها بسته به شرایط اقتصادی و اطلاعات موجود در هر کشور کاملاً متفاوت است. آنچه که در انتخاب متغیرها تأثیرگذار در مصرف برق بسیار با اهمیت است، دسترسی به اطلاعات و آمار جامعه مورد مطالعه است.

برای آشنایی با رفتار تقاضا در بخش خانگی، لازم است که عوامل مؤثر بر تقاضای بار خانگی مورد مطالعه قرار گیرد. آشنایی بیشتر با این عوامل می‌تواند در دستیابی به تصویر روشنتری از تقاضا در آینده مؤثر باشد. بررسی پتانسیل‌های تقاضا در آینده و مقایسه آن با ظرفیت‌های موجود می‌تواند در اتخاذ استراتژی صحیح برای مدیریت مصرف مؤثر باشد. در ادامه به بررسی عوامل مؤثر بر تقاضای بار خانگی می‌پردازیم:

#### ■ تعداد خانوارها (NC) :

با افزایش جمعیت، بار خانگی به دو طریق تحت تأثیر قرار می‌گیرد. نخست اینکه، افزایش جمعیت مصرف خانگی را به صورت مستقیم افزایش دهد، زیرا با افزایش جمعیت نیاز به روشنایی، سرمایش، گرمایش و... افزایش می‌یابد. دوم اینکه افزایش جمعیت به طور غیرمستقیم نیز مصرف برق خانگی را افزایش می‌دهد. زیرا افزایش جمعیت بر مصرف سایر کالاها و خدمات می‌افزاید و افزایش مصرف کالاها و خدمات نیز به نوبه خود مصرف برق را افزایش می‌دهد.

#### ■ درآمد واقعی خانوارها (IN) :

این عامل نیز از دو مجرا مولفه بار خانگی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نخست اینکه به دلیل افزایش درآمد واقعی، مصرف برق به طور مستقیم (مانند هر کالای دیگری) افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، افزایش درآمد واقعی، مصرف سایر کالاها را افزایش می‌دهد که خود موجب افزایش مصرف برق برای تولید کالاهای مزبور می‌گردد. در هر حال، میزان افزایش بار خانگی، به دنبال افزایش درآمد واقعی خانوار، بستگی به کشش درآمدی مصرف برق در بخش خانگی خواهد داشت.

#### ■ قیمت برق (PR) :

تعرفه، یکی از عوامل بسیار مهم در شکل‌گیری الگوی بار می‌باشد. تغییر تعرفه، بنابر کشش قیمتی مصرف برق در بخش خانگی، باعث تغییر بار خانگی خواهد گردید. افزایش تعرفه، روی هم رفته، مصرف برق را کاهش خواهد داد و میزان کاهش مصرف برق نیز به کشش قیمتی بار خانگی بستگی خواهد داشت.

میزان هر یک از مقادیر فوق در طی ۱۷ سال گذشته از ترازنامه انرژی سال ۸۱ و نشریه نتایج آمارگیری از هزینه‌ها و درآمدها که توسط مرکز ایران جمع‌آوری شده است بدست آمده است. [۱۲] و [۱۳]

## برآورد تقاضای انرژی الکتریکی در بخش خانگی:

### بیان متدولوژی:

به طور کلی در مدل‌های تقاضای انرژی از چهار متدولوژی مختلف استفاده می‌شود. این متدها عبارتند از: ۱- مدل‌های آماری ۲- مدل‌های اقتصادی ۳- مدل‌های فرایندی ۴- مدل‌های مصرف‌نمایی. در این مقاله مدلی برای تقاضای انرژی الکتریکی در بخش خانگی با روش اقتصادسنجی تخمین زده شده است. هنر اقتصادسنجی، یافتن مجموعه فرضیه‌هایی است که به اندازه کافی مشخص و واقعی باشند تا فرد را قادر سازند که بهترین استفاده ممکن را از داده‌های موجود بکنند. یک مدل اقتصادسنجی روابط بین متغیرهای اقتصادی را مشخص می‌کند. این روابط بوسیله یک یا چند معادله تبیین می‌شود که شامل تعدادی متغیرهای برونزا یا درونزا است که بر متغیر یا متغیرهای وابسته تأثیر می‌گذارند.



### خلاصه نتایج آزمونهای اقتصادسنجی:

پس از بررسی داده ها، مشخص می شود که داده های مربوط به متغیر تعداد خانوارها باید حذف شوند زیرا این متغیر زاید، قابلیت اطمینان مدل را کاهش می دهد. اولین آزمون، مربوط به هم انباشتگی می باشد که با توجه به جدول تست ADF هم انباشتگی مدل ثابت می گردد. آزمون های هم سانی واریانس و خود همبستگی، بیانگر آنند که واریانس ها همسانند و عدم خودهمبستگی نیز ثابت می شود.

بررسی جدول نتایج نشان می دهد که احتمالات تک تک متغیرها در سطح خوبی هستند. طبق جدول، ضریب تعیین و F-statistic مقادیر مناسبی دارند و این به مفهوم معنی دار بودن مدل می باشد. به طور کلی نتایج آزمونها به طور خلاصه به صورت زیر می باشد:

- هم انباشتگی رگرسیون با استفاده از آزمون ADF در سطح اطمینان ۹۵٪ پذیرفته می شود.
- فرض عدم وجود هم خطی در بین متغیرها در سطح اطمینان ۹۵٪ پذیرفته می شود.
- فرض همسانی واریانس بر اساس آزمون white در سطح اطمینان ۵٪ پذیرفته می شود.
- فرض عدم وجود خود همبستگی بر اساس آزمون LM با سطح خطا ۵٪ پذیرفته می شود.

Dependent Variable: LNEC				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob
LNIN	0.027512	0.108376	0.253856	0.8036
LNPR	-0.104343	0.166315	-0.627381	0.5413
C	-51.79777	2610.265	-0.019844	0.9845
AR(1)	1.000984	0.042012	23.82603	0.0000

جدول (۲)

### مدل برآورده شده:

با روش اقتصادسنجی و با استفاده از ۱۷ سری داده آماری، مدل برآورده شده انرژی الکتریکی در بخش خانگی به شکل زیر است:

$$\ln(EC) = -51.79777 + 0.027512 \ln(IN) - 0.104343 \ln(PR) \quad (۴)$$

$$T: \quad -0.019844 \quad 0.253856 \quad -0.627381$$

$$R\text{-Squared: } 0.986$$

$$D. W: 2.413$$

$$F\text{-Statistic: } 314.675$$

### تحلیل مدل برآورد شده:

مقادیر  $R$ -Squared,  $t$ ,  $DW$ ,  $F$  بدست آمده در مدل، حکایت از خوبی مدل برازش شده دارند. به این مفهوم که متغیرهای مستقل همه رابطه معنی داری با میزان مصرف دارند. حال به منظور بررسی مدل برای بهینه سازی مصرف برق باید به تحلیل این مدل پردازیم. مشاهده می شود که رابطه قیمت برق و میزان مصرف آن در بخش خانگی، رابطه ای معکوس می باشد و از طرفی ضریب این متغیر نسبت به ضریب متغیر درآمد، بیشتر می باشد. پس تغییرات قیمت در مقایسه با تغییرات درآمد، تاثیر بیشتری بر روی انرژی مصرفی دارد. به ازای  $2/7$  واحد افزایش در قیمت، با فرض ثابت ماندن سایر متغیرها،  $e^{104343}$  واحد کاهش در مصرف ایجاد می شود.

از آنجا که در ایران قیمت‌های داخلی حامل های انرژی واقعی نیستند بلکه قیمت‌های دولتی و یارانه ای هستند، قیمت‌ها به صورت واقعی تاثیر گذار نیستند و منابع بر حسب کمیابی واقعی کالاها و خدمات تخصیص پیدا نمی کنند و با تغییر قیمت انرژی در جهان قیمت داخلی تغییری نمی کند و در نتیجه صنایع و مصرف کنندگان انرژی احساس رقابت با کشورهای جهای را ندارند و برای کاهش مصرف انرژی تلاشی نمی کنند.

پارامتر دیگر مدل که پارامتر  $IC$  یا درآمد می باشد. این ضریب که برابر با  $0.27512$  می باشد حکایت از ارتباط مستقیم مصرف برق با درآمد دارد. این به این مفهوم می باشد که چنانچه در درآمد افزایشی ایجاد شود مقدار مصرف نیز افزایش می یابد. به عبارتی  $2/7$  واحد افزایش در درآمد، با فرض ثابت ماندن سایر مقادیر متغیرها،  $e^{27512}$  واحد افزایش در مصرف ایجاد می شود.

بطور خلاصه نتایج حاصل از تحلیل مدل عبارتند از:

- درآمد و مصرف با هم رابطه مستقیم دارند. به ازای  $2/7$  واحد افزایش در درآمد،  $e^{27512}$  واحد افزایش در مصرف ایجاد می شود.
- قیمت و مصرف با هم رابطه عکس دارند. به ازای  $2/7$  واحد افزایش در قیمت،  $e^{104343}$  واحد کاهش در مصرف ایجاد می شود.

## نتیجه گیری:

پس از بررسی میزان مصرف برق در ایران و بالاخص در بخش خانگی لزوم مدیریت و بهینه سازی مصرف در این قسمت آشکار می شود. در این راستا، پس از بیان متدولوژی در زمینه یافتن الگوی حاکم بر مصرف برق در بخش خانگی و تحلیل آن، کاراترین راهکارهای مدیریتی ارائه می گردد که در زمینه راهبردهای اقتصادی شامل نصب وسایل اندازه گیری چند تعرفه ای، در زمینه راهبردهای فنی و مهندسی شامل بهینه سازی تجهیزات برقی و روشهای بهینه استفاده از آنها و اعمال روشهای استفاده بهینه در سیستمهای روشنایی و در زمینه راهبردهای فرهنگی و حقوقی شامل تغییر ساعت، ایجاد استاندارد مصرف لوازم برقی، ایجاد استاندارد مصرف انرژی در ساختمانها، کنترل بار و صندوق صرفه جویی و ... می شود.

## مراجع:

1. Charles River Associates (Asia Pacific), Electricity Demand Side Management Study, Review of Issues and Options for Government, 2001
2. Energy Futures Australia Pty Ltd, Demand Management Activities Applicable To Electricity Networks, Final Version, 2004



3. Al-Fais, A.F., Ghali, K.H., Environment-based forecasting of peak-load profiles for electricity consumption in the Western United Arab Emirates. Journal of Energy and Development 24,1-15, 2000.
4. Dulleck,U., Kaufman, S., Do customer information programs reduce household electricity demand ?—the Irish program. Energy Policy 32, 1025-1032, 2003.
5. Von Hirschhausen, C., Anders, M., Long-term electricity demand in China-- From quantitative to qualitative growth? Energy Policy 28,231-241, 2000.
6. Power Measurement, " ION Reference ", Ver.2, Thermal Demand Module, PP2.278, Sliding Window & Predicted Demand Module, PP.2-266, USA & Canada.
7. Fair Rental Policy Organization, Options to Reduce Energy Consumption by Encouraging Sub-Metering and Individual Billing in Multi-Residential Rental Dwellings, 2003

۸. نوربخش، محسن. همایش بین‌المللی سرمایه‌گذاری ایران ۲۰۰۰، ماهنامه بانک و اقتصاد شماره ۱۳
۹. دکتر حجت، همایش سالانه گروه انرژی ماهنامه تدبیر، شماره ۱۲۱
۱۰. بابایی، داود. زراعت پور، علی. مدیریت مصرف انرژی الکتریکی در ایران، نخستین همایش ملی انرژی ایران، تهران - اردیبهشت ۷۶
۱۱. اصول مدیریت انرژی، کرگ بی اسمیت، سازمان بهره‌وری انرژی، ۱۳۷۶
۱۲. ترازنامه انرژی سال ۸۱
۱۳. نشریه نتایج امارگیری از هزینه‌ها و درآمدها که توسط مرکز امار ایران جمع‌آوری شده است.