شناسنامه گزارش

عنوان اصلی: خاموشی (شناسایی علل، برآورد مالی ارزش بار از دست رفته و راهکارهای پیشگیری)

مجری: واحد پژوهش سندیکای شرکت‌های تولید کننده برق

تدوین گزارش: پگاه پاشا

مدیر مطالعه: مهندس پرویز غیاث الدین

ناظر علمی: دکتر علیرضا اسدی

سال: ۱۳۹۷

« کلیه حقوق این اثر متعلق به سندیکای شرکت‌های تولیدکننده برق است و استفاده از مطالب تنها با ذکر ماخذ مجاز است »

فهرست مطالب

چکیده ۶
۱- مقدمه ۸
۲- علل بروز خاموشی ۹
۳- برآورد مالی ارزش بار از دست رفته (VoLL) ۱۹
۴- راهکارهای کاهش خاموشی و مقابله با کمبود برق ۲۵
۴ – ۱ سیاست‌های سمت تقاضا ۲۶
۴ – ۲ سیاست‌های سمت عرضه انرژی ۳۱
منابع ۳۴

فهرست جداول

جدول ۱. انواع کمبود برق ۱۰

جدول ۲. علت و نوع کمبود برق در طی سال‌های ۱۱– ۲۰۰۵ ..... ۱۰

جدول ۳. مقایسه برخی شاخص‌های مربوط به صنعت برق و اقتصاد در ایران و گروهی از کشورهای منتخب(۲۰۱۶) ۱۱

جدول ۴. نتایج برخی از پیش بینی‌های صورت گرفته از تقاضای برق در آینده ۱۴

جدول ۵. سناریوهای رشد تقاضای برق و تعیین حجم سرمایه‌گذاری مورد نیاز در هر سناریو ۱۵

جدول۶ . متوسط قیمت برق در گروهی از کشورهای منتخب ۱۷

جدول۷. مقایسه ارزش بار از دست رفته در مطالعات مختلف برای مصرف‌کنندگان خانگی ۲۱

جدول ۸ . ارزش یک کیلو وات ساعت برق عرضه نشده به تفکیک تعرفه‌های برق مصرفی در سال ۱۳۹۴..... ۲۴

جدول ۹. ارزش مالی کل بار از دست رفته در سال ۱۳۹۴..... ۲۵

جدول ۱۰. ابزارهای سمت تقاضا برای مدیریت کمبود برق..... ۲۸

فهرست نمودارها

نمودار ۱. تولید سرانه حقیقی (دلار) ۱۲
نمودار ۲. مصرف سرانه برق (KWh) ۱۲
نمودار ۳. تقاضای برق در مناطق منتخب ۱۴
نمودار ۴. افزایش ظرفیت تولید برق در سال‌های گذشته ۱۶
نمودار ۵. درصد رشد متوسط بهای برق در بخش‌های مختلف مصرف‌کننده ۱۸

پیش‌گفتار

تابستان امسال روزهای دشواری را برای صنعت برق کشور به منظور پاسخگویی به نیاز مصرف رقم زد. اگرچه بروز مشکلاتی از جمله افزایش پیک بار شبکه در روزهای گرم تیر و مرداد ماه و بروز خاموشی، از قبل پیش‌بینی شده و بارها به ویژه از سوی خبرگان و دل‌سوزان صنعت برق نسبت به وقوع آن‌ها هشدار داده شده بود، اما به نظر می‌رسد باور آن نیاز به یک تلنگر جدی داشت.

بروز خاموشی‌ها اما موجی از اظهارنظرها، دیدگاه‌ها و چالش آفرینی‌ها را در پی داشت. شاید اگر وزارت نیرو دقیقا سوابق منجر به خاموشی‌ها را به طور مشروح توضیح می‌داد، موجب می‌شد تا دولت و مجلس نسبت به رویکردشان به صنعت برق تجدید نظر می‌کردند و راه دریافت بودجه و تصویب قوانین مورد نیاز برای عبور از این بزنگاه دشوار، هموارتر می‌شد.

از سوی دیگر وزارت نیرو دلایل اصلی بروز این شرایط را افزایش بار در تابستان، کمبود بارندگی و محدودیت نیروگاه‌های برق آبی برای تولید برق و مصرف نامناسب توسط بعضی از مشترکین اعلام کرد. این جهت‌گیری موجب شد تا عده‌ای با گمانه‌زنی ها و ارائه اطلاعات نادرست به اظهار نظر بپردازند و مسائلی از قبیل تعهد به کاهش Co2 را عامل خاموشی معرفی کنند.

سندیکای شرکت‌های تولیدکننده برق که اعضای آن به عنوان یکی از ارکان اصلی تامین برق مشترکین با سهم ۶۰ درصدی از کل تولید برق کشور هستند، به دلیل اهمیت موضوع و نگرانی از گسترده‌تر شدن ابعاد خاموشی‌ها در سال‌های آینده، بر آن شد تا با مطالعه کارشناسانه به شرح دلایل و عوامل اصلی بروز خاموشی‌ها پرداخته تا شاید راهبردی اساسی برای برون‌رفت از بحران کنونی صنعت برق به عنوان یکی از صنایع زیرساختی کشور معرفی کند.

توجه به دلایل و راهکارهای پیشنهادی می‌تواند در جلوگیری از بروز و گسترش ابعاد بحران این صنعت کاملا تاثیرگذار باشد. امید که با عزم ملی، انسجام و اعتماد به بخش خصوصی مانند دهه‌های گذشته، بتوانیم این دوره گذار را نیز با موفقیت و سربلندی پشت سر گذاشته و از دستاوردهای خانواده بزرگ صنعت برق حفاظت کنیم.

محمدعلی وحدتی

رییس هیات مدیره

چکیده

صنعت برق از صنایع زیرساختی کشور است که تاثیر بسیار اساسی بر رشد، توسعه اقتصادی و رفاه جامعه دارد. در عین حال، برق کالایی با ویژگی‌های خاص است. از جمله مهمترین آن‌ها می‌توان به عدم امکان ذخیره‌سازی انرژی برق با مقیاس بالا و لزوم همزمانی تولید و مصرف اشاره کرد که این ویژگی، مطالعه بازار برق را چه در بعد عرضه و چه در بعد تقاضا از بازار سایر کالاها متمایز کرده است و پیچیدگی‌های مضاعفی را به تحلیل بازار برق اضافه می‌کند. حفظ تناسب میان عرضه و تقاضای برق نیازمند شناخت دقیق هر دو سمت، به منظور اتخاذ سیاست‌های مناسب در اثرگذاری بر آنهاست. از طرفی عدم تناسب میان عرضه و تقاضا، زمانیکه در کاهش عرضه نسبت به تقاضا متجلی شده و با پدیده خاموشی همراه شود، تبعات سنگین اقتصادی، اجتماعی به همراه خواهد داشت که مطالعه پیرامون این پدیده را امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌سازد.

این گزارش ابتدا به تشریح علل وقوع خاموشی در ایران به تفکیک عوامل موثر بر عرضه و تقاضای برق می‌پردازد. در سمت تقاضا، آمارهای مربوط به شدت انرژی، مصرف داخلی سرانه برق و مقایسه روند آن با روند تولید سرانه حقیقی، همچنین مقایسه این داده‌ها با گروهی از کشورهای منتخب که به لحاظ رتبه‌بندی در شاخص توسعه انسانی به صورت نسبی در رده‌های نزدیک به ایران هستند، نشان از بالا بودن مصرف نسبی انرژی از جمله برق در ایران دارد. ایران به لحاظ مصرف سرانه برق در رتبه دوم بین کشورهای مالزی، هند، برزیل، مکزیک و ترکیه و به لحاظ شدت انرژی در رتبه نخست این گروه قرار دارد، این در حالی است که GDP سرانه ایران در رتبه پنجم از شش کشور منتخب قرار گرفته و تنها از اقتصاد هند در این گروه بیشتر می‌باشد. به استناد داده‌های سال ۲۰۱۶، مصرف سرانه داخلی برق در ایران ۳۱۰۸ کیلو وات ساعت و GDP سرانه حقیقی ۶۷۳۳ دلار بوده است. همچنین از جمله مواردی که در بحث بازار برق همواره مورد تحلیل قرار می‌گیرد، قیمت نسبی برق در ایران و مقایسه آن با سایر کشورهاست. این مقایسه در گزارش پیش رو میان ایران، آرژانتین، استرالیا، کانادا، ژاپن و ترکیه صورت گرفته که پایین‌تر بودن قیمت متوسط هر کیلو وات ساعت برق در ایران نسبت به تمامی کشورهای ذکر شده را تایید می‌کند.

در سمت عرضه برق، به منظور روشن شدن لزوم سرمایه‌گذاری در ایجاد ظرفیت‌های جدید تولید برق به منظور کاهش خاموشی خصوصا در زمان اوج مصرف برق، سه سناریو طراحی که در هر کدام از این سنایوها، افزایش مورد نیاز در ظرفیت-های نیروگاهی موجود و حجم سرمایه‌گذاری سالانه مورد نیاز تا سال ۱۴۰۰ به منظور پوشش تقاضای انتظاری آتی برآورد می-شود و با آنچه عملکرد واقعی سال‌های گذشته بوده است، مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در این سه سناریو درصد رشد تقاضای برق در فاصله سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰، به صورت سالانه به ترتیب ۵.۵، ۸ و ۳.۷ در نظر گرفته شده است. مطابق نتایج، در ساده-ترین سناریو که سناریوی سوم می‌باشد و صرفا بر رشد بخش تولیدی اقتصاد و بدون در نظر گرفتن رشد بخش مصرف خانگی متکی است، سالانه قریب به ۳۱۰۰ مگاوات افزایش در ظرفیت‌های نیروگاهی موجود مورد انتظار است. این رقم در سناریوی شماره یک بر اساس وضع موجود رشد مصرف در هر دو بخش خانوارها و بخش تولیدی، تقریبا ۴۸۰۰ مگاوات متوسط سالانه

است که با توجه به فرض یک میلیون دلار سرمایه مورد نیاز برای هر مگاوات افزایش ظرفیت برق(مطابق با داده‌های آژانس بین‌المللی انرژی)، به معنای ۴۸۰۰ میلیون دلار سرمایه‌گذاری مورد نیاز است. این در حالی است که در فاصله سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶، افزایش ظرفیت تولید برق در بازه ۹۸۰ مگاوات (سال ۱۳۹۴) و ۲۸۷۰ مگاوات (سال ۱۳۹۳) متغیر بوده است. این ارقام به خوبی نیاز به سرمایه‌گذاری در ظرفیت‌های تولید برق را منعکس کرده و در صورت استمرار روند فعلی، تشدید کمبود عرضه برق در آینده را پیش‌بینی می‌نمایند.

بخش دوم گزارش به برآورد مالی ارزش بار از دست رفته و یا ارزش برق عرضه نشده بر اساس رویکرد تابع تولید پرداخته است. در استفاده از این رویکرد باید توجه داشت که در این روش، اثرات خاموشی برق از طریق تولید از دست رفته بنگاه‌ها و همچنین فراغت از دست رفته خانوارها مورد برآورد قرار می‌گیرد. بنابراین در این روش، هزینه‌های مربوط به خرابی‌های احتمالی در مواد اولیه یا قطعات و یا اضافه پرداختی به نیروی کار در اثر فعالیت خارج از زمان مقرر اداری، همچنین تاثیرات قطعی برق بر زنجیره تامین تولید کالاها به صورت مستقیم در نظر گرفته نشده و رقم برآورد شده در این روش به مراتب کمتر از میزان واقعی خسارت ناشی از قطعی برق است. با این وجود سادگی این روش و امکان انجام محاسبات با داده‌های اقتصاد کلان، منجر به استفاده گسترده از آن در ادبیات موجود در دنیا و به منظور دستیابی به مبنای اولیه ارزش بار از دست رفته، شده است. مطابق محاسبات این گزارش و با استفاده از داده‌های سال ۱۳۹۴، هر یک کیلو وات ساعت برق عرضه نشده به طور متوسط و با این رویکرد، ۴۹ هزار و ۴۱۰ ریال ارزش دارد. بر این اساس می‌توان ارزش مالی کل بار از دست رفته سال ۱۳۹۴را بالغ بر ۲۱۰۰ میلیارد تومان و ارزش هر دقیقه خاموشی برق را به صورت متوسط برای هر مشترک، ۶۵۳ ریال برآورد کرد.

در نهایت در قسمت پایانی گزارش تلاش شده مجموعه‌ای از سیاست‌های مدیریت انرژی به منظور اثرگذاری بر سمت تقاضا و عرضه آن ارائه شود. در تنظیم این راهکارها، از ادبیات و تجربیات موجود در دنیا و همچنین تحلیل‌های مبتنی بر اقتصاد ایران استفاده شده است. به صورت خلاصه می‌توان در سیاست‌های اثرگذار بر سمت تقاضای انرژی به سیگنال‌های قیمتی، تغییرات رفتاری، جایگزینی تکنولوژی، سهمیه‌بندی و استفاده از مکانیزم‌های بازار اشاره کرد. همچنین در سمت عرضه انرژی می‌توان به اصلاح قیمت‌های برق به منظور اصلاح عدم توازن در اقتصاد برق و ایجاد سودآوری به منظور ترغیب سرمایه‌ها جهت ورود به این صنعت، استفاده از ظرفیت‌های تولید برق مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر، افزایش راندمان، کاهش تلفات و کاهش هزینه‌های مربوط به ناکارآمدی‌ها در بخش‌های دولتی فعال در عرصه انرژی که منجر به کم شدن فاصله قیمت تمام شده و قیمت فروش برق می‌شود، اشاره کرد. در نهایت به عنوان نکته پایانی باید توجه داشت موفقیت هرگونه سیاست تغییر قیمتی نیازمند محاسبه کشش‌های قیمتی و همچنین مطالعات کارشناسی دقیق پیرامون انتخاب الگوی تغییر قیمتی است که کمترین اثرات منفی را بر سایر بازارها و رفاه جامعه بگذارد.

۱ – مقدمه

امروزه انرژی الکتریکی یکی از زیرساخت‌های اساسی رشد و توسعه جوامع به حساب می‌آید. میزان دسترسی به برق و سرانه خاموشی هر شهروند از مولفه‌های کلیدی شاخص‌های توسعه هستند. برق به عنوان نهاده بسیار استراتژیک در فرآیند تولید که به نوعی تمامی نهاده‌های تولیدی دیگر با وجود آن قادر به ایفای نقش هستند و همچنین به عنوان عامل موثر بر رفاه خانوارها که تاثیر مستقیم و قوی بر کیفیت بهره‌مندی آنها از اوقات فراغت و لذا مطلوبیت آنها دارد، از اثرگذاری بالایی بر رفاه جامعه برخوردار است. به گونه‌ای که هرگونه خلل ایجاد شده در عرضه برق از کانال‌های متعدد بر جامعه تاثیر می‌گذارد.

با توجه به رشد تقاضای برق در جوامع، کشورها نیازمند سرمایه‌گذاری‌های مستمر در توسعه و نگهداری صنعت برق هستند. در کشورهایی که تمام یا بخش مهمی از صنعت برق آن‌ها دولتی است، این مساله فشارهای هزینه‌ای بر بودجه دولت وارد می‌کند و همین مساله منجر به ایجاد خلاء میان عرضه و تقاضا خصوصا در کشورهای در حال توسعه، با فشارهای مالی بالا و توان تامین مالی پایین می‌شود. در حل بحران‌های مربوط به تامین برق شناخت علل و نوع خاموشی‌ها اولین مساله‌ای است که باید به آن پرداخت. عمدتا در مواجه با این بحران‌ها مجموعه رویکردهای سمت عرضه و تقاضا مورد نیاز است که کاربست صحیح آنها مستلزم درک دلایل وقوع خاموشی است.

برآورد هزینه‌های مربوط به قطع برق دومین قدمی است که به منظور اتخاذ سیاست‌های درست باید مورد توجه قرار گیرد. تصمیم گیری در ارتباط با افزایش قدرت تولید برق به دلیل بعد مالی که برای دولت دارد عمدتا تحت تاثیر مناسبات سیاسی قرار می‌گیرد. همگن نبودن الگوی تقاضای برق در فصول مختلف سال و طرح مشکل کمبود برق تنها در زمان‌های خاصی از سال، به تعلل در تصمیم‌گیری پیرامون عرضه برق و خارج کردن این تصمیم از دایره تحلیل‌های اقتصادی دامن می‌زند. این مساله، اهمیت درک صحیح و محاسبه برآوردی از هزینه‌های قطعی برق را آشکارتر می‌کند.

در نهایت در حل بحران‌های مربوط به تامین برق، تمایز میان سیاست‌های اثرگذار در کوتاه‌مدت و سیاست‌های موثر بر حل ریشه‌ای این بحران در بلندمدت حائز اهمیت بسیار است. میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز در صنعت برق با توجه به ظرفیت‌های موجود و همچنین پیش بینی رشد تقاضای آتی جامعه رقمی قابل محاسبه است که بی‌توجهی به آن، در بلندمدت قطعا خلا مشکل کمبود برق را خصوصا در فصول پرمصرف سال ایجاد و پدیده خاموشی و عدم دسترسی مطلوب به این انرژی حیاتی را تکرار و تشدید خواهد کرد. از این‌رو، اتخاذ سیاست درست در مدیریت انرژی هر کشور نیازمند شناخت مراحل فوق، انجام محاسبات مرتبط و نتیجه‌گیری و اقدام جمعی از سوی دولت، بخش خصوصی و مردم است.

با این مقدمه، گزارش پیش رو، ابتدا به تشریح علل پیش‌آمد خاموشی به‌طور کلی در تجربیات جهانی و سپس تحلیل دلایل خاموشی‌های اخیر در ایران بر اساس تحلیل عوامل سمت عرضه و تقاضا می‌پردازد. بخش دوم گزارش به برآورد ارزش ریالی بار از دست رفته (VoLL)[1] با استفاده از داده‌های سال ۱۳۹۴ در ایران اختصاص دارد. در این قسمت رویکردهای موجود در ادبیات برای محاسبه این مفهوم تشریح و نقاط قوت و ضعف آن‌ها بیان شده و در نهایت به کمک رویکرد تابع تولید، برآورد مالی ارزش هر کیلو وات ساعت برق عرضه نشده محاسبه شده است. در نهایت، این گزارش با شرح ابزارهای شناخته شده در جهان به منظور مدیریت عرضه و تقاضای انرژی و استخراج توصیه‌های سیاستی متناسب با شرایط مشکل پیش رو در ایران، به پایان می‌رسد.

۲- علل بروز خاموشی

مطابق گزارش آژانس بین‌المللی انرژی (۲۰۱۱) در سری گزارش‌های مربوط به کارایی انرژی، کمبود برق موجب ترویج و تقویت سه مرحله گام به گام شده است که مسؤلان باید در هنگام توسعه یک برنامه صرفه‌جویی در انرژی از آن‌ها پیروی کنند.

گام اول: قبل از طراحی یک برنامه صرفه‌جویی در انرژی، علت و مدت زمان کمبود برق باید مورد تحلیل قرار گیرد. هر نوع کمبود برق، دارای مشخصات متفاوت است و تمام اقدامات صرفه‌جویی در انرژی برای هر بحران مناسب نیست.

گام دوم: شناسایی فرصت‌های صرفه‌جویی در انرژی، از جمله بخش‌ها و کاربران نهایی است که می‌توانند با حداقل هزینه اقتصادی، اجتماعی و سیاسی در مصرف انرژی صرفه‌جویی کنند.

گام سوم: اجرای بسته جامع و متعادل ابزارهای صرفه‌جویی در مصرف انرژی است. این ابزارها می‌توانند شامل سهمیه‌بندی، سیگنال‌های قیمتی، کمپین‌های اطلاعاتی، جایگزینی در تکنولوژی و مکانیزم‌های بازار باشند.

بنابراین همان‌طور که پیداست، تجزیه و تحلیل علت و مدت زمان کمبود برق اولین مرحله در مقابله با بحران قطعی برق است. پیش بینی مدت زمان قطعی برق بستگی مستقیم به دلیل بروز این اتفاق دارد. کمبود برق می‌تواند ناشی از عوامل بسیاری باشد، از جمله ناکافی بودن و/ یا ریسک عرضه نهاده‌های تولید انرژی، مشکلات بخش انتقال یا توزیع برق. دو دسته از محدودیت‌ها – انرژی و ظرفیت – هستند که به کمک آن‌ها می‌توان چارچوب مفیدی برای توصیف انواع کمبود برق ارائه داد.

[1]. Value of Lost Load

جدول ۱. انواع کمبود برق

نوع محدودیت	تعریف	دلایل
انرژی اولیه	تقاضای انرژی اولیه برای تولید برق بیش از نهاده انرژی در دسترس است.	اختلالات در عرضه انرژی اولیه مانند گاز، گازوئیل
ظرفیت تولید	زیرساخت‌های اساسی تولید برق برای پاسخگویی به تقاضا بویژه در طول ساعت‌های اوج کافی نیست.	از کار افتادگی نیروگاه‌ها؛ از دست دادن ظرفیت انتقال یا توزیع؛ (رشد تقاضای پیک از ظرفیت‌ها پیشی می‌گیرد).

هر دوی این موارد در چندسال گذشته و گاه به صورت ترکیبی نیز دیده شده‌اند که می‌توان مثال‌هایی از نقاط مختلف جهان برای آن‌ها ارائه کرد.

جدول ۲. علت و نوع کمبود برق در طی سال‌های ۱۱- ۲۰۰۵

کشور/ ایالت	سال	علت	محدودیت
آلاسکا	۲۰۰۸	قطع خط انتقال توسط بهمن	ظرفیت
بنگلادش	۲۰۰۵	رشد تقاضا، سرمایه‌گذاری ناکافی	ظرفیت
شیلی	۲۰۰۷/۰۸	خشک‌سالی، کمبود گاز، از کار افتادن نیروگاه‌ها	انرژی/ظرفیت
چین	۲۰۰۷	خشک‌سالی	انرژی
اتیوپی	۲۰۰۹/۱۰	رشد تقاضا، سرمایه‌گذاری ناکافی	ظرفیت
ژاپن	۲۰۱۱	زلزله، خرابی نیروگاه‌ها در سونامی	ظرفیت
نیوزلند	۲۰۰۸	خشکسالی	انرژی
پاکستان	۲۰۰۷	رشد تقاضا، سرمایه‌گذاری ناکافی	ظرفیت
آفریقای جنوبی	۲۰۰۸	رشد تقاضا، سرمایه‌گذاری ناکافی	ظرفیت

شناخت علت کمبود برق در تعیین معیارهای صرفه‌جویی در انرژی و از آنجا طراحی سیاست‌های مورد نیاز به منظور مقابله با مشکل قطعی برق، حیاتی است زیرا اثربخشی هر معیار می‌تواند بسته به ماهیت کمبود برق متفاوت باشد(آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۰۵). کشورهایی که با کمبود ظرفیت مواجه هستند(مثلا کمبود برق در ساعات پیک) باید به اقداماتی که مصرف برق در طی زمان‌های کلیدی را کاهش می‌دهد، تمرکز کنند. برای مثال، در مورد ژاپن، بسیاری از صنایع عملیات را به زمان شب و

تعطیلات پایان هفته که تقاضای برق پایین‌تر است تغییر می‌دهند. این مساله از طریق تغییر بار کمک می‌کند به کاهش تقاضا در طول دوره‌های اوج مصرف، اما مصرف کلی برق را کاهش نمی‌دهد.

در مورد کمبود برق ناشی از خشکسالی و / یا اختلال در نهاده تولید انرژی از جمله سوخت، مانند کمبود برق سال ۰۸-۲۰۰۷ در شیلی، باید با هدف کاهش کلی مصرف برق اقداماتی انجام داد. اقداماتی مانند گسترش فرهنگ خاموش کردن چراغ‌های غیرضروری و اصلاح ترموستات‌ها که می‌تواند موثر باشد.

با توجه به این توضیحات کلی، در ادامه تلاش می‌شود مجموعه‌ای از آمارهای مفید که به تشریح علل خاموشی‌های اخیر در ایران کمک می‌کنند، ارائه شوند. در ابتدا مقایسه‌ای میان ایران و گروهی از کشورهای منتخب این گزارش که بر اساس سطح توسعه و عمدتا با استفاده از رتبه بندی شاخص توسعه انسانی (HDI) انتخاب شده‌اند، ارائه می‌شود.

جدول ۳. مقایسه برخی شاخص‌های مربوط به صنعت برق و اقتصاد در ایران و گروهی از کشورهای منتخب(۲۰۱۶)

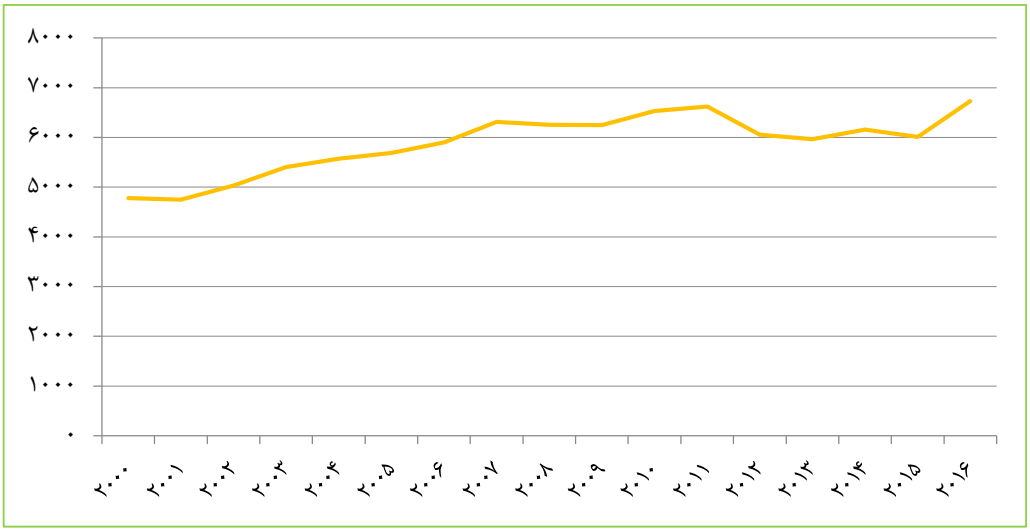
کشور / شاخص	ایران	مالزی	هند	برزیل	مکزیک	ترکیه
مصرف داخلی سرانه برق(KWh)	۳۱۰۸	۴۷۸۳	۸۰۴	۲۴۵۲	۲۰۹۹	۲۸۸۵
GDP سرانه حقیقی(دلار)	۶۷۳۳	۱۱۰۳۱	۱۸۶۲	۱۰۸۶۸	۹۸۷۱	۱۴۱۱۷
شدت انرژی (koe/$2005p)	۰.۲۰۶	۰.۱۳۲	۰.۱۲۲	۰.۱۱۲	۰.۱۰۶	۰.۱۱۹

Resources: World Bank and https://www.enerdata.net/

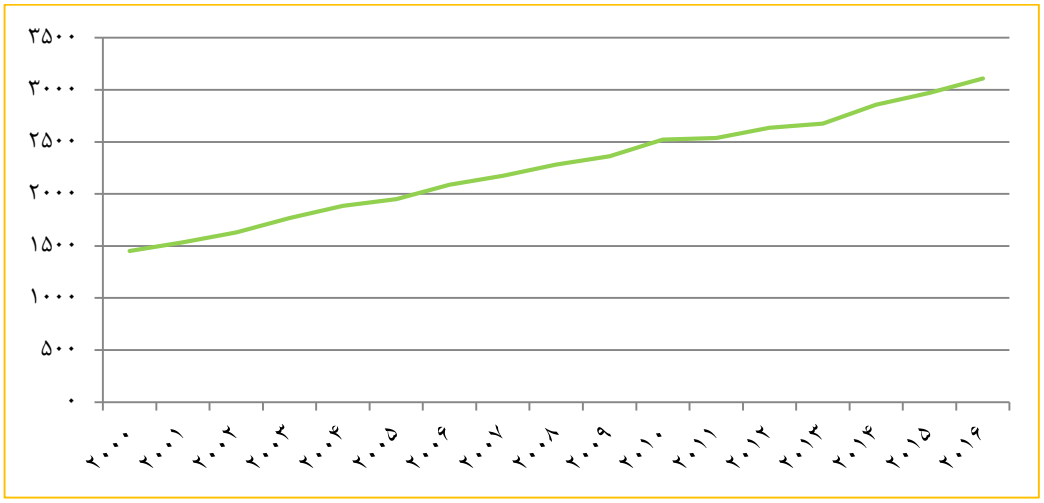
همانطور که مشاهده می‌شود ایران به لحاظ مصرف سرانه برق در رتبه دوم بین کشورهای منتخب و به لحاظ شدت انرژی در رتبه نخست این گروه قرار دارد، این در حالی است که GDP سرانه ایران در رتبه پنجم از شش کشور منتخب قرار گرفته و تنها از اقتصاد هند در این گروه بیشتر می‌باشد.

نمودار های زیر روند تولید سرانه حقیقی به واحد دلار و مصرف سرانه برق (کیلو وات ساعت) را در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ در ایران نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است مصرف سرانه برق همواره روندی صعودی و رو به رشد با شیب زیاد داشته در حالی‌که تولید سرانه در سال‌های مختلف دچار نوسان شده و چندین دوره کاهشی متناوب را طی کرده است.

نمودار ۱. تولید سرانه حقیقی (دلار)



نمودار ۲. مصرف سرانه برق(KWh)



شاخص‌های فوق نشانگر بالا بودن تقاضای نسبی برق و انرژی در ایران است. سهم ۳۳ درصدی فروش انرژی برق در بخش خانگی در سال ۱۳۹۵ نشان از بالا بودن مصرف برق در این بخش است که نیاز به استفاده از سیاست‌های مدیریت تقاضا را در بخش مصرف کنندگان خانگی در کنار بخش تولیدی در کاهش قطعی‌های برق نشان می‌دهد.

در بحث الگوی مصرف همچنین باید به شدت بالای ناهموار بودن الگوی مصرف در فصول مختلف سال در ایران به عنوان نکته‌ای حائز اهمیت بسیار اشاره کرد. مطابق آمارهای منتشر شده توسط وزارت نیرو و شرکت توانیر در سال ۱۳۹۵، اختلاف حداکثر مصرف تابستان و زمستان در روز حداکثر پیک نیاز مصرف اصلاح شده، ۱۷ هزار و ۷۴۳ مگاوات بوده است که رقم قابل توجهی می‌باشد. در چنین شرایطی نمی‌توان از سرمایه‌گذار انتظار داشت تنها برای دو فصل از سال منابع مالی ارزشمند خود را در خدمت تولید برق قرار دهد در حالی که از خرید محصول تولیدی خود در اکثر روزهای سال اطمینانی ندارد.

نکته دیگری که ناهموار بودن الگوی مصرف به همراه دارد، مربوط به ضریب بار شبکه است. کم بودن ضریب بار نشان از این دارد که برخی نیروگاه‌های کشور عمدتا تنها در زمان پیک مصرف در سال مورد استفاده قرار می‌گیرند، در نتیجه به منظور بازگشت سرمایه اولیه نیروگاه ناچارند قیمت تولید برق را افزایش دهند. مطابق آمارهای موجود، میانگین ضریب بار شبکه در فاصله سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶، ۶۶.۷ درصد بوده است که با هموار کردن الگوی مصرف می‌توان این رقم را افزایش داد.

تغییر رفتار مصرفی خانوارها و همچنین تغییرات در الگوهای مصرف برق در بخش تولیدی هرچند امری ضروری است اما عموما در کوتاه‌مدت به استثنای اتخاذ سیاست‌های قهری مانند اعمال سهمیه‌بندی‌ها، چنین کاهش مصرفی دیده نمی‌شود و تغییر الگوهای تقاضا عموما نیازمند استمرار سیاست‌ها و در نظر گرفتن زمان بلندمدت به منظور مشاهده اثربخشی آن‌هاست. این در حالی است که پیش بینی‌های صورت گرفته از روند تقاضای برق نشان از رشد این تقاضا در سال‌های پیش رو دارد. بنابراین انتظار می‌رود به منظور جلوگیری از تکرار قطعی برق خصوصا در زمان اوج مصرف، بررسی عوامل موثر بر عرضه برق اهمیتی به مراتب بیشتر داشته باشد.

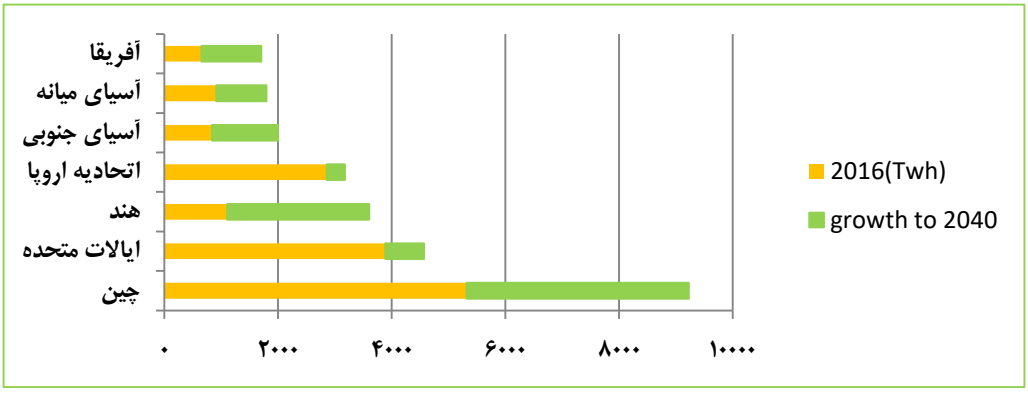
در ابتدای ورود به بحث عرضه انرژی، ابتدا برخی از پیش بینی‌های صورت گرفته از تقاضای برق در آینده بر اساس مطالعات داخلی در قالب جدول زیر ارائه می‌شود:

جدول ۴. نتایج برخی از پیش بینی‌های صورت گرفته از تقاضای برق در آینده

نام نویسندگان	سال	روش	پیش بینی
آشتیانی و جلولی	۱۳۹۱	تکنیک‌های همجمعی در اقتصاد سنجی	۲۴۰۰۲۰ میلیون کیلو وات ساعت تقاضای برق کل کشور در سال ۱۴۰۴
رستمی و همکاران	۱۳۹۷	مدل میانگین متحرک خودهمبسته یکپارچه و مدل ترکیبی تعدیل جزئی پویا	رشد ۴۵ درصدی تقاضای سرانه برق تا سال ۱۴۰۸ نسبت به سال ۱۳۹۳
امیدی و همکاران	۱۳۹۵	مدل‌های پیش بینی باکس جنکینز، شبکه عصبی مصنوعی و سیستم خاکستری	۲۶۰۶۴۵ میلیون کیلو وات بر ساعت مصرف برق در سال ۱۳۹۸
موسوی و همکاران	۱۳۸۶	روش سیستم داینامیک	تقاضای برق صنایع در سال ۱۴۰۰ تقریبا ۱.۶ برابر مقدار آن در زمان انجام پژوهش
صمدی و همکاران	۱۳۸۷	مدل‌های همجمعی و ARIMA	تقاضای سرانه برق با نرخ رشد سالانه ۴.۴ درصد افزایش می‌یابد.

در یک نگاه کلی پیش بینی آژانس بین‌المللی انرژی این است که تا سال ۲۰۴۰ مصرف‌کنندگان نهایی انرژی الکتریکی در دنیا، ۴۰ درصد افزایش در مصرف نهایی ایجاد می‌کنند که این روند افزایش تقاضای انرژی الکتریکی به تفکیک مناطق در نمودار زیر به خوبی ترسیم شده است:

نمودار ۳. تقاضای برق در مناطق منتخب



شاید به نظر برسد پیش بینی‌های آینده تقاضای مصرف برق صرفا در حیطه مسائل مرتبط با تقاضا است و طرح آن در بخش عرضه چه موضوعیتی دارد، اما نکته مهم اینجاست که تصمیم گیری در ارتباط با میزان کمبود احتمالی عرضه برق بستگی مستقیم به پیش بینی‌ها از سطح مصرف آتی خواهد داشت. تعیین حجم سرمایه‌گذاری مورد نیاز در ساخت نیروگاه‌های جدید، کمک به حفظ ظرفیت-های موجود و ارتقای آن‌ها همگی بر اساس برآوردها از حجم تقاضای آتی و شکاف آن با میزان عرضه فعلی صورت می‌گیرد.

با توجه به آن‌که مطالعات داخلی و خارجی افزایش تقاضا را با نرخ رشد قابل توجه تایید می‌کنند، در این قسمت با تکیه بر مطالعات گذشته و وضع موجود تولید برق، سه سناریو برای تعیین میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز در تولید برق به منظور پوشش تقاضای مورد انتظار آتی ارائه می‌شود. باید توجه داشت در تعیین حجم سرمایه‌گذاری مورد نیاز در هر سناریو، تغییر الگوی مصرف و تغییرات بالقوه بخش تقاضا نادیده گرفته شده است و ارقام با فرض استمرار ساختار موجود در سمت تقاضا استخراج شده‌اند. همچنین باید توجه داشت حجم سرمایه‌گذاری مورد نیاز با فرض یک میلیون دلار[1] منابع مالی برای افزایش یک مگاوات ظرفیت برق، مورد محاسبه قرار گرفته است. همچنین لازم به ذکر است وضع فعلی در این جدول سال ۱۳۹۶ و وضع آتی سال ۱۴۰۰ تعریف شده است. سناریوی اول بر اساس متوسط درصد رشد سالانه فروش انرژی برق سال ۱۳۹۴ به ۱۳۸۴ در نظر گرفته شده است. در سناریوی دوم رقم ۸ درصد بر اساس نرخ رشد اقتصادی برنامه‌ریزی شده در قانون برنامه ششم توسعه طراحی شده است. سناریوی سوم بر اساس رشد ارزش افزوده بخش‌های اقتصادی ایران در سال ۱۳۹۶ نسبت به سال ۱۳۹۵ (به قیمت ثابت سال ۱۳۹۰) منظور شده است.

جدول ۵: سناریوهای رشد تقاضای برق و تعیین حجم سرمایه‌گذاری مورد نیاز در هر سناریو

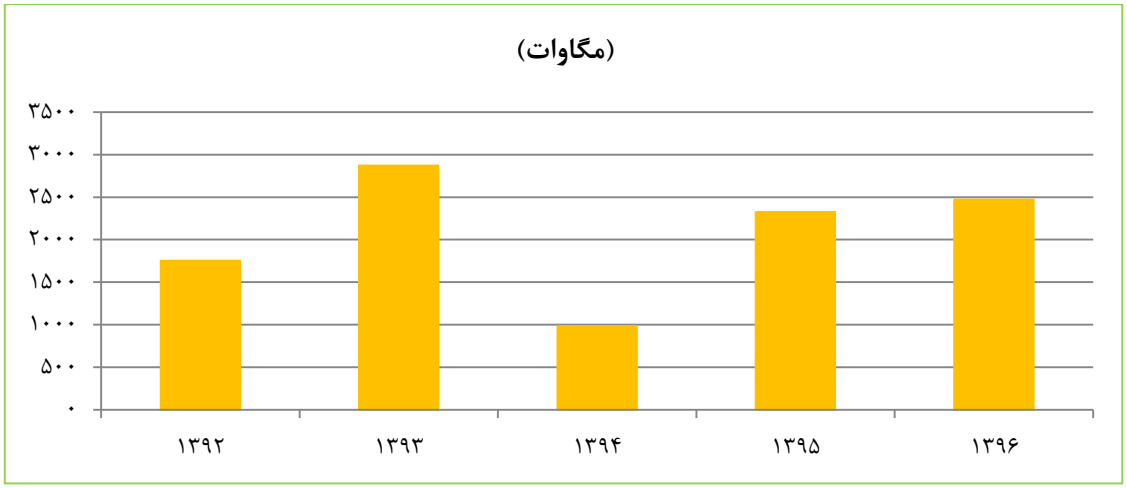
سناریوهای افزایش تقاضای برق	ظرفیت واحدهای نیروگاهی (مگاوات)	ظرفیت واحدهای نیروگاهی مورد نیاز آتی(مگاوات)	افزایش ظرفیت متوسط مورد نیاز سالانه (مگاوات)	سرمایه‌گذاری مورد نیاز(میلیون دلار)	سرمایه‌گذاری مورد نیاز سالانه بطور متوسط(میلیون دلار)
رشد ۵.۵ درصدی تقاضای برق به صورت سالانه	۷۸۹۰۰	۹۷۷۴۳	۴۷۱۰.۷۵	۱۸۸۴۳	۴۷۱۰.۷۵
رشد ۸ درصدی تقاضای برق به صورت سالانه	۷۸۹۰۰	۱۰۷۳۴۲.۵	۷۱۱۰.۵	۲۸۴۴۲	۷۱۱۰.۵
رشد ۳.۷ درصدی تقاضای برق به صورت سالانه	۷۸۹۰۰	۹۱۲۴۱	۳۰۸۵.۲۵	۱۲۳۴۱	۳۰۸۵.۲۵

منبع: محاسبات گزارش

[1]. این رقم تقریبی بوده و بر اساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی " هزینه‌های پیش بینی شده برای تولید برق(نسخه اصلاح شده ۲۰۱۵)" استخراج شده و از آنجا که با اظهارات کارشناسان داخلی مطابقت داشته مورد استفاده قرار گرفته است.

در ساده‌ترین سناریو که سناریوی سوم می‌باشد و صرفا بر رشد بخش تولیدی اقتصاد و بدون در نظر گرفتن رشد بخش مصرف خانگی متکی است، سالانه قریب به ۳۱۰۰ مگاوات افزایش در ظرفیت‌های نیروگاهی موجود مورد انتظار است. این رقم در سناریوی شماره یک بر اساس وضع موجود رشد مصرف در هر دو بخش خانوارها و بخش تولیدی، تقریبا ۴۸۰۰ مگاوات متوسط سالانه است که با توجه به فرض تشریح شده، به معنای ۴۸۰۰ میلیون دلار سرمایه‌گذاری مورد نیاز است. حال برای مقایسه آنچه به منظور پوشش تقاضای مورد انتظار مورد نیاز است و آنچه در سالهای گذشته به صورت واقعی اتفاق افتاده است نمودار زیر ارائه می‌شود.

نمودار ۴. افزایش ظرفیت تولید برق در سال‌های گذشته



همانطور که از نمودار بالا پیداست، در تمامی این سال‌ها سرمایه‌گذاری در ایجاد ظرفیت‌های جدید فاصله قابل توجهی با آنچه باید مطابق برنامه‌ریزی برای پوشش تقاضای مصرفی صورت گیرد، داشته است.

در کنار تحلیل‌های فوق که به خوبی نشان از لزوم اتخاذ سیاست‌های مدیریتی صحیح در سمت عرضه و در نظر گرفتن منابع تامین مالی به منظور پایداری اقتصاد برق دارند، توجه به بعد دیگری از وضعیت صنعت برق که بحث قیمت‌گذاری است و بر هر دو سمت عرضه و تقاضای برق اثرگذار است، ضروری و اجتناب‌ناپذیر است.

مطابق اطلاعات وزارت نیرو و توانیر در سال ۱۳۹۵، بهای برق در بخش‌های مختلف مصرف کننده به صورت متوسط ۶۶۲ ریال بر کیلو وات ساعت بوده است.در ابتدا مقایسه‌ای میان این رقم با متوسط قیمت برق در برخی کشورهای دنیا ارائه می‌شود.

جدول ۶. متوسط قیمت برق در گروهی از کشورهای منتخب

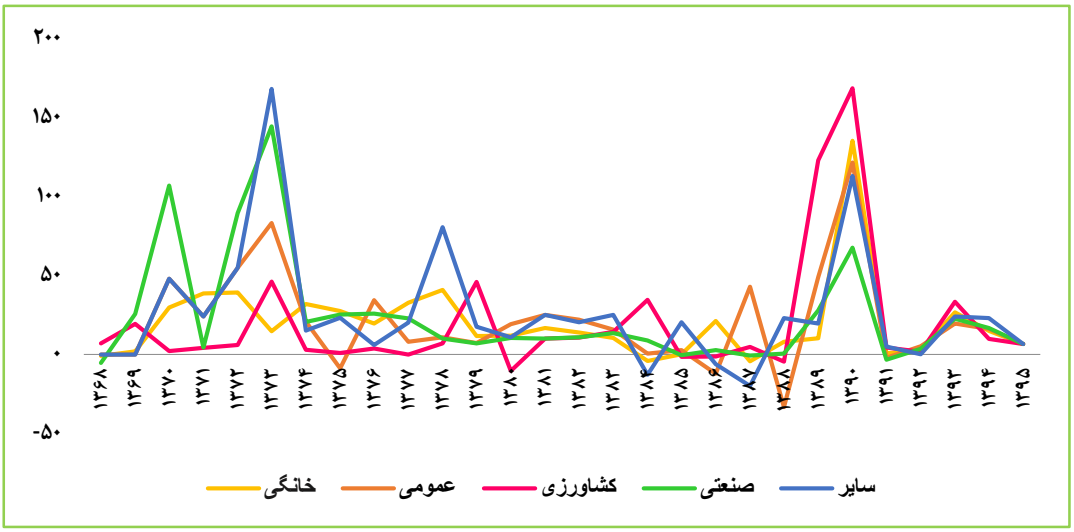
کشور	متوسط قیمت برق (US cents/kWh) در سال ۲۰۱۶
آرژانتین	۹
استرالیا	۱۱ -۲۶
کانادا	۸ -۱۶
ژاپن	۱۸
ترکیه	۱۱

همان‌طور که مشخص است میان متوسط قیمت برق در این کشورها و آنچه در ایران پرداخته می‌شود اختلاف قابل توجهی وجود دارد.

نکته مهم‌تر آنکه قیمت فروش برق در ایران از هزینه تمام شده تولید آن پایین‌تر بوده و این مساله منجر به شکل‌گیری عدم توازن در اقتصاد برق شده است. در تیر ماه ۱۳۹۷ که انتظار بالاترین سطح تقاضا و قیمت برق وجود دارد، میانگین وزنی قیمت برق در معاملات بورس انرژی، ۴۰۷ ریال و متوسط نرخ فروش برق در بازار برق، ۸۳۱.۹ ریال به ازای هر کیلو وات ساعت بوده است. در حالیکه تفاوت زیاد میان این دو نرخ به تنهایی چالشی در بحث قیمت‌گذاری برق تلقی می‌شود، هردوی این قیمت‌ها نیز از متوسط هزینه تمام شده تولید برق پایین‌تر بوده و این مساله تولید برق را به فعالیتی زیان‌ده تبدیل کرده است که در رقابت با سایر صنایع از جمله پتروشیمی‌ها و یا صنایع غذایی و معدنی توان جذب منابع نخواهد داشت. این مساله در کنار ریسک‌های موجود در صنعت برق و شیوه‌های تسهیم ریسک میان طرفین سرمایه‌گذار و سرمایه‌پذیر منجر به شکل‌گیری جریان خروج سرمایه از این صنعت شده است.

بررسی آمارهای موجود در زمینه درصد رشد سالانه متوسط بهای برق در بخش‌های مختلف مصرف کننده که در نمودار زیر ترسیم شده است، الگوی رفتاری باثباتی را در سیستم تعیین تعرفه‌های برق طی سالیان گذشته نشان نمی‌دهد.

نمودار ۵. درصد رشد متوسط بهای برق در بخش‌های مختلف مصرف کننده



با توجه به اینکه تعرفه‌های فروش برق اثرگذاری مستقیم بر سودآوری این صنعت دارد و سودآوری هر صنعت رکن اولیه جذب منابع به آن است، هر گونه بی‌ثباتی در قوانین مربوط به تعیین تعرفه‌ها می‌تواند اثر منفی بر روند سرمایه‌گذاری در صنعت برق داشته باشد.

همچنین عدم پرداخت به موقع مابه‌التفاوت قیمت تکلیفی و قیمت فروش به نیروگاه‌های تولید برق و انباشته شدن این بدهی‌ها تا مرز ۳۰ هزار میلیارد تومان، منجر به سرایت این عدم توازن به بخش عرضه برق شده و خاموشی‌های اخیر ایران در زمان اوج مصرف تابستان بخشی از نمودهای این عدم توازن مسری بوده است.

در نهایت در بخش آخر مربوط به تحلیل علل کمبودهای اخیر در بخش برق، باید به تاثیر نیروگاه‌های برق‌آبی و اثرپذیری میزان تولید آن‌ها از شرایط آب و هوایی اشاره کرد. ظرفیت نامی این نیروگاه‌ها در سال ۱۳۹۵، ۱۱هزار و ۵۷۸ مگاوات بوده که نشان از سهم ۱۵.۱ درصدی آنها از کل ظرفیت تولیدی نیروگاه‌ها در این سال دارد. همین میزان تولید برق در شرایط پیک به منظور اجتناب از قطعی برق حیاتی بنظر می‌رسد. از آنجایی که تولید این نیروگاه‌ها از شرایط آب و هوایی تاثیر می‌پذیرد، بنابراین افت ظرفیت آن‌ها در دوره‌های خشکسالی و بارش کم باران قابل پیش بینی بوده و باید به منظور جبران آن در زمان

اوج مصرف توسط سایر نیروگاه‌ها برنامه‌ریزی‌های درست صورت گیرد. به عبارت دیگر، در برنامه‌ریزی‌های مربوط به میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز به منظور عدم وقوع خاموشی گسترده، باید افت تولید برق نیروگاه‌های برق‌آبی در شرایط کم بارشی مورد توجه قرار گرفته و صرفا به ظرفیت بالقوه آن‌ها توجه نشود.

۳- برآورد مالی ارزش بار از دست رفته (VoLL)

قبل از برآورد هزینه‌های مربوط به وقفه‌های عرضه برق، درک دلایل این‌که چرا پیامدهای قطع برق یا وقفه در عرضه برق با هم متفاوت هستند، می‌تواند مفید باشد:

- ✓ در ابتدا، باید توجه داشت که انواع مختلفی از کاربران نهایی در سیستم برق وجود دارد. وقفه عرضه برق در بیمارستان پیامدهای بسیار متفاوتی از یک کارخانه صنعتی یا خانوار دارد.
- ✓ جنبه مهم دیگر زمان وقوع خاموشی است. نوع فعالیتی که تحت تاثیر خاموشی قرار می‌گیرد وابسته به روز، هفته و فصل است. به عنوان مثال، برای یک خانواده، خاموشی در ساعت ۸ صبح ممکن است در تفریح (مانند تلویزیون، اینترنت) تاثیرگذار باشد، در حالی که در ساعت ۳ صبح قطع برق معمولا دارای اثرات بسیار کوچکتری است.
- ✓ علاوه بر زمان وقوع، مدت وقفه نیز به طور قابل توجهی بر هزینه‌ها تاثیر می‌گذارد. بعضی آسیب‌ها، مانند از دست دادن فایل‌های کامپیوتری، بلافاصله رخ می‌دهد. دیگر آسیب‌ها، مانند زائل شدن ساعت کاری و خراب شدن غذا، متناسب با طول وقفه هستند و ممکن است پس از یک تاخیر خاص رخ دهند.
- ✓ اطلاع رسانی سریع قطع برق نیز در کاهش اثرات منفی آن کمک می‌کند. برای مثال، اگر کسی از زمان قطعی آگاه باشد، ممکن است از استفاده از آسانسور اجتناب کند. علاوه بر این، در صورتی که برق به صورت منظم قطع شود، مردم حتی ممکن است بدون اطلاع قبلی برای آن آماده باشند. البته باید توجه داشت در حالی که این مساله ممکن است هزینهٔ هربار قطعی را کاهش دهد، تأثیر کلی قطع عرضه برق را بزرگ‌تر خواهد کرد(از جمله دلایل این تحلیل می‌توان به اعتماد کمتر صنعت به قابلیت اطمینان سیستم و اثرات این افت اعتماد اشاره کرد).
- ✓ هرچقدر سطح اطمینان سیستم بالاتر باشد، خانوارها و بنگاه‌ها نیاز کمتری به اقدامات احتیاطی می‌بینند و بنابراین در صورت وقوع خاموشی زیان‌های بزرگتری متوجه آنان می‌شود.

- ✓ هم‌چنین باید توجه داشت منبع خاموشی که برای مثال ناشی از ضعف شبکه یا کمبود تولید باشد نیز می‌تواند در هزینه‌های مالی خاموشی اثرگذار باشد(شیواکومار و همکاران[۱] ۲۰۱۴).

در ادبیات اقتصادی بین هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم قطع برق تمایزی وجود دارد. هزینه‌های مستقیم زیان و خسارت ایجاد شده در ارزش دارایی‌ها، به عنوان مثال به علت خرابی کامپیوتر و یا آسیب به دیگر تجهیزات حساس است. هزینه‌های غیرمستقیم شامل تبعات و نتایج قطعی برق به عنوان عامل تولیدی کلیدی بنگاه‌ها و کالای مصرفی کلیدی خانوارها است. علاوه بر کاهش تولید و رفاه مصرف کننده، قطعی برق می‌تواند اثرات مخربی را از طریق وابستگی‌های زنجیره تامین و تغییرات رفتاری ایجاد کند(ونزل و وولف[۲] ۲۰۱۳).

با توجه به این که ماهیت هزینه‌های مستقیم نسبت به نوع قطعی برق که اتفاق می‌افتد بسیار متفاوت است، اقتصاددان‌ها عمدتا بر هزینه‌های غیرمستقیم برای ارزیابی آسیب پذیری اقتصادی ناشی از کمبود برق تمرکز می‌کنند(پیاس ژک و همکاران[۳] ۲۰۱۳).

چهار منبع هزینه‌های غیرمستقیم قطع برق در صنایع و خدمات تجاری وجود دارد. اولا، تحت تاثیر قرار گرفتن تولید که منجر به از دست دادن سود خواهد شد. دوم، قطع برق می‌تواند منجر به کاهش بهره‌وری در هنگام قطع برق و بازتولید محصولات شود. سوم، مواد و / یا تجهیزات ممکن است با قطع برق آسیب ببینند. چهارم، پس از قطع برق ممکن است هزینه‌های اضافی نیروی کار مانند اضافه کاری یا پاداش برای کار کردن فراتر از ساعت کاری وجود داشته باشد(شیواکومار و همکاران، ۲۰۱۴).

در طول سالیان، طیفی از روش‌های ارزیابی ارزش بار از دست رفته ارائه شده است. بر اساس نوع داده‌های مورد استفاده، می‌توان این روش‌ها را به سه دسته عمده تقسیم کرد: **رویکردهای مبتنی بر نظریه، رویکردهای مبتنی بر بازار و رویکردهای تابع تولید**. دو روش اول به دنبال کشف تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان برای برق به منظور جلوگیری از وقوع خاموشی هستند. این تلاش‌ها مبتنی بر نظرسنجی به دنبال یافتن ارزش مالی این تمایل به روش مستقیم یا با استفاده از پرسشنامه هستند(پیاس ژک و همکاران، ۲۰۱۳).

معمولا در نظرسنجی‌ها به منظور آشکار کردن ترجیحات سوالاتی از این قبیل پرسیده می‌شوند: ارزش خسارت و کاهش رفاهی که در هنگام قطع برق احساس می‌کنید، چقدر است؟ برای یک میزان کاهش مشخص در خاموشی برق چه میزان حاضرید

۱. Shivakumar et al. (2014)
۲. Wenzel & Wolf (2013)
۳. Piaszeck et al. (2013)

بپردازید؟ به ازای افزایش خاموشی‌ها چه میزان رقم پولی حاضرید دریافت کنید تا خسارت وارده به شما جبران شود؟ یا این‌که در ترکیبات میان قیمت برق، تعداد خاموشی‌ها، طول خاموشی‌ها و زمان وقوع آن‌ها چه مجموعه‌ای را انتخاب می‌کنید؟

جدول ۷ خلاصه‌ای از نتایج محاسبه VoLL را در این روش برای کشورهای مختلف و طبق مطالعات مختلف با پرسش از خانوارها نشان می‌دهد. روش‌های مختلف بر اساس ارزشی که در پرسشنامه به عنوان ارزش پایه فراغت از دست رفته به خانوار داده است و هم‌چنین زمان یا فصلی که خاموشی اتفاق افتاده است، به ارقام متفاوتی منجر شده است.

جدول۷. مقایسه ارزش بار از دست رفته در مطالعات مختلف برای مصرف‌کنندگان خانگی

منبع	کشور	VoLL(€/Kwh)
بارسما و هوپ[۱](۲۰۰۹)	هلند	۳.۶۶
برتازی، فاماگالی و همکاران[۲](۲۰۰۵)	ایتالیا	۱۰.۸۹
بلیم[۳](۲۰۰۸)	اتریش	۵.۳
کیول، سامدال و همکاران[۴](۲۰۰۸)	نروژ	۱.۰۸
لاوتن، سالیوان و همکاران[۵](۲۰۰۳)	آمریکا	۷.۸

رویکردهای مبتنی بر بازار به جای ارزش‌گذاری امنیت عرضه، بر اساس رفتار واقعی بازار قضاوت می‌کنند. مانند مخارج صورت گرفته برای تسهیلات پشتیبانی، قراردادهای قطع برق و بیمه‌های مربوط به قطعی(شیواکومار و همکاران، ۲۰۱۴).

براون و جانسون[۶](۱۹۶۹) نخستین کسانی بودند که پیشنهاد دادند مازاد رفاه مصرف کننده در بازار برق را به عنوان نماینده‌ای از هزینه‌های خاموشی تخمین بزنیم. برای این منظور با توجه به حساسیت تقاضا در پاسخ به تغییرات قیمت برق، نیاز به ارزیابی توابع تقاضا است. روش جایگزین دیگر، بررسی هزینه‌های مربوط به اقدامات احتیاطی است. بینستوک[۷](۱۹۹۱)، هزینه-های خاموشی را بر اساس سرمایه‌گذاری‌هایی که بر روی خرید ژنراتورهای پشتیبان صورت می‌گیرد، ارزیابی می‌کند. بنتال و روید(۱۹۸۲) از هزینه‌های بنگاه‌ها برای حفظ ظرفیت رزرو به عنوان یک پروکسی مشابه استفاده می‌کنند.

۱. Baarsma and Hop (2009)
۲. Bertazzi, Fumagalli et al. (2005)
۳. Bliem (2008)
۴. Kjølle, Samdal et al. (2008)
۵. Lawton, Sullivan et al. (2003)
۶. Brown & Johnson (1969)
۷. Beenstock (1991)
۸. Bental & Ravid (1982)

در مقابل این رویکردها، رویکردهای تابع تولید، مستقیما هزینه‌های قطع برق را از ترجیحات آشکار شده و یا اظهار شده استنتاج نمی‌کنند اما از پیوندهای موجود در اقتصاد کلان استفاده می‌کنند. به منظور تعیین هزینه‌ها در سطح شرکت یا بنگاه، از نقش برق به عنوان نهاده کلیدی تولیدی استفاده می‌کنند. با فرض یک رابطه تولیدی خاص، زیان‌های ایجاد شده در فرآیند تولید در پاسخ به کمبود انرژی برق از طریق میزان کاهش ظرفیت پس از دسترسی کم به این نهاده تخمین زده می‌شود. به طور مشابه، به دلیل هزینه‌های ناشی از قطعی برق برای خانوارها، برق به عنوان یک نهاده در تولید مطلوبیت در اوقات فراغت دیده می‌شود. هر دوی این ایده‌ها برای نخستین بار توسط موناشینگ و گلرسون(۱۹۷۹)[۱]، ارائه شده‌اند. برای مقابله با محدودیت‌های موجود، معمولا در ادبیات فرم‌های کاربردی بسیار ساده برای این روابط داده- ستانده پذیرفته می‌شوند. غالبا فرض بر یک رابطه متناسب ساده است، زیرا صرفا نیاز به محاسبه نسبت تولید دوره(یا مطلوبیت زمان اختصاص داده شده به فراغت) به مصرف برق در سطح سالانه دارد. بر اساس این چارچوب، نوییج و همکاران(۲۰۰۷)[۲] و بلیم(۲۰۰۵)[۳] هزینه‌های قطعی برق را به ترتیب برای مناطقی در هلند و استرالیا محاسبه کرده‌اند. رویکردهای تابع تولیدی پیچیده‌تر، از نقش پیوندهای داده ستانده نیز در تحلیل استفاده می‌کنند(پیاس ژک و همکاران، ۲۰۱۳).

در نهایت آخرین رویکردی که در ادبیات مورد بررسی قرار گرفته است و جدای از سه دسته اصلی می‌باشد، **مطالعات موردی** است. در اینجا دو دیدگاه عمده مطرح است. در دیدگاه اول اثرات یک قطعی برق یک ساعته ابتدا فهرست می‌شود و سپس هزینه مالی آن برآورد می‌شود. دیدگاه دیگر این است که پس از وقفه ایجاد شده در عرضه برق، بررسی‌های مستقیم انجام شود. مزیتی که این روش دارد این است که مطالعات روی قطعی واقعی برق و نه صرفا فرضیه قطعی برق(آن‌طور که در پرسشنامه‌ها مطرح بود) صورت می‌گیرد. همچنین وقفه مورد مطالعه می‌تواند نمایانگر وقفه‌های دیگر در شرایط مشابه(موقعیت جغرافیایی، زمان وقوع و مدت وقفه) باشد و ممکن است برای نتیجه‌گیری کلی استفاده شود.

در تحلیل نقاط قوت و ضعف سه روش عمده مطرح شده، برخی مطالعات نشان داده‌اند که ترجیحات آشکار شده (رفتار بازار) مبنای اساسی‌تری نسبت به ارزیابی ذهنی (نظرسنجی) برای برآورد هزینه‌های قطع برق ارائه می‌دهند، زیرا در این روش نشان داده می‌شود که " مردم چه کاری انجام می‌دهند و نه این‌که چه بیان می‌کنند"(شیواکومار و همکاران، ۲۰۱۴).

با این وجود هر دوی این روش‌ها عمدتا مبتنی بر تحلیل پرسشنامه‌ها و از آنجا تحت تاثیر روش‌های انتخاب جامعه و نمونه مورد بررسی و تورش‌های احتمالی می‌باشند. ضمن آن‌که در ارائه پرسشنامه‌ها معمولا باید ارزش پایه‌ای از بار از دست رفته محاسبه و به افراد ارائه شود تا قادر به پاسخگویی بهتر و منطقی‌تر باشند. روش و رویکرد تابع تولید، از این نقاط ضعف مستثنی بوده و به کمک داده‌های اقتصاد کلان قابل ارزیابی است. این نکته در کنار سادگی این روش، آن را به یکی از ابزارهای اصلی

۱. Munashinge & Gellerson (1979)
۲. Nooij et al. (2007)
۳. Bliem (2005)

محاسبه VoLL در کشورهای مختلف تبدیل کرده است. با این وجود در بکارگیری این روش باید به **چند نکته بسیار مهم** توجه داشت. نخست آن‌که این روش تنها ارزش تولیدات از دست رفته در زمان قطعی برق را ملاک محاسبه ارزش از دست رفته در بخش تولیدی قرار می‌دهد و برای مثال به تاثیرات بر زنجیره تامین و یا خرابی مواد اولیه و تجهیزات تولیدی یا کالاهای مصرفی خانوارها نمی‌پردازد، در نتیجه در تحلیل نتایج این روش باید موارد لحاظ نشده را در نظر گرفت. یا به عبارت بهتر، این روش ارزش بار از دست رفته در بخش تولید و مصرف را کمتر از حد واقعی آن استخراج می‌کند اما برای ارائه تحلیل پایه و کسب دید کلی از ارزش خسارت‌های وارده در بخش تولیدی روشی مناسب با کاربرد بالا در مطالعات اقتصادی است.

این رویکرد در ایران در سال ۱۳۹۲ با داده‌های سال ۱۳۸۹ توسط مجید احمدیان و نصرت الله عباس زاده(دانشکده اقتصاد دانشگاه تهران) ارزیابی شده است. در این گزارش با استفاده از روش‌شناسی این مقاله که انطباق آن با استانداردهای مقالات خارجی بررسی و تایید شده است، اما با داده‌های سال ۱۳۹۴(انتخاب سال با توجه به محدودیت در دسترسی به داده‌های مورد نیاز صورت گرفته است)، ارزش بار از دست رفته برای خانوارها و بخش‌های مختلف تولیدی مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

به منظور آشنایی، متدولوژی این روش به صورت بسیار خلاصه تشریح می‌شود و سپس جدول نتایج محاسبات ارائه خواهد شد. در این رویکرد در بخش تولید فرض بر این است که خسارت ناشی از خاموشی برای یک بنگاه برابر است با ارزش افزوده‌ای که در آن مدت بنگاه قادر به تولید آن بوده است. لذا در این روش ارزش افزوده‌ای که هر بخش به طور متوسط به ازای هر یک کیلو وات ساعت برق تولید می‌کند، محاسبه می‌شود که این ارزش در واقع بیانگر خسارت متوسط هر یک کیلو وات ساعت برق عرضه نشده است.

در بخش خانوارها محصول اصلی، بهتر صرف کردن زمان فراغت است. بنابراین در بخش خانوارها نه تنها خود کالای خاموشی یک کالای غیربازاری است، بلکه محصول تولید شده از برق نیز در این بخش که همان فراغت است، یک کالای غیر بازاری است. رویکرد تابع تولید با ارزش‌گذاری فراغت از دست رفته در اثر خاموشی برق، هزینه‌های خاموشی در بخش مصرف-کنندگان خانگی را تخمین می‌زند. برای این منظور از مدل ارزش‌گذاری فراغت که توسط موناسینگ[۱]و با الهام از کار بکر[۲] معرفی شده است، استفاده می‌شود. در این رویکرد تابع مطلوبیت خانوار به عنوان تابعی از فراغت با وابستگی شدید به برق، فراغت مستقل از برق و درآمد تعریف می‌شود و قید بودجه وی معرفی می‌شود. متغیرهایی که بر هریک از اجزای تابع مطلوبیت اثرگذارند، مشخص می‌شوند در نهایت با استفاده از بهینه‌یابی مقید نسبت به متغیرهای تصمیم گیری خانوار و ساده سازی‌های ریاضی خالص رفاه از دست رفته خانوارها یا هزینه خاموشی برای آن‌ها محاسبه می‌شود. اثبات می‌شود جزء اصلی رابطه

۱. Munasinghe M. (1979)
۲. Becker (1965)

استخراج شده برای این هزینه در بخش خانوار دستمزد می‌باشد[1] از این‌رو در کارهای تجربی فرض می‌شود ارزش یک ساعت فراغت از دست رفته در اثر خاموشی برابر میزان دستمزد ساعتی می‌باشد.

صرف نظر از این تحلیل، می‌توان با طرح مفهوم هزینه فرصت در اقتصاد در ارتباط با ارزش فراغت خانوار به نتیجه مشابه رسید. اگر یک فرد، از میان چندین انتخاب متفاوت یکی را برگزیند، هزینه فرصت این فرد، معادل است با هزینه مرتبط با بهترین انتخاب ممکن از بین سایر انتخاب‌های باقی‌مانده که از آن صرف نظر شده‌است. زمانی‌که خانوار به فراغت می‌پردازد، بنابراین انتخاب بالقوه خود مبنی بر کار کردن را از دست می‌دهد. چنانچه فرد به جای یک ساعت فراغت، یک ساعت کار می‌کرد به اندازه یک ساعت دستمزدی که در صورت کار کردن داشت، درآمد کسب می‌کرد. پس می‌توان استدلال کرد خانوار به ازای هر ساعت فراغت از یک ساعت دستمزد صرف نظر می‌کند و یا هزینه فرصت یک ساعت فراغت برای خانوار معادل دستمزد ساعتی است، که از آن صرف نظر کرده است و بنابراین ارزش یک ساعت فراغت را می‌توان با رقم دستمزد منعکس کرد.

برای محاسبه VoLL از داده‌های مربوط به ارزش افزوده فعالیت‌های مختلف اقتصادی به قیمت ثابت سال ۱۳۹۰ مرکز آمار ایران، چکیده یافته‌های طرح آمارگیری گذران وقت در نقاط شهری مربوط به تابستان ۱۳۹۴، آمارهای فروش انرژی برق (به تفکیک تعرفه‌های خانگی، عمومی، کشاورزی، صنعتی، سایر مصارف)، گزارش نتایج طرح آمارگیری از نیروی کار ۱۳۹۴ و برای محاسبه دستمزد ساعتی از اطلاعات مربوط به رقم حداقل دستمزد سال ۱۳۹۴، نتایج طرح آمارگیری از هزینه و درآمد خانوارهای شهری و روستایی سال ۱۳۹۴، نتایج طرح آمارگیری از دستمزد نیروی انسانی شاغل در طرح‌های عمرانی نیمه دوم ۱۳۹۵ و طرح آمارگیری از کارگاه‌های صنعتی دارای ده نفر کارکن و بیشتر استفاده شده است.

جدول زیر خلاصه نتایج این گزارش در ارتباط با محاسبه ارزش بار از دست رفته را نشان می‌دهد:

جدول ۸. ارزش یک کیلو وات ساعت برق عرضه نشده به تفکیک تعرفه‌های برق مصرفی در سال ۱۳۹۴

نام بخش	میزان برق مصرفی(گیگاوات ساعت)	سهم مصرف برق از کل(درصد)	ارزش محصولات(میلیارد ریال)	سهم ارزش محصولات از کل(درصد)	ارزش بار از دست رفته(VoLL) (ریال بر کیلو وات ساعت)
خانگی	۷۶۱۰۳	۳۳	۴۸۴۴۹۴۲	۴۳	۶۳۶۶۲
صنعتی	۷۲۷۰۵	۳۲	۲۷۳۸۳۰۹	۲۴.۵	۳۷۶۶۳
کشاورزی	۳۶۰۸۹	۱۶	۴۲۸۰۰۲	۳.۸	۱۱۸۵۹
عمومی	۲۲۱۹۶	۱۰	۹۶۷۶۳۸	۸.۶	۴۳۵۹۵
سایر مصارف	۲۰۶۹۷	۹	۲۲۷۶۳۵۳	۲۰.۱	۱۰۹۹۸۴

[1] . اثبات روابط به مجید احمدیان و نصرت الله عباس زاده(مجله سیاست‌گذاری اقتصادی، ۱۳۹۲، صفحات ۷۱- ۶۸) رجوع داده می‌شود.

جمع	۲۲۷۷۹۰	۱۰۰	۱۱۲۵۵۲۴۴	۱۰۰	۴۹۴۱۰

منبع: محاسبات گزارش

همان‌طور که جدول فوق نشان می‌دهد، هر کیلو وات ساعت برق عرضه نشده به طور متوسط و چنانچه با رویکرد تابع تولید اقدام به محاسبه آن شود، با داده‌های سال ۱۳۹۴ ایران، ۴۹ هزار و ۴۱۰ ریال ارزش دارد. بر اساس این محاسبات می‌توان ارزش مالی کل بار از دست رفته سال ۱۳۹۴ را مطابق جدول زیر محاسبه کرد. ارزش مالی کل بار از دست رفته در سال ۱۳۹۴، بالغ بر ۲۱۰۰ میلیارد تومان و ارزش هر دقیقه برق عرضه نشده یا خاموشی، ۶۵۳ ریال برای هر مشترک بوده است.

جدول ۹. ارزش مالی کل بار از دست رفته در سال ۱۳۹۴

	جمع
فروش انرژی برق(میلیون کیلو وات ساعت)	۲۲۷۷۹۰
تعداد مشترکین(هزار نفر)	۳۲۸۳۱
مصرف متوسط هر مشترک در دقیقه(کیلو وات ساعت)	۰.۰۱۳۲
ارزش بار از دست رفته در هر دقیقه برای هر مشترک به طور متوسط(ریال)	۶۵۳.۴۷
مجموع بار از دست رفته کل مشترکین در سال(میلیون کیلو وات ساعت)	۴۲۹.۴۹
ارزش مالی کل بار از دست رفته در سال(میلیون ریال)	۲۱۲۲۱۴۱۷.۷۸
ارزش مالی کل بار از دست رفته در سال(میلیون دلار)	۷۱۷.۴۲

منبع: محاسبات گزارش

لازم به ذکر است کل زمان خاموشی هر مشترک(کل بخش‌ها) در سال ۱۳۹۴، ۲.۷۱ دقیقه در روز بوده است. ارزش دلار در سال ۱۳۹۴ به قیمت رسمی ۲۹ هزار و ۵۸۰ ریال در ازای هر دلار در نظر گرفته شده است. همچنین در این محاسبات، از تفکیک طول دوره خاموشی و زمان وقوع آن صرف نظر شده است و تنها از متوسط ارقام برای تجمیع داده‌ها استفاده شده است. مجددا تاکید می‌شود که این رقم صرفا ارزش تولیدات از دسته رفته بنگاه‌ها و ارزش فراغت از دست رفته خانوارها را مبنای محاسبه قرار می‌دهد و آسیب‌های وارده بر خرابی قطعات، خرابی مواد غذایی، تاثیرات خاموشی بر زنجیره تامین و امثال این هزینه‌ها را در محاسبه منظور نکرده است.

۴- راهکارهای کاهش خاموشی و مقابله با کمبود برق

در بخش انتهایی این گزارش تلاش شده است بر اساس سایر مطالعات صورت گرفته در دنیا مجموعه راهکارهایی که می‌تواند منجر به کاهش قطعی برق شود، گردآوری شود و به تفکیک عوامل اثرگذار بر تقاضا و عرضه انرژی واکاوی شود. نظر به

این‌که در قسمت‌های پیشین گزارش مشکلات ناشی از دو سمت تقاضا و عرضه انرژی در ایران تایید و تشریح شده است، می‌توان از ابزارهای فوق که در ادبیات اقتصادی مطرح شده و مدارک مربوط به تجربه بکارگیری آن‌ها در نقاط مختلف دنیا مستندسازی شده است، متناسب با شرایط اقتصاد ایران استفاده کرد و ترکیبی از سیاست‌ها که بالاترین اثرگذاری را با کمترین اثرات منفی به همراه دارند، به کار برد.

۴-۱. سیاست‌های سمت تقاضا

بر اساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی (۲۰۱۱) در برنامه‌ریزی پاسخ کمبود برق، مقامات باید به سرعت بخش‌هایی را شناسایی کنند که در آن بیشترین صرفه‌جویی در انرژی را می‌توان در حداقل هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی و سیاسی بدست آورد. فرصت‌های صرفه‌جویی در انرژی به طور گسترده بسته به ساختار اقتصادی کشور، شرایط آب و هوایی، شیوه‌های اجتماعی و غیره متفاوت هستند. به عنوان مثال، ساختارهای متفاوت اقتصادی نیوزلند و آفریقای جنوبی را در نظر بگیرید. صنعت ۳۷ درصد از مصرف برق در نیوزلند را تشکیل می‌دهد در حالی که سهم بخش مسکونی به میزان ۳۳ درصد است (IEA, 2010c). در آفریقای جنوبی، سهم صنعت بسیار بالاتر است (۵۸ درصد) و سهم بخش مسکونی پایین‌تر (۲۰ درصد) است. در نتیجه، برنامه های صرفه‌جویی در انرژی اضطراری در این دو کشور باید که متفاوت باشند.

در دسترس بودن اطلاعات دقیق در مورد میزان مصرف نهایی انرژی در بخش‌ها، برای شناسایی فرصت‌های صرفه‌جویی در انرژی حائز اهمیت است. با توجه به این‌که جمع‌آوری این داده‌ها می‌تواند سال‌ها به طول بکشد، این‌که مرکزی برای جمع‌آوری مداوم این داده‌ها وجود داشته باشد، ضروری است. نقش مثبت استفاده از این آمارها را می‌توان در بحران ۰۸-۲۰۰۷ شیلی مثال زد.

هنگامی که مصرف برق توسط بخش و مصرف کننده نهایی شناخته شده است، سیاستگذاران می‌توانند بر روی اقدامات خاص تمرکز کنند. در شیلی تخمین زده شده است که روشنایی و سرمایش ۶۰ درصد از مصرف برق مسکونی را در بر می‌گیرد و این دو به عنوان گروه هدف در برنامه صرفه‌جویی در انرژی مد نظر قرار گرفته‌اند.

شناسایی زمان مصرف برق به ویژه در کشورهای دارای محدودیت‌های ظرفیت موثر و مهم است. در آفریقای جنوبی، مصرف کنندگان مسکونی صبح زود و اواخر بعد از ظهر (ESMAP،۲۰۱۰) از انرژی الکتریکی بیشتری استفاده می‌کنند که یک الگوی مصرف است که با محدودیت ظرفیت سازگار و همسو است. صرفه‌جویی در مصرف برق در ساعت‌های پیک، یک راه حل موثر برای مقابله با کمبود ظرفیت است.

از طرفی مقررات، زیرساخت‌ها و واقعیت‌های سیاسی به شکلی است که برخی از ابزارها یا اقدامات را در بعضی از جوامع غیرممکن یا غیرمؤثر می‌سازد. به عنوان مثال بخش مسکونی در نیوزلند پتانسیل زیادی برای صرفه‌جویی در انرژی داشته، اما استفاده از تعرفه‌های ثابت، استفاده از سیگنال‌های قیمت را برای نفوذ در رفتار مصرف کننده‌های مسکونی غیر ممکن می‌سازد.

از جمله ملاحظات دیگری که در اتخاذ سیاست‌های کمبود برق باید مورد توجه قرار گیرد، طول دوره پیش بینی شده قطع برق است. محاسبه مدت زمان پیش بینی کمبود برق کمک می‌کند تا پاسخ‌های سیاستی مناسبی طراحی شوند. برخی از اقدامات می‌توانند به سرعت تقاضا را کاهش دهند، اما فقط برای یک دوره کوتاه‌مدت؛ دیگر اقدامات ممکن است اثرگذاری زمان‌بری داشته باشند، اما منجر به صرفه‌جویی بلندمدت می‌شوند. مثلا در ژنو، آلاسکا، مقامات از این‌که مشکل کمبود برق با تعمیر خط انتقال پایان می‌یابد، آگاه بوده و اقدامات کوتاه‌مدت برای کاهش بحران را کافی می‌دانستند. در نهایت، تعمیرات طی شش هفته انجام و بحران به پایان رسید. کمبود برق ناشی از خشکسالی در شیلی و نیوزلند منجر شد که بر اقدامات کوتاه‌مدت و میان‌مدت صرفه‌جویی در انرژی برای جلوگیری از قطعی تمرکز شود. در ژاپن و آفریقای جنوبی، کمبودها از محدودیت‌های ظرفیت بلندمدت حاصل می‌شده و نیاز به طیف وسیعی از راهکارهای سمت تقاضا و عرضه داشته است.

معیارهای مختلف در کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت برای دستیابی به صرفه‌جویی در انرژی موثر هستند.

تغییرات کوتاه‌مدت، بدون هزینه و کم هزینه: برای مثال؛ خاموش کردن چراغ‌ها، جداسازی الگوی مصرف بر اساس زمان و استفاده متفاوت از برق در زمان‌های مختلف روز.

تغییرات میان‌مدت با هزینه متوسط: برای مثال؛ عایق سازی، خرید ترموستات‌های قابل برنامه‌ریزی.

تغییرات زیرساخت‌ها و سیاست‌ها در بلندمدت: برای مثال؛ ساخت ساختمان‌ها و در و پنجره‌ها با عایق بندی و پوشش بهتر، تقویت تجهیزات کاراتر انرژی در کدهای ساختمان سازی.

سیاست‌هایی که عمدتا می‌توانند بر مدیریت سمت تقاضا اثرگذار باشند را می‌توان موارد زیر دانست:

- ✓ **سیگنال‌های قیمتی**
- ✓ **تغییرات رفتاری**
- ✓ **جایگزینی تکنولوژی**
- ✓ **سهمیه‌بندی**
- ✓ **مکانیزم‌های بازار**

جدول زیر هر یک این ابزارها را به صورت خلاصه معرفی کرده و پیش نیازهای آن‌ها را بیان می‌کند:

جدول ۱۰. ابزارهای سمت تقاضا برای مدیریت کمبود برق

معیار	شرح	پیش نیازها
سیگنال‌های قیمتی		
تعرفه‌های صنعتی	ارسال سیگنال شدت بحران از طریق قیمت‌ها	توانایی تنظیم قیمت‌ها و سیستم‌های پیشرفته صدور صورت حساب و اندازه‌گیری
تعرفه‌های خانگی	سیگنال کمبود برق به کاربران مسکونی از طریق قیمت	توانایی تنظیم قیمت‌ها، اطلاعات در مورد کشش قیمت بخش خانگی، اراده سیاسی، قیمت‌گذاری بر اساس زمان استفاده (TOU)، کنتورهای هوشمند
تغییرات رفتاری		
کمپین‌های اطلاعاتی	بالا بردن آگاهی عمومی، حمایت از اقدامات داوطلبانه در صرفه‌جویی انرژی	توانایی انتخاب / هماهنگی رسانه‌ها و پیام رسان‌ها.
جایگزینی تکنولوژی		
جایگزینی سیستم روشنایی	جایگزین کردن لامپ‌های کارآمدتر و وسایل کارآمدتر (CFL، LED ، چراغ‌های راهنمایی، چراغ‌های خیابانی و غیره)	ارتقاء توانایی فنی، تامین مالی، کانال‌های توزیع و مکانیزم‌هایی برای حذف لامپ‌های قدیمی
جایگزینی لوازم و تجهیزات	جایگزینی وسایل و تجهیزات ناکارآمد هدف گذاری شده	ارتقاء توانایی فنی، تامین مالی، کانال‌های توزیع و مکانیزم‌هایی برای حذف وسایل قدیمی
سهمیه‌بندی		
سهمیه‌بندی داوطلبانه	تقاضا برای کاهش داوطلبانه در مصرف برق	تجزیه و تحلیل به منظور تعیین کاهش مناسب به تفکیک نوع مصرف‌کنندگان با اثرات اقتصادی آن
سهمیه‌بندی اجباری	مجوز محدود کردن استفاده از برق	تجزیه و تحلیل برای تعیین کاهش معقول در

		مقایسه با تاثیرات آن بر اقتصاد و شبکه‌های امنیتی اجتماعی و در نظر گرفتن مجازات‌هایی برای عدم پیروی
ریزش بار	قطع برق مهندسی شده	سهولت در پیاده سازی(می‌تواند باعث زیان-های بزرگ و غیر قابل پیش بینی اقتصادی شود)
کنترل بار	محدودکننده جریان یا کنترل دستگاه	نیاز به شناسایی مصرف‌کنندگان نهایی به منظور کنترل و طراحی الگوریتم‌های ممکن کنترل جریان
مکانیزم‌های بازار		
تجارت دوجانبه سهمیه برق	استفاده از فرصت کاهش بار بین مصرف کنندگان بزرگ انرژی	نیاز به مکانیسم‌های قراردادی، داور شخص ثالث، مبنایی برای تأیید و جبران خسارت
بازار ثانویه	مکانیسم دیگر برای کاهش بار تجاری در بین چندین کاربر نهایی	نیاز به ایجاد یک مرکز تجاری یا مکانیسم OTC، قراردادها، داور شخص ثالث و مبنایی برای تأیید

Adapted from ESMAP, 2010.

نکات زیر در تکمیل اطلاعات جدول فوق تشریح می‌گردد:

- ✓ سیگنال‌های قیمت می‌تواند در شرایط خاص باعث صرفه‌جویی در مصرف برق شود. سیگنال‌های قیمت برای کاربران نهایی باید به یک مکانیزم بازار عمده فروشی متصل شوند تا قیمت‌ها منعکس کننده عرضه و تقاضا باشند. بسیاری از بازارهای آزاد تجاری شامل پیوند مستقیم بین بازارهای عمده فروشی و کاربران بزرگ هستند، اما ممکن است چنین ارتباطی را با کاربران کوچکتر (مسکونی و تجاری) نداشته باشند. در نیوزلند، در بازارهای برق آزاد، زمانی‌که کمبود برق اتفاق می‌افتد، قیمت لحظه‌ای برق افزایش می‌یابد که اغلب به افزایش در قیمت‌های خرده فروشی برای مصرف-کنندگان صنعتی بزرگ منتقل می‌شود. همین امر برای مصرف‌کنندگان مسکونی و تجاری که از قیمت برق تنظیم شده یا از تعرفه‌های ثابت قیمت استفاده می‌کنند، مصداق ندارد.

- ✓ در افزایش تعرفه‌ها می‌توان از روش‌های بلوک بندی استفاده کرد، به این صورت که قیمت برق برای حد معینی از مصرف پایین است. در سطوح مصرف بیش از این حد قیمت بالاتر است. به منظور حفظ انگیزه برای استفاده کارآمد حتی مقادیر کم برق، قیمت بلوک اول باید بیشتر از هزینه‌های مستقیم اجتناب از مصرف برق باشد (ESMAP, ۲۰۱۰).
- ✓ چندین گزینه قیمت‌گذاری وجود دارد که می‌تواند تقاضا را در ساعت‌های اوج کاهش دهد:

- **قیمت‌گذاری بر اساس زمان استفاده(TOU):** که در آن قیمت با توجه به یک برنامه از پیش تعیین شده متغیر است، به عنوان مثال زمان خاصی از روز، روزی در هفته و فصل.
- **قیمت‌گذاری زمان واقعی(RTP):** که در آن قیمت کاربر نهایی به طور مستقیم به قیمت نقطه‌ای در یک بازار عمده فروشی مرتبط است.
- **قیمت‌گذاری در پیک بحرانی(CPP):** ترکیبی از TOU و RTP که در آن نرخ TOU در تمام طول سال به جز تعداد روزهای پیک (تاریخ دقیق آن ناشناخته است) که در آن برق با قیمت بالاتری عرضه می‌شود، تأثیر می-گذارد.

- ✓ برای چنین گزینه‌های قیمت‌گذاری پویایی مانند RTP و CPP فن آوری‌های اندازه گیری، ارتباطات و سیستم‌های پردازش داده‌ها باید مورد استفاده قرار گیرند.
- ✓ تجربه نشان داده است که اقدامات مبتنی بر درخواست تغییر رفتار، اغلب از طریق ابزارهایی مانند کمپین‌های اطلاعاتی، به ویژه در دوره‌های کوتاه‌مدت کمبود برق می‌تواند به صرفه‌جویی شدید در انرژی کمک کند. کمپین‌های اطلاعاتی تمام ابزارهای دیگر سمت تقاضا را تکمیل و تقویت می‌کنند.
- ✓ در هنگام طراحی و اجرای یک کمپین اطلاعاتی، مقامات باید در چهار حوزه تمرکز داشته باشند: تجزیه و تحلیل عوامل تعیین کننده تغییر رفتار مطلوب؛ شناسایی گروه هدف؛ انتخاب موثرترین کانال‌های ارتباطی؛ و انتقال اضطرار و فوریت شرایط در حالی‌که خوش‌بینی به بازگشت شرایط به حالت عادی در بیانیه‌ها حفظ می‌شود(میکانن و همکاران[۱] ۲۰۱۰).

[۱]. Mikkonen et al. (2010)

- ✓ هدف کمپین‌های اطلاعاتی نباید مقصر دانستن مصرف‌کنندگان بخاطر نقش مهمی که در صرفه‌جویی انرژی دارند، باشد بلکه باید متقاعد کردن آن‌ها به ایجاد تغییراتی در عملکردشان باشد.
- ✓ جایگزینی فناوری هرچند به نسبت سایر اقدامات زمان‌بر است، اما صرفه‌جویی قابل اعتمادتر و پایدارتری در مصرف برق ایجاد می‌کند. کمبود برق ژاپن در سال ۲۰۱۱، منجر به ایجاد رکورد در فروش لامپ‌های LED شد. سهم فروش این لامپ‌ها به ۴۰ درصد رسید که دو برابر سهم پیش از بحران آن‌ها بود.
- ✓ در مکانیزم‌های بازار تجارت بین مصرف‌کنندگان بزرگ که مایلند رقم بیشتری بپردازند با کسانی‌که به دلیل مصرف کمتر از سهمیه انتظار جبران دارند، راه حلی است که می‌تواند از نظر اقتصادی کاراتر از کاربست یک پایه ثابت برای تمامی مصرف کنندگان باشد.
- ✓ در کنار موارد فوق که بر اساس تجربیات مطرح شده در دنیا و مطالعات صورت گرفته می‌باشند، پاره ای موارد در بحث الگوی مصرف انرژی هستند که به نظر میرسد متناسب با شرایط حاکم در ایران باید به آنها اشاره کرد. در بخش دوم گزارش به ناهمگنی مصرف انرژی در فصل‌های مختلف سال و تبعات آن اشاره گردید. از جمله سیاست‌هایی که در سالیان گذشته اتخاذ شده است، سیاست لوله‌کشی گازرسانی به تک تک ساکنین روستاها و شهرها بوده است. الگوی تامین مصارف حرارتی و برودتی خانگی در شهر و روستا منجر شده برای هریک از حامل‌های انرژی برق و گاز، یک پیک مصرف سه یا چهار ماهه بسیار بالاتر از متوسط سال داشته باشیم که سرمایه‌گذاری در هر دو بخش را از توجیه اقتصادی خارج کرده است. بنابراین در بلندمدت انتظار می‌رود جهت‌گیری سیاست‌ها به گونه‌ای باشد که مانند سایر کشورهای دنیا مصارف حرارتی و برودتی خانگی در شهر و روستا به اضافه روشنایی و حمل و نقل شهری و..... فقط از طریق برق تامین شده و از قطع برق و گاز کارخانجات و صنایع که تلورانس زیادی در ایام مختلف سال ندارند، اجتناب شود. با نزدیک شدن به این هدف، هم تولید و مصرف برق و گاز از فراز و نشیب بسیار که آسیب بالایی به این صنایع وارد کرده است خارج شده و هم هوای شهرهای بزرگ از آلودگی ناشی از سوزاندن گاز و گازوئیل و بنزین رهایی می‌یابد.

۲-۴. سیاست‌های سمت عرضه انرژی

در بخش عرضه انرژی نیز می‌توان توصیه‌هایی را به منظور افزایش توان تولید برق مطرح کرد که عمدتا این توصیه‌ها در تطبیق با شرایط اقتصاد ایران بیان می‌شوند.

- استفاده از ظرفیت‌های تولید برق مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر از جمله مواردی است که در بلندمدت قادر به اثرگذاری بر کمبود عرضه برق است.
- همان‌طور که در قسمت‌های پیشین گزارش آمده است، مطابق محاسبات صورت گرفته اقتصاد ایران برای پاسخگویی به تقاضای روز افزون نیازمند جذب منابع مالی و ورود سرمایه‌ها به اقتصاد برق است. مانند هر نوع سرمایه-گذاری، سرمایه گذاری در ساخت نیروگاه‌های جدید نیز نیازمند اطمینان از سودآوری، حفظ ثبات در رویه‌ها و قوانین مرتبط با فروش برق و خرید نهاده‌های تولید برق و به طور کلی ثبات حاکم بر شرایط اقتصادی و سیاسی کشور است. الگوهای مختلف تامین مالی داخلی و خارجی وجود دارد که هم به لحاظ قانونی بسترهای استفاده از آن طراحی شده است (می‌توان به بند «د» از ماده ۱۳۳ قانون برنامه پنجم توسعه اقتصادی اجتماعی کشور و بند «ت» از ماده ۴۸ قانون برنامه ششم اشاره کرد) و هم تمامی پیش نیازهای بهره بردن از آن‌ها در ادبیات اقتصادی دنیا بررسی شده است و می‌توان از تجربه کشورهای موفق در استفاده از آن‌ها بهره جست. بنابراین به نظر می‌رسد در سمت عرضه انرژی نیازمند اقدامات جدی در استفاده از روش‌های نوین تامین مالی هستیم.
- از آنجایی که سودآوری هر فعالیت تولیدی شرط نخست سرمایه‌گذاری در آن است و با توجه به پایین‌تر بودن قیمت فروش برق در ایران از هزینه تمام شده آن و کارنامه نامناسب دولت در پرداخت بدهی‌های مربوط به مابه‌التفاوت قیمت فروش از قیمت تکلیفی، زیان‌ده بودن این نوع سرمایه‌گذاری القا شده است، یکی از گام‌های اساسی در بخش عرضه برق اصلاح سیستم قیمت‌گذاری برق است. با این وجود، در هر گونه سیاست تغییر قیمت و خصوصا در زمینه کالاهای اساسی چون برق، چندین نکته کلیدی و اساسی وجود دارد که غفلت از آن‌ها با هدف اصلاح بخشی از اقتصاد بدون در نظر گرفتن

اثرات بر سایر بخش‌ها می‌تواند اثرات جبران ناپذیری به همراه داشته باشد. به طور کلی و هم‌چنین به استناد تجربه اقتصاد ایران از سیاست‌های تغییر قیمت از جمله طرح هدفمندی یارانه‌ها، چند نکته را می‌توان استخراج کرد:

- موفقیت هر گونه سیاست تغییر قیمتی بر میزان مصرف، نیازمند محاسبه کشش‌های قیمتی برای بازار خاص مورد بررسی و تحلیل آن‌هاست.
- سیاست‌های تغییر قیمت همواره با اثرات بر سایر بازارها و بر خالص رفاه جامعه همراه هستند. این مساله که به طور کلی مصرف‌کنندگان از تغییرات افزایشی قیمت استقبال نمی‌کنند امری بدیهی است اما ضرورت اصلاحات مورد نیاز شرایط بازار را به منظور پوشش هزینه‌های بخش تولیدی و سودآوری سرمایه‌گذاری در صنعت برق از بین نخواهد برد. خصوصا در شرایطی که فشارهای مالی بودجه‌ای مانع از پرداخت جبران زیان‌های بخش تولید در طی سالیان اخیر توسط دولت شده است. از آن‌جایی که استمرار این روند می‌تواند منجر به شوک‌های افزایشی شدیدتر در آینده نه چندان دور شود که طبعتا فشارهای مالی مضاعفی را نیز به دوش مصرف‌کنندگان انتقال خواهد داد، انتظار می‌رود با طراحی مدل‌های اقتصاد کلان و شبیه‌سازی تاثیرات سناریوهای متفاوت افزایش قیمت، در نهایت سیاستی تدوین شود که ضمن حل مشکل عدم توازن اقتصاد برق در میان‌مدت دارای کمترین آثار کاهش رفاه بر جامعه در کوتاه‌مدت باشد. این مهم میسر نخواهد شد مگر با کار کارشناسی قوی، لحاظ کردن تاثیرات این سیاست بر تمامی بازارهای احتمالی و در نهایت اتخاذ سیاست بهینه.
- به عنوان آخرین و در زمره مهمترین نکات در مدیریت سمت عرضه باید توجه داشت به منظور ایجاد توازن در بهای تمام شده و قیمت فروش برق، نیاز به اقداماتی است که به کاهش هزینه‌ها در بخش‌هایی از صنعت برق که دولت متولی آن است و خصوصا وزارت نیرو، بیانجامد. با اعمال سیاست‌های مناسب مدیریتی می‌توان هزینه‌ها را در بخش تولید، انتقال و توزیع کاهش داد، راندمان نیروگاه‌ها را افزایش داد و از اتلاف انرژی بالا در شبکه جلوگیری کرد. به عبارت بهتر، اصلاح مکانیزم قیمت‌گذاری برق به دنبال جلب مشارکت مصرف‌کنندگان در حل مشکل اقتصاد نامتوازن برق است و تا زمانیکه هزینه‌های ناشی از ناکارآمدی دولتی در مدیریت انرژی اصلاح نگردد، تمامی بار اصلاحات مورد نیاز صنعت برق بر دوش مصرف‌کنندگان خواهد بود که به طبع افت شدید رفاه جامعه را به همراه خواهد داشت. بنابراین انتظار می‌رود با اتخاذ

سیاست‌های کارآمد که به بهبود عملکرد دولتی در مدیریت انرژی منجر می‌شود، شکاف میان بهای تمام شده برق و بهای فروش آن کاهش یابد به گونه‌ای که نیاز به شوک‌های شدید افزایش قیمتی که اثرات قوی بر سایر بازارها و رضایت مصرف‌کنندگان خواهد گذاشت، برطرف و امکان اصلاح قیمت‌ها تحت استراتژی‌های کارشناسی شده و در طول زمان، میسر گردد.

منابع

۱. احمدیان، مجید و عباس زاده، نصرت الله (۱۳۹۲) " برآورد ارزش برق عرضه نشده (VoLL) "، پژوهش های رشد و توسعه اقتصادی، سال دوم، شماره هفتم.در اثر خاموشی در ایران: رویکرد تولید و فراغت از دست رفته"، مجله سیاست گذاری اقتصادی، سال پنجم، شماره نهم.

۲. امیدی، محمدرضا؛ امیدی، نبی؛ عسگری، حشمت اله و جعفری اسکندری، میثم (۱۳۹۵) "مدل سازی و پیش بینی تولید و مصرف برق در ایران"، فصلنامه آینده پژوهی مدیریت، سال بیست و هفتم، شماره ۱۰۶.

۳. چنگی آشتیانی، علی و جلولی، مهدی (۱۳۹۱) " برآورد تابع تقاضای برق و پیش بینی آن برای افق چشم انداز ۱۴۰۴ ایران و نقش آن در توسعه کشور با توجه به هدفمند شدن یارانه های انرژی"، پژوهش های رشد و توسعه اقتصادی، سال دوم، شماره هفتم.

۴. رستمی، مهدی؛ خادم وطنی، عسگر و امیدعلی، مصطفی (۱۳۹۷) " پیش بینی تقاضای برق در ایران: کاربرد مدل ترکیبی تعدیل جزئی پویا و میانگین متحرک خود همبسته یکپارچه (ARIMA)"، مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، سال هفتم، شماره ۲۵.

۵. صمدی، سعید؛ شهیدی، آمنه و محمدی، فرزانه (۱۳۸۷) " تحلیل تقاضای برق در ایران با استفاده از مفهوم هم جمعی و مدل ARIMA (۱۳۸۸- ۱۳۶۳)"، مجله دانش و توسعه، سال پانزدهم، شماره ۲۵.

۶. مرکز آمار ایران(۱۳۹۴)، چکیده یافته‌های طرح آمارگیری گذران وقت در نقاط شهری مربوط به تابستان ۱۳۹۴.

۷. مرکز آمار ایران(۱۳۹۴)، نتایج طرح آمارگیری از هزینه و درآمد خانوارهای شهری و روستایی.

۸. مرکز آمار ایران(۱۳۹۴)، طرح آمارگیری از کارگاه‌های صنعتی دارای ده نفر کارکن و بیشتر.

۹. مرکز آمار ایران(۱۳۹۴)، گزارش نتایج طرح آمارگیری از نیروی کار.

۱۰. مرکز آمار ایران(۱۳۹۵)، طرح آمارگیری از دستمزد نیروی انسانی شاغل در طرح‌های عمرانی.

۱۱. معاونت امور برق و انرژی(دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی)؛ (۱۳۹۴) ترازنامه انرژی.

۱۲. موسوی اهرنجانی، پریسا؛ قادری، سید فرید و آزاده، محمد علی (۱۳۸۶) " شبیه سازی تقاضای برق صنایع ایران با استفاده از سیستم داینامیک"، نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران، دوره ۴۱، شماره ۷(پیاپی ۱۰۹).

۱۳. Baarsma, B.E., Hop, J.P (2009) " *Pricing power outages in the Netherlands "*. Energy 34 (9), p. 1378–1386.

۱٤. Becker, G.E. (1965). "*A Theory of the Allocation of Time*". The Economic Journal LXXV: 493–517.

۱٥. Beenstock , M., (1991) *"Generators and the cost of electricity outages, Energy Economics"*, 1991, vol. 13, issue 4, 283-289.

۱٦. Bental, B., and S. A. Ravid (1982) *"A Simple Method for Evaluating the Marginal Cost of Unsupplied Electricity"*, Bell Journal of Economics, 1982, vol. 13, issue 1, 249-253.

۱۷. Bertazzi, A., Fumagalli, E., et al. (2005) *"The use of customer outage cost surveys in policy decision-making: The Italian experience in regulating quality of electricity supply"* . CIRED.

۱۸. Bliem, M. (2005), *"Eine makro¨okonomische Bewertung zu den Kosten eines Stromausfalls im ¨osterreichischen Verteilungsnetz"*, Discussion Paper No. 02/2005 of the Institute for Advanced Studies Carinthia.

۱۹. Bliem, M., (2008)*" Ökonomische Bewertung der Versorgungsqualität im österreichischen Stromnetz und Entwicklung eines Modells für ein Qualitäts-Anreizsystem"*. Klagenfurt, Alpen-Adria-Universität Klagenfurt.

۲۰. Brown, G., and M. B. Johnson (1969)*" Public Utility Pricing and Output under Risk"*, American Economic Review, 1969, vol. 59, issue 1, 119-28.

۲۱. ESMAP (Energy Sector Management Assistance Programme) (2010),*" Central America Regional Programmatic Study for the Energy Sector: Managing An Electricity Shortfall - A Guide for Policymakers"*, World Bank, Washington, DC.

۲۲. Heffner, G., L. Maurer, A. Sarkar and X. Wang (2009), *"Minding the Gap: World Bank's Assistance to Power Shortage Mitigation in the Developing World," Energy Policy* Volume 35, Issue 4, April 2010, Pages 1584-1591.

۲۳. IEA (2005), *"Saving Electricity in a Hurry*", OECD/IEA, Paris.

۲٤. IEA (2010c*)," Electricity Information"*, OECD/IEA, Paris.

۲٥. IEA (2011) ,*"Saving electricity in a Hurry*".

۲٦. IEA and Nuclear Energy Agency (2015), *"Projected Costs of Generating Electricity"*.

۲۷. Kjølle, G.H., Samdal, K., et al.(2008) *"Customer costs related to interruptions and voltage problems: Methodology and results"*, IEEE Transactions on Power Systems 23 (3), p. 1030-1038.

۲۸. Lars, W. and A. Wolf (2013) *"Protection against major catastrophes: an economic perspective*". HWWI Research Paper 137.

۲۹. Lawton, L., Sullivan, M., et al.,(2003) *"A Framework and Review of Customer Outage Costs: Integration and Analysis of Electric Utility Outage Cost Surveys"*, B. Lab. Berkeley, Environmental Energy Technologies Division.

۳۰. Mikkonen, I., L. Gynther, K. Hamekoski, S. Mustonen and S. Silvonen (2010),*" Innovative Communication Campaign Packages on Energy Efficiency"*, World Energy Council, ADEME, Motiva.

۳۱. Munasinghe M., Gellerson M., (1979). *"Economic Criteria for Optimizing Power System Reliability Levels"*. The Bell Economic Journal 10(1): 353–365.

۳۲. Nooij Mde, Bijvoet CC and Koopmans CC. (2007). *"The Value of Supply Security: the Costs of Power Interruptions: Economic Input for Damage Reduction and Investment in Networks"*. Energy Economics 29(2):277–295.

۳۳. Piaszeck, S., L. Wenzel and A. Wolf (2013) *"Regional Diversity in the Costs of Electricity Outages: Results for German Counties"*. Hamburg Institute of International Economics (HWWI) ISSN 1861-504X.

٣٤. Shivakumar, A., M. Welsch ., C. Taliotis ., M. Howells., D. Jakšić and T. Baričević (2014) *"Estimating the socio-economic costs of electricity supply interruptions "*An Energy Think tank Informing the European Commission INSIGHT-E project.