فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی/ سال بیست‌ویکم / شماره ۸۴/ بهار ۱۴۰۴/ صفحات ۲۳۴-۱۹۹

طراحی مدل حفظ ثبات امنیت اقتصادی ایران در شرایط کمبود برق: کاربرد مدل تلفیقی برنامه‌ریزی خطی داده ستانده

سجاد رجبی[۱]
دکتری اقتصاد نفت و گاز، دانشکده اقتصاد، دانشگاه امام صادق (ع)، تهران، Sajadrajabi@isu.ac.ir

حسن شکوه
دکتری اقتصاد سیاسی دانشگاه تهران و پژوهشگر پژوهشکده تدبیر اقتصادی، تهران، hass_shokhou@yahoo.com

رضا رنجبران
دکتری مدیریت قراردادهای بین‌المللی نفت و گاز دانشگاه امام صادق(ع)، تهران، r.ranjbaran@isu.ac.ir

سید مجید پرپنچی
دکتری اقتصاد، گروه اقتصاد دانشگاه عالی دفاع ملی، تهران، ایران، parpanchi.majid@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۴

چکیده

با افزایش جمعیت و رشد اقتصادی، نقش برق در حال گسترش است. هرگونه کمبود برق تأثیرات جدی بر ساختار اقتصاد دارد. ازاین‌رو برآورد هزینه‌های اقتصادی کمبود برق، دستاوردهای بسیار مهمی را برای بازیگران این صنعت یعنی توزیع‌کنندگان، تصمیم‌گیران و دولت‌ها به دنبال خواهد داشت. هدف این مقاله تخمین هزینه نهایی کمبود برق با استفاده از روش چن و ولا در قالب مدل داده-ستانده است که طبق یک مدل بهینه‌سازی، کمترین آسیب به اقتصاد ایران برنامه‌ریزی و شوک کمبود انرژی در چارچوب حفظ ثبات امنیت انرژی ایران کنترل شود. این روش برای محاسبه میانگین اقتصادی کمبود کوتاه‌مدت برق در بخش‌های مختلف اقتصاد ایران بکار برده می‌شود. به عبارتی این تحقیق به دنبال آن است که در شرایط بروز کمبود برق هر یک از بخش‌های اقتصادی به ترتیب و به چه مقدار با قطعی مواجه خواهد شد. نتایج نشان می‌دهد که هزینه نهایی عدم تأمین برق، بین ۷/۵ تا ۳۷/۲ ریال به ازای هر کیلووات ساعت می‌باشد. این نتیجه به مواردی چون درصد کمبود در هر بخش، سطح تقاضای نهایی و وابستگی آن‌ها به صنعت برق بستگی دارد. بر این اساس در شرایطی که دیسپاچینگ ناچار به خاموشی و قطع برق در کشور باشد، به‌منظور حداکثرسازی ضریب امنیت اقتصادی می‌بایست ابتدا خاموشی برای بخش خانگی و سپس بخش زغال‌سنگ و فعالیت‌های دامپزشکی که داری ضرایب ارزش‌افزوده ۰/۱۶ و ۰/۹۱ است، برنامه‌ریزی شود.

طبقه‌بندی JEL: L52, P48, Q43.

کلیدواژه‌ها: امنیت اقتصادی، هزینه نهایی، تحلیل داده-ستانده، قطعی برق، طرف عرضه، کمبود برق.

---

۱. نویسنده مسئول

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

۱- مقدمه

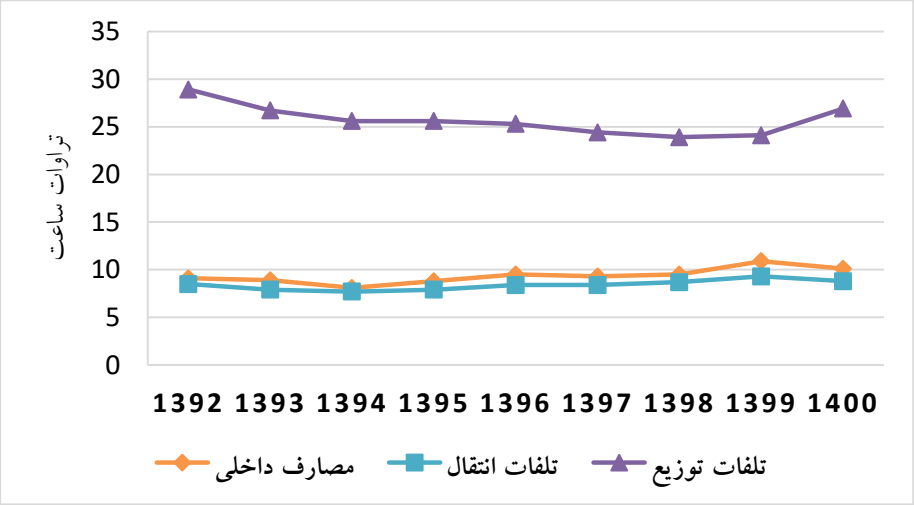
انرژی برق در دنیای امروز عنصری حیاتی برای اقتصاد صنعتی جدید است. این شکل ۰/۱ انرژی کاربردهای مختلفی دارد و معمولاً به‌راحتی می‌تواند جایگزین سایر منابع انرژی شود. کمبود و قطعی برق مشکلات قابل‌توجهی برای شهروندان در زندگی روزمره ایجاد خواهد کرد. تقاضا برای برق ممکن است به دلیل افزایش ناگهانی تقاضا یا محدودیت‌های تولید و انتقال، به‌طور موقت از عرضه آن فراتر رود. قطع برق نه‌تنها باعث نارضایتی خانوارها می‌شود، بلکه برای بخش‌های صنعتی نیز هزینه خواهد داشت. هرچه اقتصاد بیشتر به برق وابسته باشد، هزینه کمبود برق بیشتر می‌شود.

صنعت برق به‌عنوان یک بخش زیرساختی، تأثیر قابل‌توجهی برکل اقتصاد دارد (برنشتاین و هگازی ۱۹۸۸). کمبود برق پیامدهای اقتصادی شدیدی شامل هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم برای اقتصاد به دنبال خواهد داشت. هزینه‌های مستقیم شامل کاهش فوری فعالیت‌های تولیدی، آسیب به مواد اولیه، آسیب به تجهیزات و هزینه-فرصت منابع بیکار می‌شود. هزینه‌های غیرمستقیم نیز شامل هزینه اقدامات پیشگیرانه برای کنترل بیکاری و تورم است (چن و ولا، ۱۹۹۴). این مقاله هزینه‌های اقتصادی قطع برق در ایران را با استفاده از چارچوب تحلیل بخشی برای ارزیابی اثرات کمبود تأمین برق بر سایر بخش‌های اقتصادی برآورد می‌کند.

انرژی برق دارای ویژگی‌های منحصربه‌فردی است که آن را از سایر کالاها متمایز می‌کند. یکی از ویژگی‌های اساسی برق این است که نمی‌توان آن را در مقیاس بزرگ ذخیره کرد. به همین دلیل، عرضه برق باید برابر با مقدار تقاضا و تلفات شبکه باشد. به‌این‌ترتیب، بعد زمان برای برق حیاتی است و قطع برق را بسیار محتمل می‌کند. هرگونه خرابی در سیستم نیروگاهی که عرضه را به سطحی کمتر از تقاضا کاهش دهد باعث اختلال در سیستم می‌شود.

بر اساس مرور آمار ترازنامه انرژی در سال ۱۴۰۰، مجموع تولید تأسیسات انرژی برق در ایران بر اساس ظرفیت اسمی نیروگاه‌ها ۸۶۹۱۰ مگاوات بوده است. این درحالی است که ظرفیت عملی تولید برق در کشور طی سال ۱۴۰۰ برابر ۷۵۲۴۷ مگاوات بوده است. در شکل ۱، تحولات تولید برق در ایران را از سال ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۰ به تفکیک مصارف و تلفات که حجم زیادی از مصرف برق کشور را به خود اختصاص می‌دهد نشان داده‌شده است:

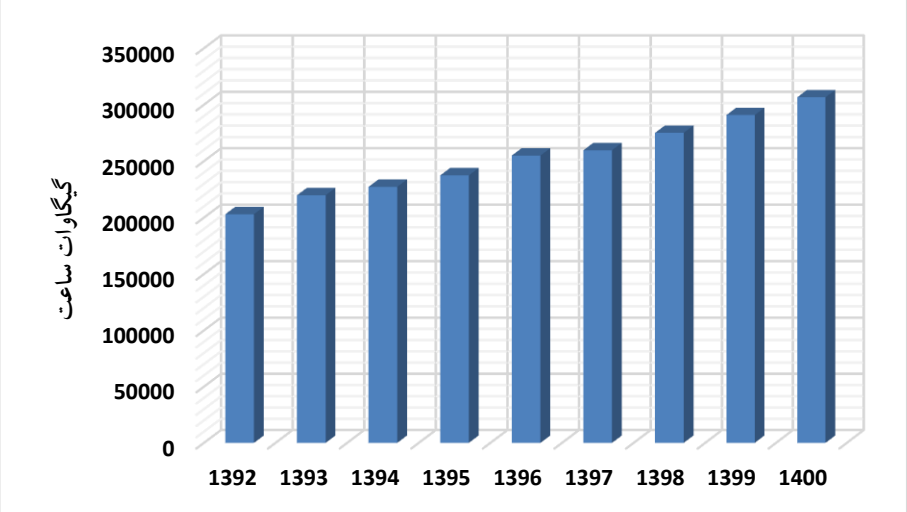
[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]



شکل ۱. مصارف داخلی و تلفات شبکه‌های برق کشور ۱۳۹۲-۱۴۰۰

منبع: ترازنامه انرژی ایران، ۱۴۰۰

همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده‌شده است، مصرف برق ایران از ۲۰۳۰۸۷ گیگاوات ساعت در سال ۱۳۹۲ به ۳۰۶۶۱۱ گیگاوات ساعت در سال ۱۴۰۰ افزایش یافته است.

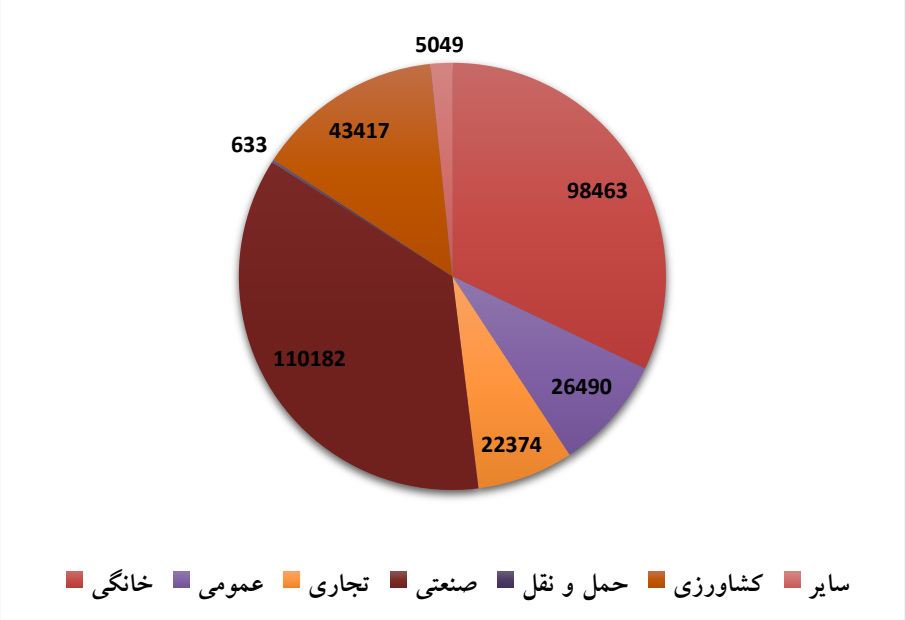


شکل ۲. مصرف برق در ایران (۱۳۹۲-۱۴۰۰)

منبع: ترازنامه انرژی ایران، ۱۴۰۰

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

شکل ۳ مصرف برق بخش‌های مختلف تأمین‌شده توسط وزارت نیروی ایران را در سال ۱۴۰۰ نشان می‌دهد. بر این اساس در سال ۱۴۰۰، بخش خانگی ۹۸۴۶۳ گیگاوات ساعت (معادل ۳۲ درصد مصرف از کل)، بخش عمومی ۲۶۴۹۰ گیگاوات ساعت (معادل ۹ درصد مصرف از کل)، بخش تجاری ۲۲۳۷۴ گیگاوات ساعت (معادل ۷ درصد مصرف از کل)، بخش صنعتی ۱۱۰۱۸۲ گیگاوات ساعت (معادل ۳۶ درصد مصرف از کل)، بخش حمل‌ونقل ۶۳۳ گیگاوات ساعت (کمتر از ۰/۲)، بخش کشاورزی ۴۳۴۱۷ گیگاوات ساعت (معادل ۱۴ درصد مصرف از کل) و سایر بخش‌ها ۵۰۴۹ گیگاوات ساعت (معادل ۲ درصد مصرف از کل) مصرف داشته‌اند.



شکل ۳. مصرف برق بخشه‌ای مختلف در سال ۱۴۰۰

منبع: ترازنامه انرژی ایران، ۱۴۰۰

در ادامه، ابتدا ادبیات تحقیق در مورد هزینه‌های کمبود برق بررسی خواهد شد. هزینه کمبود برق بدان معناست که در نگاه علم اقتصاد هرگونه ناترازی و عدم تعادل که موجب اختلاف در میزان عرضه و تقاضا باشد، تبعات اقتصادی مستقیم و غیرمستقیم بر بخش‌های تولیدی اقتصاد دارد و ازآنجایی‌که زنجیره‌های عرضه کالا و خدمات حساس به شوک مقداری هستند، تبعات و عواقب آن بر متغیرهای کلان اقتصادی منعکس

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

می‌گردد. سپس روش مورد استفاده در این مقاله برای اندازه‌گیری هزینه قطع برق برای ایران معرفی می‌شود که ترکیبی از تحلیل داده-ستانده و برنامه‌ریزی خطی است. جدول داده ستانده ۳۸ بخشی مورد استفاده در این مقاله، جدول داده-ستانده ۱۳۹۷ مرکز آمار ایران که طبق روش RAS به هنگام شده است (جدول پایه سال ۱۳۹۵ که ۷۷ بخشی بوده است) می‌باشد.

امنیت اقتصادی و امنیت انرژی

بنا بر تعریف باری بوزان امنیت اقتصادی در سطح فرد عبارت است از: میزان دسترسی انسان به ضروریات زیستی غذا؛ آب، پناه و آموزش. اما در سطح بالاتر، ایده امنیت اقتصادی با دامنه وسیعی از بحث‌های سیاسی درباره اشتغال توزیع درآمد و رفاه مرتبط است (یوزان، ۱۳۹۰: ص ۲۶۶). اما امنیت دولت ازنظر اقتصادی جزء دستور کار امنیت ملی است. ایجاد امنیت اقتصادی برای دولت باعث طرح سؤالاتی مشابه تأمین امنیت افراد می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، امنیت اقتصادی به معنای اطمینان از تأمین پایدار نیازهای اساسی اقتصادی یک جامعه است. این مفهوم شامل مواردی مانند ثبات قیمت‌ها، رشد اقتصادی پایدار، اشتغال کامل، توزیع عادلانه درآمد و ثروت و دسترسی به کالاها و خدمات ضروری می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، امنیت اقتصادی به معنای ایجاد شرایطی است که در آن افراد و کسب‌وکارها بتوانند با اطمینان به آینده، به فعالیت‌های اقتصادی خود ادامه دهند (پالوج و همکاران، ۱۳۹۰).

بین امنیت اقتصادی و امنیت انرژی رابطه تنگاتنگی وجود دارد. انرژی به‌عنوان یک ورودی کلیدی در فرآیند تولید، نقش مهمی در رشد اقتصادی ایفا می‌کند. از سوی دیگر، رشد اقتصادی نیز به نوبه خود، به افزایش تقاضا برای انرژی منجر می‌شود؛ بنابراین، تأمین پایدار انرژی با قیمت مناسب، یکی از پیش‌نیازهای رشد اقتصادی پایدار است (عصاری آرانی و رستمی، ۱۴۰۱). رابطه بین امنیت اقتصادی و امنیت انرژی را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

- **امنیت انرژی به‌عنوان پیش‌نیاز امنیت اقتصادی:** تأمین پایدار انرژی با قیمت مناسب، به‌عنوان یک پیش‌نیاز برای رشد اقتصادی پایدار و ایجاد اشتغال محسوب می‌شود.

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

- **امنیت اقتصادی به‌عنوان عامل تقویت امنیت انرژی:** رشد اقتصادی پایدار، به دولت‌ها امکان می‌دهد تا سرمایه‌گذاری‌های بیشتری در بخش انرژی انجام دهند و زیرساخت‌های انرژی را تقویت کنند.
- **تأثیر متقابل شوک‌های انرژی بر امنیت اقتصادی:** نوسانات قیمت انرژی و وقوع بحران‌های انرژی، می‌توانند تأثیر منفی بر رشد اقتصادی، تورم و اشتغال داشته باشند.

بر این اساس می‌توان بیان داشت که امنیت انرژی به معنای اطمینان از تأمین پایدار انرژی با قیمت مناسب و قابل‌قبول برای مصرف‌کنندگان است. این مفهوم شامل مواردی مانند تنوع منابع انرژی، کاهش وابستگی به منابع خارجی، افزایش بهره‌وری انرژی، توسعه زیرساخت‌های انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، امنیت انرژی به معنای ایجاد شرایطی است که در آن یک کشور بتواند نیازهای انرژی خود را به‌طور مستمر و بدون وقفه تأمین کند (IEA،۲۰۰۲). تعریف IEA را می‌توان تعریفی مضیق از امنیت انرژی برشمرد و این در حالی است که تعاریف جدید بیان می‌دارند که امنیت در حوزه انرژی باید به‌منظور تضمین در دسترس بودن فیزیکی مداوم محصولات انرژی در بازار برای منافع عموم مردم و عملکرد روان اقتصاد، با قیمت‌هایی برای همه مصرف‌کنندگان (اعم از شخصی و صنعتی)، در چارچوب هدف توسعه پایدار، تنظیم شود (باتاچاریا، ۲۰۱۹). بر این اساس هرگونه تصمیمی در شرایط عادی و غیرعادی (فورس ماژور) باید تضمین‌کننده رفاه آحاد مردم جامعه باشد و در غیر این صورت تنظیم‌گری و مدیریت آن شوک انرژی بر اساس در نظر گرفتن امنیت اقتصادی و امنیت انرژی نخواهد بود. همین تعریف دلالت بر این دارد که اگر قرار باشد مدل بهینه برای توزیع خاموشی برق (سایر اشکال انرژی نهایی) مدل‌سازی شود مقتضی است تابع هدف بر اساس حداکثرسازی منفعت کل در اقتصاد (Maximizing total benefit) باشد.

یکی از مهم‌ترین اشکال ارائه انرژی نهایی به خانوارها، واحدهای تجاری، صنعتی، کشاورزی و خدمات در اقتصاد جهانی، انرژی برق است که جایگاه ممتاز آن پرواضح است. از سوی دیگر ناترازی و کمبود برق در اقتصاد ایران، امنیت اقتصادی را تحت تأثیر قرار داده و ضروری است تصمیم گیران و تصمیم سازان حوزه نیرو و انرژی کشور

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

چاره‌ای اساسی و بنیادی مبتنی بر نحوه مدیریت این معضل روبه تشدید داشته باشند و طبق الگوی مناسبی آن را مدیریت نمایند. در این جایگاه دو ساحت در حل این معضل متصور است: راهکار کوتاه‌مدت و راهکار بلندمدت. راهکار کوتاه‌مدت توزیع بهینه خاموشی و کسری برق میان انواع بخش‌های اقتصاد ایران است، به‌نحوی‌که شرایط مندرج در امنیت اقتصادی و امنیت انرژی یعنی حفظ رفاه اجتماعی جامعه برقرار باشد و کمترین آسیب متوجه آن گردد. راهکار بلندمدت به نحوه توسعه زیرساخت‌ها، تجهیزات، مدیریت مصرف، بهینه‌سازی و افزایش بهره‌وری انرژی می‌پردازد. در این پژوهش با توجه به بروز ناترازی‌های متعدد برق طی سنوات اخیر بر ارائه راهکار کوتاه‌مدت یعنی کشف و ارائه مدل بهینه اقتصادی توزیع خاموشی در اقتصاد ایران که متضمن حداقل ضرر به رفاه اجتماعی است (طبق اصول امنیت اقتصادی) پرداخته می‌شود.

۲- پیشینه تحقیق

چهار رویکرد اصلی برای تخمین هزینه قطع برق در ادبیات وجود دارد: تمایل به پرداخت[1]، تجزیه‌وتحلیل عامل تولید[2]، نظرسنجی مصرف‌کننده[3] و تحلیل داده-ستانده[4].

تمایل به پرداخت مبلغی است که مشتریان مایل به پرداخت آن هستند تا از قطع برق جلوگیری کنند یا مبلغی که باید به آن‌ها پرداخت شود تا از روی میل قطع برق را بپذیرند (چن و ولا[5] ۱۹۹۴). این رویکرد به‌طور گسترده توسط بسیاری از محققان ازجمله تولی و ویلیام[6] (۱۹۷۷)، کریو و کلیندورفر[7] (۱۹۷۸)، موناسینگه[8] (۱۹۷۹) و موناسینگه و سانگوی[9] (۱۹۸۸) استفاده شده است. در این رویکرد، هزینه کمبود برق بر اساس تلفات رفاهی مورد انتظار آن اندازه‌گیری می‌شود. درحالی‌که تولید برق به طور مستقیم به رضایت مصرف‌کنندگان کمک می‌کند، هزینه کمبود برق را می‌توان بر اساس از دست دادن رضایت اندازه‌گیری کرد.

1. willingness-to-pay
2. production factor analysis
3. consumer surveys
4. input-output analysis
5. Chen and Vella
6. Tolley and Wilman
7. Crew and Kleindorfer
8. Munasinghe
9. Munasinghe and Sanghvi

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

روش تحلیل عاملی تولید بر اساس تأثیر قطعی برق بر تولید کالاهای مختلف است. به‌عبارت‌دیگر، تلاش می‌کند تا زیان‌های ناشی از سرمایه سرگردان را تعیین کند (چن و ولا، ۱۹۹۴).

نظرسنجی‌های مشتریان بر روی هزینه‌های قطع برق در نمونه‌ای از موارد واقعی تمرکز دارد. سپس از تکنیک‌های آماری برای شناسایی عوامل مهم مؤثر بر این هزینه‌ها و توسعه مدل‌هایی استفاده می‌شود که هزینه‌ها را در موقعیت‌های کلی‌تر برآورد می‌کند. نظرسنجی مشتری عمدتاً یک رویکرد تجربی است، درحالی‌که سایر رویکردها به شدت مبتنی بر مبانی نظری هستند (برنشتاین و هگازی[1] ۱۹۸۸). وو و ترین[2] (۱۹۸۸) هزینه‌های قطع برق گزارش شده توسط شرکت‌ها در شمال کالیفرنیا در سال ۱۹۸۳ را با استفاده از تکنیک رگرسیون تعمیم‌یافته مطالعه کردند. آن‌ها روشی را برای برآورد هزینه‌های قطع برق برای موارد غیر نمونه پیشنهاد کردند (چن و ولا ۱۹۹۴). سه رویکرد نخست کمتر در ادبیات علم اقتصاد مشاهده می‌شود و بر اساس موارد فوق‌الذکر، پژوهشگران حوزه دیسپاچینگ از سه رویکرد اول استفاده کرده‌اند. در ادامه به برخی مطالعات مهم که با رویکرد چهارم در علم اقتصاد انجام شده است، اشاره می‌شود چراکه در این مطالعات هزینه قطعی و کمبود برق از منظر اقتصادی سنجیده شده است.

در رویکرد داده- ستانده، اثرات کمبود برق بر اقتصاد به‌عنوان یک کل با استفاده از مدل وابستگی متقابل بین داده‌ها و ستانده‌های مختلف اقتصاد، با در نظر گرفتن پیوندهای بین بخش‌های اقتصادی و در نظر گرفتن هر دو بخش نهایی و میانی بردارهای تقاضا برآورد می‌شود وو و ترین و همکاران (۲۰۱۷). این رویکردی است که در این مقاله دنبال خواهیم کرد. برنشتاین و هگازی (۱۹۸۸) هزینه کمبود برق در مصر را با استفاده از ترکیب مدل داده-ستانده و برنامه‌ریزی خطی تخمین زدند و به این نتیجه رسیدند که کمبود برق به کل اقتصاد آسیب می‌رساند و بیشترین آسیب را به صنعت آلومینیوم وارد می‌کند. چن و ولا (۱۹۹۴) هزینه‌های کمبود برق را برای بخش‌های اقتصادی تایوان با استفاده از همان روش برآورد کردند. آن‌ها استدلال کردند که توابع هزینه خاموشی خطی نیستند و آن قطعی‌های کوتاه‌مدت هزینه‌های نسبتاً بالایی دارند.

1. Bernstein and Hegazy
2. Woo and Train

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

سرا و فیرو[1] (۱۹۹۷) هزینه قطع برق برای صنایع شیلی را با استفاده از روش حداقل مربعات برآورد کردند.

ذاکری و همکاران (۱۴۰۳) در پژوهش خود با عنوان «سناریوهای کمی مصرف انرژی برق در افق ۱۴۱۰: مطالعه موردی اصفهان»، با استفاده از داده‌های تجمیعی و تفکیکی مصرف برق اصفهان در سه بخش خانگی، صنعتی و کشاورزی، سناریوی پایه مصرف انرژی اصفهان در افق ۱۴۱۰ با کمک روش سری‌های زمانی استخراج شده است. نتایج این مقاله نشان می‌دهد سناریوها با کم‌کردن فاصله ذهنی مدیران با آینده و ایجاد بستری برای گفتگوهای راهبردی می‌توانند نقش مؤثری در اتخاذ تصمیم‌های راهبردی ایفا کنند. درنتیجه، درک روندها، چالش‌ها و فرصت‌های آینده در حوزه انرژی برق از اهمیت بالایی برخوردار است.

اعتصامی و همکاران (۱۴۰۲) در تحقیق خود پیرامون بررسی تأثیر عدم قطعیت مصرف برق بر نابرابری دهک‌های درآمدی در ایران با استفاده از رگرسیون فازی به نتایج مهمی با تکیه‌بر دهک‌های درآمدی دست‌یافته‌اند. در مقاله ایشان به بررسی تأثیر عدم قطعیت در توزیع مصرف برق بر ضریب جینی دهک‌های درآمدی در ایران برای دوره زمانی ۱۳۹۹- ۱۳۷۵ پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد که دامنه پهنای راست و چپ ضریب جینی تمام دهک‌های درآمدی به جز دهک چهارم، پنجم و هشتم تا سال ۱۳۹۰ انحراف قابل‌توجهی نداشته است؛ اما از سال ۱۳۹۰ به بعد دامنه انحراف پهنای راست و چپ افزایش یافته است که بیانگر افزایش نابرابری در توزیع درآمد در سال‌های مذکور است. این موضوع اهمیت توزیع مصرف برق را در کاهش نابرابری درآمد تا حد پهنای چپ بر توزیع درآمد برجسته می‌کند. ارزیابی نتایج نشان‌دهنده کارایی فوق‌العاده مدل رگرسیون با ضرایب فازی است.

صیادی و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی با عنوان «تحلیل علل و آثار ناترازی گازی کشور از منظر امنیت انرژی» به این مسئله پرداخته‌اند که به‌رغم برخورداری کشور از ذخایر عظیم گازی و افزایش تولید طی سال‌های اخیر، به دلیل دو روند نامطلوب افزایش نامتعارف مصرف داخلی گاز و افت تولید گاز در میدان راهبردی پارس جنوبی به‌عنوان اصلی‌ترین میدان گازی کشور (با سهم ۷۵ درصدی از کل تولید گاز کشور)،

1. Serra and Fierro

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

تراز گازی کشور هم‌اکنون در ماه‌های سرد سال دچار کسری شده است که قطعی گاز و برق در زمستان سنوات گذشته نمونه‌ای از این روند نامطلوب گازی است. طبق این ناترازی نویسندگان این مقاله پیشنهاد می‌کنند ضرورت مدیریت مصرف و بهینه‌سازی گاز در تمام بخش‌های مصرفی بیش‌ازپیش مهم است. ظرفیت بازار بهینه‌سازی مصرف گاز طبیعی (در بخش‌های نیروگاه‌ها، صنایع عمده، پالایشگاه‌ها، تجاری و خانگی) تا افق ۱۴۲۰ معادل ۵۰۲/۸ میلیون مترمکعب در روز (معادل ۱/۳ میلیون بشکه نفت خام در روز) برآورد شده است که ضرورت دارد به‌طور جدی موردتوجه قرار گیرد. بعلاوه، در این راستا، راهکارهایی ازجمله ۱) اعمال سیاست‌های مشوق استفاده از وسایل گازسوز با راندمان بالا،۲) استفاده از توان شرکت‌های داخلی برای توسعه میادین باقیمانده، ۳) عملیاتی نمودن سیاست‌های صرفه‌جویی در مصرف گاز، ۴) بومی کردن تولید کمپرسورهای تقویت فشار میادین با استفاده از تجربه بومی کردن ۱۰ گروه کالایی در صنعت نفت و ۵) الزام به رعایت استانداردهای مربوط به ساختمان به‌منظور کاهش اتلاف گاز بایستی در دستور کار مسئولین ذی‌ربط قرار گیرد.

گودرزی فراهانی و عادلی (۱۴۰۱) در مقاله علمی خود تأثیر تغییر در تعرفه برق بر مصرف برق مشترکین و متغیرهای کلان اقتصادی را با رویکرد تعادل عمومی پویای تصادفی (DSGE) بررسی نموده‌اند. نتایج مدل‌سازی آنها نشان داد. که با وارد شدن شوک قیمتی میزان مصرف برق در بخش خانگی نسبت به بخش صنعتی کاهش بیشتری داشته است. علاوه بر این شوک قیمتی منجر به افزایش در سرمایه‌گذاری، تولید ناخالص داخلی و مصرف در سطح اقتصاد کلان شده است. در واقع با لحاظ اثر قیمتی و درآمدی ناشی از این سیاست شاهد بهبود وضعیت صنعت برق و سایر متغیرهای کلان اقتصادی در یک دوره زمانی ۵ ساله بوده است.

شمسی (۱۴۰۱) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود تحت عنوان «نقش متغیر انرژی ایران در جنگ روسیه با اوکراین»، به این فرضیه پرداخته است که هم‌زمانی این جنگ با مذاکرات برجام، موقعیت خاص جغرافیایی و البته تأثیرپذیری از بازارهای جهانی کالاهای اساسی، در معرض پیامدهای منفی این بحران جهانی قرار دارد. همچنین این شانس را دارد که از فرصت‌های به وجود آمده ناشی از این بحران در راستای توسعه صادرات کشور بهره‌مند شود. نقش‌آفرینی فعال و مؤثر دولت ایران

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

نیازمند اتخاذ یک رویکرد هدفمند و برنامه‌ریزی‌شده در این خصوص است. نتایج این بررسی نشان داده که جنگ روسیه و اوکراین موجب شده تا با شوک عرضه گاز از سوی روسیه، کشورهای اروپایی در وضعیت نامناسبی قرار بگیرند. از سوی دیگر از استراتژی‌های روسیه، افزایش روابط با کشورهای مخالف جریان غربی، یعنی ایران و چین است. نگرانی ناشی از قطع گاز، اروپایی‌ها را به سمت تنوع مشتریان، بهره‌گیری بیش‌ازپیش از انرژی‌های تجدیدپذیر و صرفه‌جویی در مصرف سوق داده است. ایران با دارا بودن ذخایر عظیم انرژی گزینه مناسبی برای تأمین انرژی اروپا می‌باشد. همین موضوع توسط کارشناسان و مقامات اروپایی و ایرانی مطرح‌شده است. از منظر صادرات گاز، تغییر مسیر صادراتی روسیه از اروپا به آسیا در میان‌مدت اجتناب‌ناپذیر است، اما با ادامه ناترازی گاز در ایران و قطع مکرر صادرات، این تغییر استراتژی روسیه به قیمت تصاحب بازارهای فعلی صادرات ایران (ترکیه و عراق) تمام می‌شود. در این راستا، ۱- به‌کارگیری دیپلماسی فعال انرژی برای حفظ مشتریان راهبردی نفتی ازجمله چین و هند، ۲- استفاده از تهاتر کالا بین ایران و روسیه با توجه به شرایط و مقتضیات کنونی و ۳- توجه به نظم جدید بازار گاز و برنامه‌ریزی برای تولید و صادرات ال. ان. جی در میان‌مدت توصیه می‌شود.

پورعبادالهان کویچ و همکاران (۱۳۹۸) در مقاله‌ای به ارائه الگویی برای مقررات‌گذاری اقتصادی شرکت‌های توزیع برق ایران با انتخاب روش سقف درآمد برای مقررات‌گذاری شرکت‌های توزیع برق به این مهم پرداخته‌اند. نتایج تعمیمی این مقاله گواه بر آن است که با توجه به اینکه بخش انگیزشی این رویکرد، در هزینه‌های عملیاتی قرار دارد و با عنایت به این مسئله که هزینه‌های عملیاتی بخش بزرگی از کل هزینه‌های توزیع برق را شامل می‌شوند، هزینه‌های عملیاتی کارا برای شرکت‌های توزیع برق ایران طی سال ۱۳۹۵ محاسبه گردیده است که مطابق رویکرد طراحی شده می‌تواند برای سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۹۶ بسط یابد.

آرندیان و محمدی اردهالی (۱۳۹۷) در تحقیق خود به موضوع بهینه‌سازی اندازه، مکان و بهره‌برداری از فن‌آوری‌های مختلف سیستم‌های تولید هم‌زمان برق و حرارت پرداخته‌اند و با استفاده از الگوریتم هوشمند ترکیبی جدیدی بر مبنای الگوریتم‌های جهش قورباغه متحرک و اجتماع پرندگان این مسئله را مدل‌سازی کرده‌اند. نتایج

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

شبیه‌سازی آنها نشان داده که استفاده ترکیبی از فن‌آوری‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در سیستم‌های تولید هم‌زمان برق و حرارت باعث افزایش سود سالیانه بهره‌بردار شبکه به میزان ۱۳۴۹۳۷/۰۹ دلار می‌شود. همچنین لحاظ نمودن قیود زیست‌محیطی باعث می‌گردد سیستم تولید هم‌زمان برق و حرارت مبتنی بر فن‌آوری موتور احتراق داخلی در ترکیب بهینه فن‌آوری‌ها نقشی نداشته باشد.

خداداد کاشی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از رویکرد مدل‌سازی بیزین اقدام به پویایی کارایی در تنظیم شرکت‌های توزیع برق ایران کرده‌اند. نتایج این مقاله نشان داد که برای تنظیم روش‌های مختلفی مانند تنظیم نرخ بازده، انگیزشی وجود دارد که در بسیاری از این روش‌ها به عنصر بهره‌وری و کارایی بنگاه‌ها توجه می‌شود؛ اما کارایی به‌دست‌آمده از روش‌های ایستای مرسوم؛ عمدتاً عملکرد کوتاه‌مدت را منعکس می‌کند و تنها یک تصویر کوچک از مسیر حرکت شرکت به سمت تعادل بلندمدت ارائه می‌کند. پس از سرمایه‌گذاری شرکت‌ها؛ عوامل مؤثر بر رفتار کوتاه‌مدت شرکت ممکن است بلافاصله تطبیق نشود که در این موارد، عدم کارایی کوتاه‌مدت ناشی از سرمایه‌گذاری به دوره‌های بعدی منتقل خواهد شد. این اثر ناشی از هزینه‌های تعدیل سرمایه و یا ظرفیت تولید است و در کوتاه‌مدت باعث کاهش کارایی شرکت‌ها می‌گردد و باید در تنظیم لحاظ گردد. در این مقاله کارایی پویای ۳۹ شرکت توزیع برق ایران در طی دوره ۱۳۹۴-۱۳۸۶ با روش تابع فاصله محاسبه شد. به منظور برآورد توزیع پسین پارامترهای مدل؛ از شبیه‌سازی بر اساس زنجیره مارکوف مونت‌کارلو (MCMC) استفاده شد. نتایج مقاله ایشان نشان می‌دهد که عوامل محیطی بر کارایی شرکت‌ها تأثیر دارند. کارایی متوسط صنعت از ۶۷ درصد به ۷۰ درصد افزایش یافته و میل به تداوم ناکارایی در طی دوره ۹۲ درصد بوده است.

نویج و همکاران[1] (۲۰۰۷) ارزش امنیت عرضه برق را برای تعیین سطح امنیت عرضه بهینه اجتماعی مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها هزینه قطع برق برای هلند را از نظر بهره‌وری و تلفات اوقات فراغت تخمین زدند. کاترگا[2] (۲۰۰۹) از روش ارزش‌گذاری مشروط برای تخمین مصرف برق در سه روستای اوگاندا استفاده کرد. لیهی و تول[3]

1. Nooij
2. Kateregga
3. Leahy and Tol

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

(۲۰۱۱)، با استفاده از رویکرد عامل تولید، زیان اقتصادی کمبود برق را به دلیل کاهش فعالیت‌های تولیدی و اوقات فراغت برای خانوارها برآورد کردند. سان کریستوبال[1] (۲۰۱۲) یک مدل برنامه‌ریزی هدف را ایجاد کرد که عوامل اقتصادی، مالی، اجتماعی و محیطی را با استفاده از یک رویکرد برنامه‌ریزی خطی داده ستانده ادغام می‌کند و آن را در اقتصاد اسپانیا به کار برد. این مدل اطلاعات ارزشمندی را در اختیار سیاست‌گذاران قرار می‌دهد تا اهداف مورد نیاز برای پایداری را شناسایی کنند. کارپیو و وسکونسل[2] (۲۰۱۵) هزینه‌های کمبود برق در برزیل را با استفاده از مدل استاندارد داده-ستانده برای محاسبه پیوندهای قوی بین برق برزیل و سایر بخش‌های اقتصادی برآورد کردند. بوری و اسد[3] (۲۰۱۶) هزینه‌های اقتصادی قطع برق در لبنان را برای سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۰۹ برآورد کردند. جو[4] و همکاران (۲۰۱۶) از مدل داده - ستانده برای برآورد هزینه کمبود برق در کره و شناسایی بهترین راه برای تخصیص برق ناکافی تولید شده در بین صنایع مختلف و درعین‌حال به حداکثر رساندن ارزش‌افزوده کل استفاده کردند. او و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل داده ستانده-برنامه‌ریزی خطی را برای مطالعه تاب‌آوری اقتصاد در برابر شوک‌های عرضه برق و بازیابی پس از هرگونه اختلال در عرضه برق ایجاد نمودند.

در سال‌های اخیر کمبود برق، قطعی برق و وضعیت برق در اقتصاد مورد بررسی قرار گرفته است. شیواکومار[5] و همکاران (۲۰۱۷) از یک تابع تولید برای تخمین میانگین سالانه VoLL برای خانوارها در تمام ۲۸ کشور عضو اتحادیه اروپا استفاده کرد. هاشمی و همکاران (۲۰۱۸) هزینه صنعت قطع برق در نپال را ارزیابی نمودند. بوتلهو[6] (۲۰۱۹) اثرات اقتصادی قطع برق را برآورد کرد. نیرومند و جنکینز[7] (۲۰۲۰) تمایل خانوارها و مشاغل را برای پرداخت هزینه برای قابلیت اطمینان بهبود یافته تأمین برق در نپال برآورد کردند. علی و همکاران (۲۰۲۰) تأثیر مصرف برق بر رشد اقتصادی را از طریق VECM و ANN اندازه‌گیری نمودند. لقمان و همکاران (۲۰۲۱) تأثیر قطع برق بر

1. San Cristóbal
2. Vasconcelos & Carpio
3. Bouri and Al Assad
4. Ju
5. Shivakumar
6. Botelho
7. Niroomand and Jenkins

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

کارایی فنی شرکت‌ها در کشورهای منتخب جنوب آسیا را بررسی کردند. میرنظامی و رجبی (۲۰۲۰) نشان دادند که چگونه آخرین بیماری همه‌گیر (COVID-19) می‌تواند مصرف برق را در کشورهای اروپایی کاهش دهد. هاشمی (۲۰۲۱) ارزش اقتصادی برق تأمین نشده را برای نپال برآورد کرد. عباسی و همکاران (۲۰۲۱) مصرف برق، قیمت و تولید ناخالص داخلی واقعی پاکستان را مورد بازبینی قرار دادند.

طبق بررسی پژوهش‌های این حوزه، مقاله پیش رو از چهار جنبه دارای نوآوری است که عبارتند از:

- بر اساس بررسی‌های موجود، در کشور ایران برای قطع برق صنایع یا خانوارها و صنوف تجاری و... برنامه دیسپاچینگ صرفاً برنامه‌ای مهندسی-فنی بوده و فاقد رویکردهای اقتصادی است. این مقاله در تلاش است تا هزینه و تبعات اقتصادی اعمال خاموشی به هر بخش اقتصادی را محاسبه و نشان دهد تا بدین طریق شوک کمبود انرژی موجب خلل در ثبات امنیت اقتصادی و امنیت انرژی کشور نشود.
- هرچند، بخش برق در بیشتر کشورها، صنعت بزرگی محسوب می‌شود، اما مدل‌سازی تعادل جزئی دارای نارسایی‌های مهم به‌خصوص در بعد اقتصادی است. لذا در این مدل‌سازی از چارچوب داده-ستانده که در شمول رویکردهای تعادل عمومی اقتصاد است، تعریف می‌شود تا تمامی روابط اثرگذاری و اثرپذیری اقتصاد ایران را در شوک یک بخش (کمبود برق) لحاظ نماید.
- در این پژوهش تلاش شده است بخش‌های جدول داده-ستانده اقتصاد ایران برخلاف برخی مدل‌سازی‌های اقتصادی، تجمیع به بلوک‌های چهارگانه (بلوک کشاورزی، بلوک انرژی، بلوک صنعت و بلوک خدمات) نشود و به‌تفصیل بخش‌های ۳۸ گانه اقتصاد ایران بررسی شده و تأثر هریک از کمبود برق محاسبه گردد.
- با استفاده از روش پژوهش این تحقیق نارسایی‌های شبیه‌سازی داده-ستانده از طریق به‌کارگیری مدل بهینه‌سازی رفع شده و ایرادات وارد بر شبیه‌سازی صرف، به مدل هیبریدی شبیه‌سازی و بهینه‌سازی ارتقا یافته است.

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

۳- روش‌شناسی و داده‌های پژوهش

در این پژوهش از ترکیب مدل داده-ستانده (IO) و تکنیک برنامه‌ریزی خطی (برنامه‌ریزی خطی) برای تخمین هزینه‌های قطع برق استفاده می‌شود. جدول داده ستانده، ستانده نهایی را به ماتریسی از ضرایب فنی و بردار تقاضای نهایی تفکیک می‌کند؛ بنابراین، مدل مذکور پیوندهای بین مجموعه‌ای از فعالیت‌های اقتصادی را به‌صورت ماتریسی نشان می‌دهد.

از سال ۱۹۶۰، برنامه‌ریزی خطی برای سیستم‌های داده-ستانده با در نظر گرفتن سیستم‌های قیمت‌گذاری به‌عنوان مجموعه‌ای از محدودیت‌ها (قیود) توسعه یافته است (الیویرا[1] و همکاران ۲۰۱۶). در این مطالعه، روش چن و ولا در جدول داده- ستانده ایران برای سال ۱۳۹۷ اعمال شده است.

اگر مجموع ستانده کل بخش i را با xi و مصرفی نهایی برای محصول بخش i را با fi نشان دهیم، می‌توان یک معادله حسابداری ساده نوشت که نشان می‌دهد چگونه ستانده بخش i به سایر بخش‌ها و تقاضای نهایی اختصاص داده می‌شود. (میلر و بلر). ۲۰۰۹):

$$x_i = z_{i1} + \ldots + z_{ij} + f_i = \sum_{j=1}^{n} z_{ij} + f_i \qquad (1)$$

ما می‌توانیم رابطه متقابل بین n بخش را به‌صورت زیر نشان دهیم:

$$x_i = \sum_{j=1}^{n} X_{ij} + F_i = \sum_{j=1}^{n} a_{ij} X_j + F_i \qquad (2)$$

Xij تقاضای میانی بخش j برای ستانده بخش i است و aij مقدار ثابتی است که مقدار ستانده بخش i مورد نیاز برای تولید هر واحد از ستانده بخش j را نشان می‌دهد. معادله (۲) را می‌توان به صورت ماتریسی به صورت زیر نوشت:

$$X = AX + F \qquad (3)$$

1. Oliveira

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

در جایی که X بردار ستانده‌های تولید شده توسط همه بخش‌های اقتصادی است، A ماتریسی شامل تمام ضرایب فنی aij و F بردار تقاضای نهایی همه بخش‌ها است. اگر بردار واردات را با M نشان دهیم، می‌توانیم معادله ۳ را به صورت زیر بازنویسی کنیم:

$$(I - A)X = F - M \quad (4)$$

برای مطالعه تأثیر بخش برق (E)، به‌عنوان nامین فعالیت در جدول داده ستانده تعیین شده است؛ بنابراین جدول را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

			Final Demand			Output
	Non-Electricity Sectors	Electricity Sector	Intermediate Demand	Import	Export	
Non-Electricity Sectors	$\begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{nn} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} x_{1E} \\ \vdots \\ x_{nE} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} F_1 \\ \vdots \\ F_n \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} B_1 \\ \vdots \\ B_n \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} M_1 \\ \vdots \\ M_n \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix}$
Electricity Sector	$\begin{bmatrix} x_{E1} & \cdots & x_{En} \end{bmatrix}$	x_E	F_E	B_E	M_E	X_E
Value Added	$\begin{bmatrix} V_1 & \cdots & V_n \end{bmatrix}$	V_E				
Output	$\begin{bmatrix} X_1 & \cdots & X_n \end{bmatrix}$	X_E				

در فرم ماتریسی داریم:

$$\begin{bmatrix} (I - \hat{A}) & -\alpha \\ -e & 1-f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{X} \\ E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{F} \\ F_E \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \hat{M} \\ M_E \end{bmatrix} \quad (5)$$

که در آن:

I	ماتریس واحد
$\hat{A}$	ماتریس ضرایب فنی سایر بخش‌ها
α	ستون برق برای بخشه‌ای غیربرق
e	ردیف برق برای بخشه‌ای غیربرق

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

f	خودمصرفی برق
E	ستانده برق
$\hat{X}$	ستانده غیر برق
$\hat{F}$	تقاضای نهایی بخش‌ها به جز برق
F_E	تقاضای نهایی برق
$\hat{M}$	واردات بخش‌ها به جز برق
M_E	واردات برق

اکنون معادله (۵) را بازنویسی می‌کنیم. به‌عنوان:

$$\hat{X} = (I - \hat{A})^{-1}\alpha E + (I - \hat{A})^{-1}(\hat{F} - \hat{M}) \quad (6a)$$

$$F_E = \left[1 - f - e(I - \hat{A})^{-1}\alpha\right]E - e(I - \hat{A})^{-1}(\hat{F} - \hat{M}) + M_E \quad (6b)$$

برای تعیین تخصیص بهینه کمبود تولید برق در میان بخش‌های مختلف، چن و ولا (۱۹۹۴) روشی را بر اساس حداکثر کردن کل ارزش‌افزوده با در نظر گرفتن جدول داده ستانده پیشنهاد کردند:

$$\text{Maximize: } TB = \hat{V}\hat{X} + V_E E$$

S.t:

$$(I - \begin{bmatrix} \hat{a}_{11} & \cdots & \hat{a}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{a}_{n1} & \cdots & \hat{a}_{nn} \end{bmatrix})\begin{bmatrix} \hat{X}_1 \\ \vdots \\ \hat{X}_n \end{bmatrix} = \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} a_{1n} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{1n} & \cdots & a_{1n} \end{bmatrix}E + (\begin{bmatrix} \hat{F}_1 \\ \vdots \\ \hat{F}_n \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \hat{M}_1 \\ \vdots \\ \hat{M}_n \end{bmatrix}) - \begin{bmatrix} e_1 & \cdots & e_n \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \hat{X}_1 \\ \vdots \\ \hat{X}_n \end{bmatrix} - F_E$$

$$= (f - 1)E - M_E$$

$$0 \le \hat{F} \le \hat{F}^0 \quad (8)$$

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

$$0 \le \hat{X} \le \hat{X}^{0} \quad (9)$$

$$0 \le F_E \le F_E^0 \quad (10)$$

بنابراین

$$K = (1-A)^{-1}\alpha \quad \varepsilon = -e(1-A)^{-1}$$
$$\theta = 1 - f + \varepsilon\alpha \quad C_E = M_E - \varepsilon M \quad (11)$$

با بازنویسی معادلات a۶ و b۶ را داریم:

$$X = KE + (1-A)^{-1}(F-M) \quad (12)$$

$$F_E = \theta E + C_E + \varepsilon F \quad (13)$$

معادله ۱۲ را در معادله ۷ جایگزین می‌کنیم:

$$VX + V_E E = (VK + V_E)E + V(1-A)^{-1}(F-M) \quad (14)$$

پس واضح است که با جایگذاری چهار معادله شماره ۱۱ در فرمول شماره ۱۴ تابع هدف را در برنامه‌ریزی خطی به شرح ذیل خواهیم داشت:

$$TB = VX + V_E E = \omega F + QE - C_M \quad (15)$$

فرض کنید کمبود برق در مدت زمان کوتاهی اتفاق بیفتد که به دلیل محدودیت ظرفیت وارداتی و سایر عوامل، میزان واردات M قابل تغییر نباشد و C_M ثابت فرض شود. ازآنجایی‌که $\omega = [\omega_j]$ یک بردار ثابت است و Q هم ثابت است، سود بهینه یک اقتصاد تحت تأثیر ضرایب ω و F قرار می‌گیرد. از این مرحله ضریب ω_j، ارزش بخش j را خوانده می‌شود. تقاضای نهایی بخش با بالاترین ضریب ارزش، بیشترین ارزش‌افزوده را ایجاد خواهد کرد؛ بنابراین، هنگامی‌که با مشکلات برآورده کردن تمام تقاضا مواجه می‌شویم، شرکت برق با نگاهی اقتصادی، ابتدا عرضه آن بخش‌هایی را که دارای ضریب ارزش کمتری هستند، کاهش می‌دهد. با توجه به مجموعه‌ای از F_i، X و F_E، می‌توان

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

معادلات ۱۲ و ۱۳ را تعیین کرد. از رابطه ضریب فنی هم می‌توان برق توزیع شده به X_i و $e_i X_i$ را برآورد کرد. در نهایت دو روش برای تخمین هزینه کمبود برق وجود دارد:

سناریوی اقتصادی (مرکز دیسپاچینگ اجازه قطع برق خانوارها را داشته باشد)

بر این اساس فرض می‌شود تنها معیار، حداکثر کردن ارزش‌افزوده کل باشد، در این صورت مصرف‌کنندگان در تقاضای نهایی اولین هدف برای قطع برق خواهند بود. راه‌حل بهینه را می‌توان از روش زیر به دست آورد.

بر اساس ضرایب فزاینده محاسبه‌شده در معادله ۱۳، بخش‌های جدول داده-ستانده را ابتدا مرتب کرده و در ادامه طبق مراحل ذیل قدم‌به‌قدم پیش می‌رویم تا محاسبه هزینه کمبود برق به دست آید:

$$F_E = \theta E^{\circ}(1-S) + \sum_{k=1}^{n-1} \varepsilon_k F_k + C_E \qquad (16)$$

معادله فوق را می‌توان مجدداً به صورت زیر بیان کرد:

$$S = 1 - \frac{F_E}{\theta E^{\circ}} + \frac{C_E}{\theta E^{\circ}} + \sum_{k=1}^{n-1} \frac{\varepsilon_k F_k}{\theta E^{\circ}} \qquad (17)$$

تقاضای نهایی بخش‌های مختلف را تحت شرایط مناسب به‌عنوان $F^{\circ}_E, F^{\circ}_{n-1}, F^{\circ}_{n-2}, \ldots, F^{\circ}_1$ زمانی که $S = 0, F_E = F^{\circ}_E, F_k = F^{\circ}_k \ (k = 1, 2, \ldots, n-1),$ باشد می‌توان در نظر گرفت؛ بنابراین:

$$\frac{F^{\circ}_E}{\theta E^{\circ}} - \frac{C_E}{\theta E^{\circ}} - \sum_{k=1}^{n-1} \frac{\varepsilon_k F^{\circ}_k}{\theta E^{\circ}} = 1 \qquad (18)$$

سپس

$$\gamma = \frac{1}{\theta E^{\circ}} \qquad (19)$$

$$\gamma_k = \frac{\varepsilon_k}{\theta E^{\circ}} \qquad k = 1, 2, \ldots, n-1 \qquad (20)$$

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

معادله ۱۸ را با معادله ۱۷ جایگزین کرده سپس رابطه بین درصد کمبود و تقاضای نهایی به دست می‌آید:

$$S = \gamma(F^{\circ}_{E} - F_{E}) - \left[\sum_{k=1}^{n-1}\gamma_{k}(F^{\circ}_{k} - F_{k})\right] \qquad (21)$$

با افزایش درصد کمبود، مرکز دیسپاچینگ ابتدا برق مصرف‌کنندگان نهایی (خانوارها، بخش عمومی و... که در چرخه تولید نیستند و به عبارتی تقاضاکنندگان نهایی هستند) را قطع می‌کند تا ارزش‌افزوده و GDP را در این شرایط کمبود به حداکثر برساند. از نظر تئوری، اولین اقدام کاهشی می‌تواند تا $F_{E} = 0$ ادامه داشته باشد. اگر تقاضای برق همچنان بالاتر از عرضه باشد، دومین کاهش برای تحمیل کاهش بر تقاضای نهایی بخشی با کمترین ضریب ارزش انجام می‌شود. این مراحل عبارت‌اند از:

$$\begin{aligned}
S_{E} &= \gamma_{E}F^{\circ}_{E} \\
S_{1} &= \gamma_{E}F^{\circ}_{E} - \gamma_{1}F^{\circ}_{1} \\
S_{t} &= \gamma_{E}F^{\circ}_{E} - \sum_{k=1}^{t}\gamma_{k}F^{\circ}_{k} \\
&\vdots \\
S_{n-1} &= \gamma_{E}F^{\circ}_{E} - \sum_{k=1}^{n-1}\gamma_{k}F^{\circ}_{k}
\end{aligned} \qquad (22)$$

در مرحله t، راه‌حل بهینه برای F عبارت است از:

$$\begin{aligned}
F_{k} &= 0 \qquad \text{for} \quad k \le t \\
&= F^{\circ}_{k} \qquad \text{for} \quad k > t
\end{aligned} \qquad (23)$$

از معادله ۱۲، عناصر $(1-A)^{-1}$ را به‌عنوان β و سپس $(1-A)^{-1}M$ را به‌عنوان m آن نشان داده، سپس ستانده بخش i در این مرحله عبارت است از:

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

$$X_i^t = K_i E - m_i + \sum_{k=1}^{n-1} \beta_{ik} F_k$$
$$= K_i (1 - S_t) E^\circ - m_i + \sum_{k=t+1}^{n-1} \beta_{ik} F^\circ_K \qquad (24)$$
$$i = 1, 2, \ldots, n-1 \qquad X_i \geq 0$$

از معادله ۱۵، سود کل در مرحله t عبارت است از:

$$TB_t = TB^\circ - \sum_{k=1}^{t} \omega_k F^\circ_k - Q\Delta E \qquad (25)$$

کاهش در تولید بخش (X_i)، برق (E) و سود کل (TB) از مرحله t-1 به t به دست می‌آید:

$$\Delta X_i^t = K_i \Delta E_t - \beta_{it} F^\circ_t \qquad i = 1, 2, \ldots, n-1$$
$$\Delta E_t = (S_{t-1} - S_t) E^\circ = \gamma_t F^\circ_t E^\circ = \frac{\varepsilon_t F^\circ_t}{\theta} \qquad (26)$$
$$\Delta TB_t = Q\gamma_t F^\circ_t E^\circ - \omega_t F^\circ_t = -F^\circ_t (\omega_t - Q\gamma_t E^\circ)$$

بر اساس فرض ضرایب فنی ثابت، عرضه برق به بخش i برای تولید X_i، $e_i X_i$ خواهد بود و سیاست کاهش بهینه در مرحله t، $e_i (X^\circ_i - X_i)$ خواهد بود. تحت چنین سیاستی، تولید حاشیه‌ای را می‌توان به شرح زیر یافت:

$$MX_i^t = \frac{\Delta X_i^t}{\Delta E_t} = K_i - \frac{\theta \beta_{it}}{\varepsilon_t} \qquad (27)$$

و سود (هزینه) حاشیه‌ای کمبود برق به صورت تخمین زده می‌شود:

$$MB_t = \frac{\Delta TB_t}{\Delta E_t} = Q - \frac{\theta \omega_t}{\varepsilon_t} \qquad (28)$$

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

سناریوی غیراقتصادی (مرکز دیسپاچینگ مجوز قطع برق خانوارها را نداشته باشد)

تا این مرحله، محدودیت خاصی برای اعمال و توزیع کمبود برق وجود نداشت و مدل‌سازی بر این اساس پیش رفت که شرکت برق این اختیار را دارد که طبق شرایط تولید و اقتصاد جامعه برق صنوف مختلف و یا حتی خانوارها را قطع کند؛ اما در این مرحله سناریوی واقعی‌تری را در نظر می‌گیریم. سناریویی که با ملاحظات غیراقتصادی از آن یاد خواهیم نمود. بر اساس این سناریو به دلیل عوارض ناشی از خاموشی و افزایش سطح نارضایتی مردم، مرکز دیسپاچینگ اجازه قطعی برق خانوارها (تقاضای نهایی) را ندارد و می‌بایست هر مقدار کمبود برق را صرفاً میان بخش‌های تولیدی اقتصاد توزیع نماید. فرض کنید که به دلیل سایر ملاحظات غیراقتصادی، تقاضای نهایی نمی‌تواند بیش از یک درصد معین کاهش یابد، مثلاً σ، سپس F در محدوده $(1-\sigma)F^{\circ} \le F \le F^{\circ}$. سپس درصد کمبود در هر مرحله را می‌توان به صورت زیر فرموله کرد:

$$
\begin{aligned}
S_E &= \sigma_E \gamma_E F^{\circ}_E \\
S_1 &= \sigma_E \gamma_E F^{\circ}_E - \sigma_1 \gamma_1 F^{\circ}_1 \\
S_t &= \sigma_E \gamma_E F^{\circ}_E - \sum_{k=1}^{t} \sigma_E \gamma_k F^{\circ}_k \\
&\vdots \\
S_{n-1} &= \sigma_E \gamma_E F^{\circ}_E - \sum_{k=1}^{n-1} \sigma_E \gamma_k F^{\circ}_k
\end{aligned}
\qquad (29)
$$

برآورد سود کل در مرحله t می‌شود:

$$
TB_t = TB^{\circ} - \sum_{k=1}^{t} \omega_k F^{\circ}_k \sigma_k - Q\Delta E \qquad (30)
$$

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

متغیر مستقل بدین ترتیب بازنویسی می‌گردد:

$$\Delta X_i^t = K_i \Delta E_t - \sigma_t \beta_{it} F^\circ_t$$
$$\Delta E_t = (S_{t-1} - S_t) E^\circ = \frac{\rho_t \sigma_t F^\circ_t}{\theta} \quad (31)$$
$$\Delta TB_t = -\sigma_t F^\circ_t (\omega_t - Q\gamma_t E^\circ)$$

با حل مسئله، تابع هدف به صورت زیر مشخص می‌شود:

$$MX_i^t = \frac{\Delta X_i^t}{\Delta E_t} = K_i - \frac{\theta \beta_{it}}{\varepsilon_t} \quad (3211)$$

علاوه بر این، هزینه/فایده نهایی کمبود برق به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$MB_t = \frac{\Delta TB_t}{\Delta E_t} = Q - \frac{\theta \omega_t}{\varepsilon_t} \quad (3312)$$

که در آن:

$$\omega = \hat{V}(I - \hat{A})^{-1} \quad (3413)$$

$$C_M = \omega \hat{M} \quad (35)$$

$$Q = \hat{V} K + V_E = \omega \alpha + V_E \quad (36)$$

$$\varepsilon = -e(I - \hat{A})^{-1} \quad (37)$$

۴- کاربرد برای اقتصاد ایران

برنامه‌ریزی خطی بر اساس قیود در معادلات (۲۷) تا (۳۳) تشریح و بر اساس سال ۱۳۹۷ در نرم‌افزار میپل[1] محاسبه‌شده است که و ورودی‌ها و خروجی‌های آن توسط یک افزونه خاص به نرم‌افزار ماکروسافت اکسل نسخه ۲۰۱۳[2] مرتبط شدند تا سوپرماتریس داده ستانده محاسبه شود. جدول داده-ستانده اقتصاد ایران به ۳۸ صنعت تقسیم شده

1. Maple® 2018
2. Microsoft Office Excel® 2013

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

است. صنایعی که از ۱ تا ۳۷ شماره‌گذاری شده‌اند شامل بخش‌های غیر برق هستند و صنعت برق شماره ۳۸ است.

جدول ۲.ضرایب ارزش کلیه بخشه‌ای غیربرق

رتبه	شماره	نام بخش	ضریب ارزش
۱	۴	معدن کاری	۰/۰۹۷۰
۲	۲	معدن زغال‌سنگ و لیگنیت	۰/۱۶۱۰
۳	۱۵	تولید تجهیزات برقی	۰/۲۳۸۴
۴	۱۴	ساخت محصولات فلزی	۰/۲۶۱۰
۵	۱۶	ساخت وسایل نقلیه موتوری، تریلر و نیمه تریلر و دیگر تجهیزات حمل‌ونقل	۰/۲۷۰۱
۶	۲۴	حمل‌ونقل هوایی	۰/۵۳۰۶
۷	۱۱	ساخت محصولات از پلاستیک و لاستیک	۰/۵۵۸۹
۸	۱۰	تولید فرآورده‌های اساسی دارویی و فرآورده‌های دارویی	۰/۶۳۱۳
۹	۱۲	ساخت شیشه و محصولات شیشه‌ای	۰/۶۶۲۵
۱۰	۷	ساخت چوب و کاغذ	۰/۶۷۱۹
۱۱	۲۰	عمده‌فروشی و خرده‌فروشی	۰/۷۱۶۰
۱۲	۶	تولید منسوجات، فرش و پوشاک	۰/۷۲۳۶
۱۳	۵	تولید مواد غذایی، نوشیدنی و محصولات تنباکو	۰/۷۴۶۳
۱۴	۱۳	تولید محصولات معدنی غیرفلزی.n.e.c	۰/۷۵۵۲
۱۵	۱	کشاورزی	۰/۷۶۳۴
۱۶	۱۹	ساخت ساختمان	۰/۷۹۰۳
۱۷	۹	ساخت مواد و فراورده‌های شیمیایی	۰/۸۰۹۰
۱۸	۱۸	تأمین آب؛ فاضلاب، مدیریت پسماند و فعالیت‌های اصلاحی	۰/۸۸۳۹
۱۹	۳۴	دفاع و فعالیت‌های امنیتی	۰/۸۹۳۹
۲۰	۲۵	فعالیت‌های پستی	۰/۸۹۹۳
۲۱	۲۳	حمل‌ونقل آبی	۰/۹۰۹۲
۲۲	۲۷	فعالیت‌های خدمات غذایی	۰/۹۱۰۵
۲۳	۳۲	فعالیت‌های دامپزشکی	۰/۹۱۷۵
۲۴	۳۷	هنر، سرگرمی، تفریح و سایر فعالیت‌های سرگرمی	۰/۹۲۷۱
۲۵	۳۱	فعالیت‌های علمی و حرفه‌ای	۰/۹۲۸۷
۲۶	۲۱	حمل‌ونقل زمینی و فعالیت‌های پشتیبانی برای حمل‌ونقل	۰/۹۳۲۷
۲۷	۲۸	اطلاعات و ارتباطات	۰/۹۳۳۱
۲۸	۲۶	اقامتگاه‌ها	۰/۹۴۱۷

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

رتبه	شماره	نام بخش	ضریب ارزش
۲۹	۸	ساخت کک، فرآورده‌های نفتی پالایشی	۰/۹۵۰۷
۳۰	۳۶	فعالیت‌های سلامت انسان	۰/۹۵۱۹
۳۱	۳	استخراج نفت خام و گاز طبیعی	۰/۹۵۵۴
۳۲	۳۳	امور عمومی	۰/۹۵۶۴
۳۳	۲۲	حمل‌ونقل از طریق خطوط لوله	۰/۹۶۴۶
۳۴	۳۵	تحصیل	۰/۹۶۸۵
۳۵	۳۰	خدمات دلالان املاک	۰/۹۶۹۱
۳۶	۲۹	بانک، مالی و فعالیت‌های بیمه‌ای	۰/۹۷۱۴
۳۷	۱۷	تولید گاز؛ توزیع گازوئیل از طریق شبکه	۰/۹۸۴۱

ضرایب ارزش کلیه بخش‌های غیربرق در جدول (۲) بر اساس جدول داده‌ستانده معاملات بین صنعتی ایران برای سال ۱۳۹۷ گزارش شده است. در بین این صنایع، بخش شماره ۱۷ «تولید و توزیع سوخت‌های گازی» دارای حداکثر ضریب ارزش ۰/۹۸۴۱ است. به این معنی که هر ریال ستانده که این بخش به تقاضای نهایی عرضه می‌کند، ارزش‌افزوده برابر ۰/۹۸۴۱ ریال برای اقتصاد ایران ایجاد می‌کند. بخش‌های «بانک، فعالیت‌های مالی و بیمه» و «فعالیت‌های املاک» بالاترین ضریب ارزشی بعدی را دارند. بخش شماره ۴، «معدن» دارای حداقل ضریب مقدار ۰/۰۹۷ است. هزینه‌های حاشیه‌ای برق عرضه نشده[1] که تحت دو گزینه (تخصیص بر اساس ملاحظات اقتصادی در مقابل تخصیص بر اساس ملاحظات غیراقتصادی) فرض شده‌اند، با استفاده از رابطه (۱۲) محاسبه شده و در جدول (۳) گزارش شده است.

هزینه کسری برق در دو سناریو محاسبه می‌شود:

سناریوی اول: بر اساس ملاحظات اقتصادی (سناریو اقتصادی)، شرکت برق می‌توانند برق مصرف‌کنندگان نهایی را نیز کاهش دهند. حداکثر درصد کاهش برای عرضه‌های بخشی به تقاضای نهایی، ٪۲۰ = σ در نظر گرفته می‌شود.

سناریوی دوم: به دلایل غیراقتصادی (مانند سیاست‌های دولت، تصمیمات دولتی، نارضایتی اجتماعی و غیره)، شرکت برق مجاز به محدود کردن برق برای

1. Marginal costs of unsupplied electricity

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

مصرف‌کنندگان تقاضای نهایی (خانوارها) نیست و مانند سناریوی یک، حداکثر درصد کاهش برای عرضه بخشی به تقاضای نهایی ۲۰٪= σ فرض می‌شود.

در هر مورد، فرض می‌شود که از سیاست‌های تخصیص بهینه استفاده می‌شود. هزینه‌های حاشیه‌ای کمبود تحت درصدهای مختلف کسری مطابق جدول (۳) نشان داده شده است. توزیع بهینه برق به بخش‌ها و تولید بخش مربوطه را نیز می‌توان از برنامه داده- ستانده تخمین زد.

هم در زمینه داده-ستانده و هم در حساب‌های ملی، ارقام عموماً به صورت پولی هستند (نه فیزیکی). برای اطلاع از هزینه‌های کسری برق به ازای هر کیلووات ساعت، هزینه‌های محاسبه شده بر میانگین قیمت فروش برق در سال ۱۳۹۷، رقمی معادل ۷۲۰۹ ریال بر کیلووات ساعت تقسیم می‌شود.

جدول ۳. هزینه اقتصادی کمبود برق با فرض $\sigma = 20\%$

گام	شماره بخش	ملاحظات اقتصادی		ملاحظات غیراقتصادی		هزینه متوسط (IRR/kWh)	هزینه نهایی (IRR/kWh)
		کمبود	سود نهایی	کمبود	سود نهایی		
۰	۰	۰/۰۰٪	۱۴،۲۴۱،۵۳۸،۹۳۱	۰/۰۰٪	۱۴،۲۴۱،۵۳۸،۹۳۱	۰/۰	۰/۰
۱	۳۸	۱/۳۶٪	۱۴،۳۰۱،۴۷۹،۳۰۰	۰/۰۰٪	۱۴،۲۴۱،۵۳۸،۹۳۱	۰/۰	۷/۴
۲	۲	۳/۱۱٪	۱۴،۲۴۱،۵۲۹،۶۹۰	۰/۶۱٪	۱۴،۲۴۱،۵۲۸،۹۴۴	۱۱/۲	۱۳/۰
۳	۳۲	۳/۳۳٪	۱۴،۲۴۱،۵۲۷،۵۲۶	۰/۸۱٪	۱۴،۲۴۱،۵۰۸،۵۳۶	۱۱/۸	۱۶/۳
۴	۲۵	۴/۲۲٪	۱۴،۲۴۱،۴۸۱،۷۸۷	۱/۲۸٪	۱۴،۲۴۱،۴۹۱،۲۵۲	۱۲/۰	۱۷/۸
۵	۱۲	۵/۰۵٪	۱۴،۲۴۱،۴۴۵،۰۴۱	۱/۸۸٪	۱۴،۲۴۱،۴۷۱،۶۸۸	۱۲/۶	۱۸/۴
۶	۱۶	۵/۳۳٪	۱۴،۲۴۱،۳۸۷،۷۵۳	۲/۰۴٪	۱۴،۲۴۱،۴۵۴،۱۳۶	۱۳/۱	۲۰/۶
۷	۱۵	۵/۵۷٪	۱۴،۲۴۱،۳۲۵،۷۶۲	۲/۱۹٪	۱۴،۲۴۱،۴۰۴،۴۸۱	۱۴/۲	۲۱/۴
۸	۹	۶/۶۹٪	۱۴،۲۴۱،۲۸۲،۳۵۸	۲/۴۳٪	۱۴،۲۴۱،۳۹۹،۶۳۸	۱۶/۷	۲۱/۷
۹	۴	۷/۷۸٪	۱۴،۲۴۱،۲۷۲،۲۰۷	۲/۹۸٪	۱۴،۲۴۱،۳۹۱،۲۹۵	۱۸/۷	۲۴/۵
۱۰	۱۱	۸/۴۹٪	۱۴،۲۴۰،۹۸۷،۰۹۸	۳/۲۶٪	۱۴،۲۴۱،۳۵۹،۸۲۹	۱۹/۷	۲۷/۷
۱۱	۲۳	۹/۸۰٪	۱۴،۲۴۰،۹۷۶،۱۰۶	۳/۸۷٪	۱۴،۲۴۱،۳۲۳،۰۱۳	۲۰/۷	۲۹/۲
۱۲	۵	۹/۹۶٪	۱۴،۲۴۰،۹۶۶،۳۵۳	۴/۰۰٪	۱۴،۲۴۱،۳۱۷،۰۲۴	۲۰/۹	۲۹/۸
۱۳	۲۴	۱۲/۸۳٪	۱۴،۲۴۰،۸۶۸،۶۵۴	۴/۲۱٪	۱۴،۲۴۱،۲۷۴،۷۷۶	۲۲/۷	۳۰/۹
۱۴	۲۶	۱۴/۷۵٪	۱۴،۲۴۰،۸۵۱،۸۶۵	۵/۲۱٪	۱۴،۲۴۱،۱۸۲،۳۶۸	۲۴/۷	۳۴/۶
۱۵	۱۳	۱۵/۲۷٪	۱۴،۲۴۰،۸۳۹،۰۵۷	۵/۵۷٪	۱۴،۲۴۱،۱۷۸،۸۸۶	۲۶/۷	۳۵/۶

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

گام	شماره بخش	ملاحظات اقتصادی		ملاحظات غیراقتصادی		هزینه متوسط (IRR/kWh)	هزینه نهایی (IRR/kWh)
		کمبود	سود نهایی	کمبود	سود نهایی		
۱۶	۲۷	۱۵/۸۶٪	۱۴،۲۴۰،۳۹۴،۶۸۱	۶/۰۱٪	۱۴،۲۴۱،۰۸۶،۰۴۲	۲۸/۷	۳۶/۴
۱۷	۶	۱۶/۳۵٪	۱۴،۲۴۰،۳۵۵،۴۲۱	۶/۳۹٪	۱۴،۲۴۱،۰۵۷،۶۷۱	۳۰/۸	۴۲/۰
۱۸	۱۹	۱۶/۵۶٪	۱۴،۲۴۰،۳۱۲،۷۹۶	۶/۴۸٪	۱۴،۲۴۱،۰۱۲،۶۹۰	۳۱/۰	۴۲/۴
۱۹	۳۴	۱۶/۸۷٪	۱۴،۲۴۰،۲۴۴،۷۳۴	۶/۷۶٪	۱۴،۲۴۰،۹۸۴،۵۹۰	۳۲/۸	۴۳/۰
۲۰	۲۲	۲۱/۰۲٪	۱۴،۲۴۰،۰۳۳،۱۰۰	۷/۱۶٪	۱۴،۲۴۰،۷۹۲،۰۳۵	۳۳/۱	۴۳/۳
۲۱	۱۸	۲۳/۸۹٪	۱۴،۲۳۹،۸۹۵،۸۶۹	۸/۴۷٪	۱۴،۲۴۰،۷۷۳،۶۶۷	۳۴/۸	۴۴/۴
۲۲	۱۰	۲۴/۱۶٪	۱۴،۲۳۹،۸۱۸،۹۷۵	۸/۶۵٪	۱۴،۲۴۰،۷۶۸،۷۳۳	۳۵/۶	۴۶/۴
۲۳	۳۱	۲۵/۴۳٪	۱۴،۲۳۹،۸۱۸،۹۷۵	۹/۲۵٪	۱۴،۲۴۰،۷۱۷،۳۷۹	۳۶/۸	۵۰/۳
۲۴	۱۴	۲۵/۹۶٪	۱۴،۲۳۹،۳۳۱،۱۸۰	۹/۷۱٪	۱۴،۲۴۰،۶۹۴،۴۱۳	۳۸/۸	۵۱/۴
۲۵	۳۷	۲۷/۱۰٪	۱۴،۲۳۹،۲۹۷،۰۹۶	۱۰/۵۸٪	۱۴،۲۴۰،۴۶۲،۸۳۹	۳۹/۸	۵۲/۷
۲۶	۳۶	۲۷/۶۷٪	۱۴،۲۳۸،۷۸۲،۶۷۳	۱۱/۱۴٪	۱۴،۲۴۰،۳۸۵،۹۶۶	۴۰/۸	۵۴/۷
۲۷	۱	۲۷/۹۳٪	۱۴،۲۳۸،۴۶۸،۸۶۵	۱۱/۳۸٪	۱۴،۲۴۰،۲۱۰،۵۷۵	۴۱/۹	۵۵/۲
۲۸	۳۰	۲۸/۱۲٪	۱۴،۲۳۸،۲۵۳،۷۱۹	۱۱/۴۵٪	۱۴،۲۴۰،۱۶۴،۶۹۴	۴۳/۱	۸۱/۳
۲۹	۲۸	۲۹/۱۹٪	۱۴،۲۳۸،۰۱۳،۶۱۳	۱۲/۲۸٪	۱۴،۲۳۹،۸۲۲،۰۰۹	۴۴/۸	۱۰۰/۶
۳۰	۲۹	۳۰/۳۳٪	۱۴،۲۳۷،۵۴۵،۳۹۴	۱۲/۶۷٪	۱۴،۲۳۹،۶۶۴،۸۱۶	۴۸/۹	۱۲۲/۱
۳۱	۸	۳۴/۳۵٪	۱۴،۲۳۶،۲۶۹،۶۳۱	۱۲/۷۸٪	۱۴،۲۳۹،۵۷۴،۹۵۰	۵۲/۹	۲۶۲/۲
۳۲	۳۵	۳۵/۳۷٪	۱۴،۲۳۵،۹۴۱،۱۹۳	۱۳/۷۴٪	۱۴،۲۳۸،۸۳۷،۵۰۸	۵۴/۹	۳۱۱/۶
۳۳	۳۳	۳۷/۰۶٪	۱۴،۲۳۴،۸۵۷،۷۴۴	۱۴/۵۲٪	۱۴،۲۳۸،۸۱۰،۱۶۴	۵۶/۹	۳۶۹/۲
۳۴	۷	۳۷/۷۴٪	۱۴،۲۲۸،۸۴۴،۷۶۷	۱۴/۹۱٪	۱۴،۲۳۸،۷۶۸،۲۷۸	۶۰/۹	۶۳۵/۶
۳۵	۲۱	۳۹/۱۳٪	۱۴،۲۲۸،۴۶۰،۰۴۱	۱۵/۱۲٪	۱۴،۲۳۸،۴۵۱،۴۶۶	۶۳/۰	۷۳۷/۰
۳۶	۲۰	۴۰/۰۸٪	۱۴،۲۲۸،۳۴۸،۲۰۷	۱۵/۷۳٪	۱۴،۲۳۶،۵۷۳،۱۰۰	۶۸/۱	۱،۴۰۲/۹
۳۷	۱۷	۴۵/۳۶٪	۱۴،۲۱۵،۹۸۱،۲۹۷	۱۵/۸۸٪	۱۴،۲۳۶،۳۰۱،۳۰۷	۷۴/۸	۲،۸۳۶/۶
۳۸	۳	۴۸/۱۳٪	۱۴،۲۰۳،۸۶۴،۹۲۲	۱۶/۲۵٪	۱۴،۲۳۳،۱۱۸،۶۸۷	۷۷/۰	۳،۷۰۲/۷

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

بر اساس این جدول، اگر شرکت برق در ابتدا از سناریوی اول پیروی کند و کسری برق را به مصرف‌کنندگان تقاضای نهایی محدود کند، هزینه اقتصادی کسری برق به کمتر از ۰/۶۳ IRR/kWh خواهد رسید. ۱/۳۶ درصد از کسری عرضه برق به مصرف‌کنندگان تقاضای نهایی تحمیل می‌شود. این امر به این دلیل است که مصرف‌کنندگان نهایی (همچون خانوارها) فقط کالاها را مصرف می‌کنند و در چرخه تولید حضور ندارند. به بیان دیگر برق تخصیص یافته به یک خانوار صرفاً برای مصرف بدون تولید در اختیار وی قرار می‌گیرد، اما برق تخصیص یافته به یک کارخانه یا معدن یا بخش کشاورزی در زنجیره عرضه استفاده می‌شود. در ادامه بیان نتایج باید گفت که بخش شماره ۲ یعنی «تولید، انتقال و توزیع نیروی برق» رتبه دوم را به خود اختصاص داده است. به این معنا که گام دوم خاموشی به خود این بخش باز خواهد گشت، به‌نحوی‌که تعطیلی این بخش تا جبران کسری برق به مقدار ۱/۳۶ درصد (از ۲۰ درصد کمبود برق در سراسر بخش‌ها) ادامه دارد. در مراحل بعدی، بخش «معدن زغال‌سنگ و زغال‌سنگ» به ۳/۱۱ درصد و «فعالیت‌های دامپزشکی» به ۳/۳۳ درصد تعطیل می‌شوند و عرضه همچنان کاهش می‌یابد.

با در نظر گرفتن ملاحظات غیراقتصادی (سناریوی دوم)، همین روند از بخش «معدن زغال سنگ و زغال‌سنگ» آغاز شده و سپس با کاهش عرضه برق به بخش‌های «فعالیت‌های دامپزشکی»، «فعالیت‌های پستی و پیک» و «ساخت شیشه و فرآورده‌های شیشه‌ای» ادامه می‌یابد.

آنچه مسلم است آخرین مرحله قطع برق بخش «استخراج نفت خام و گاز طبیعی» و قبل از آن بخش «ساخت گاز؛ توزیع سوخت گازی از طریق شبکه»، «تجارت عمده و خرده‌فروشی» خواهد بود؛ و بخش «حمل‌ونقل زمینی و فعالیت‌های حمایتی حمل‌ونقل» به ترتیب کاهش عرضه برق خواهند داشت. با اجرای این مراحل تعطیلی، کمترین هزینه بر اقتصاد ایران تحمیل می‌شود.

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

۵- نتیجه‌گیری

منابع انرژی محدود در عصر حاضر به یک چالش جدی تبدیل شده است. برق یکی از مهم ترین منابع انرژی پاک است که برای اقتصادهای در حال توسعه‌ای مانند ایران بسیار مهم است.

صنعت برق ایران علی‌رغم توسعه چشمگیر دهه‌های اخیر، در تأمین نیازهای توسعه‌ای ایران به‌ویژه در شرایط کمبود منابع مالی با مشکلات و چالش‌هایی مانند دشواری تولید، مصرف متناسب در زمان‌ها و فصول اوج مصرف، رشد شدت مصرف با کاهش بهره‌وری انرژی، دشواری پرداخت هزینه‌های مصرف متناسب با هزینه، قانون گریزی و رفتارهای غیرعادی که در مصرف انرژی رخ می‌دهد، روبرو می‌باشد. حرکت به سمت تولید انرژی برق منطبق با استانداردهای زیست محیطی و غیره از جمله دستاوردهایی است که در این صنعت استراتژیک دیده می‌شود. تحلیلگران و کارشناسان بر این باورند که این چالش‌ها با راهکارهای اقتصادی و ناکارآمدی رویکردهای صرفاً اقتصادی و فن سالارانه و عدم توجه به جنبه های فرهنگی-اجتماعی برطرف می‌شود.

در این تحقیق سعی شده است به این سوال پاسخ داده شود که در صورت کمبود برق در ایران، کدام یک از بخش‌های اقتصادی را باید خاموش کرد تا در نهایت کمترین کاهش ارزش‌افزوده را شاهد باشیم؟ برای پاسخ به این سوال از تحلیل داده-ستانده و بهینه‌سازی خطی استفاده شد که در دو سناریوی مختلف شامل عدم قطعی برق برای مشترکین خانگی (تقاضای نهایی) و قطع برق برای این مشترکین انجام شد.

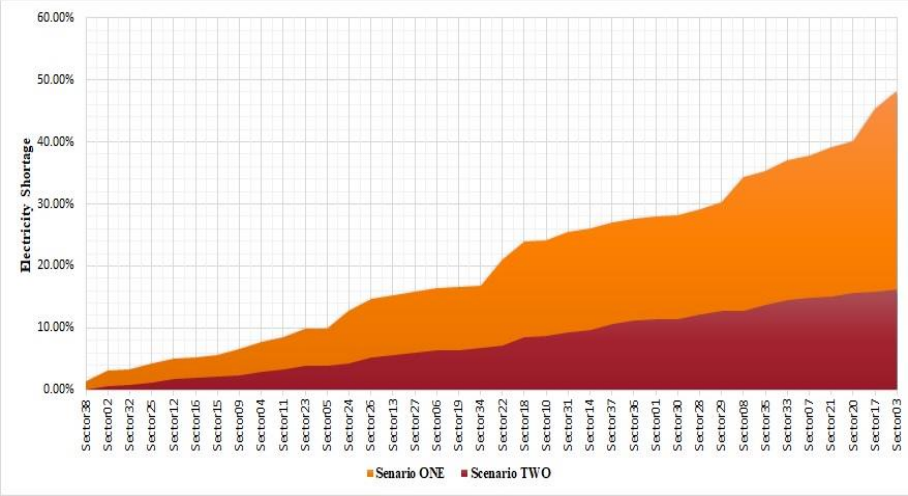
در صورت قطع برق، دو حالت ممکن وجود دارد. سناریوی اول که به‌عنوان ملاحظات اقتصادی شناخته می‌شود، بیان می‌کند که تقاضای نهایی برق نیز می‌تواند قطع شود. سناریوی دوم بیان می‌کند که سیاست گذار نمی‌تواند برق مشترکین تقاضای نهایی (شامل خانوارها، دولتی، غیرانتفاعی و غیره) را قطع کند. سناریوی دوم، ملاحظات غیراقتصادی نام دارد. بر این اساس و با فرض حداکثر ۲۰ درصد خاموشی برای هر بخش از اقتصاد و همچنین بر اساس حداکثر کردن منافع اجتماعی، نتایج برای هر دو سناریو مشخص می‌شود.

بر اساس سناریوی اول تا ۱/۳۶ درصد از کمبود برق باید با اعمال خاموشی در تقاضای نهایی برق (عمدتاً قطعی برق خانگی) انجام شود. در صورت افزایش کمبود برق

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

در فاز دوم و تا ۳/۱۱ درصد، برق بخش «معادن زغال سنگ و زغال‌سنگ» و در فاز سوم برق بخش «فعالیت‌های دامپزشکی» تا ۳/۳۳ درصد قطع می‌شود. به همین ترتیب قطعی برق ادامه دارد تا قطعی برق به قسمت سی و هشتم «استخراج نفت خام و گاز طبیعی» برسد.

در سناریوی دوم چون نمی‌توان برق مورد نیاز نهایی را قطع کرد، بخش اول «معدن زغال سنگ و زغال سنگ» است که تا ۰/۶۱ درصد برق کشور برای این بخش است. فعالیت‌های «دامپزشکی»، «پستی و پیک» فعالیت‌های «ساخت شیشه و فرآورده‌های شیشه‌ای» به ترتیب تا ۰/۸۱، ۱/۲۸ و ۱/۸۸ درصد برق سراسری را به خود اختصاص می‌دهند. همانند سناریوی اول، بخش «استخراج نفت خام و گاز طبیعی» آخرین بخشی است که قطع برق را تجربه می‌کند. شکل ۳ قطعی برق بهینه را تحت هر دو سناریو برای همه بخش‌ها نشان می‌دهد.



شکل ۴. استراتژی های کاهش بهینه برای دو سناریو

همان‌طور که در ادبیات نظری بیان شد، روش های مختلفی برای محاسبه هزینه‌های اقتصادی کمبود برق وجود دارد. در این تحقیق از تحلیل داده- ستانده و بهینه‌سازی خطی برای تعیین سیاست دولت در قبال هر بخش اقتصادی استفاده شده است. بر اساس مطالعات انجام شده، بر اساس این روش، این محاسبات در سه کشور دیگر یعنی تایوان، برزیل و کره جنوبی انجام شده است که در جدول شماره ۴ نتایج مطالعات فوق با نتایج مطالعه حاضر مقایسه شده است.

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

جدول ۴. نتایج محاسبه هزینه‌های اقتصادی کمبود برق ایران و مقایسه آن با دیگر کشورها

سطح	ایران	کره جنوبی	برزیل	تایوان
اولین مرحله برای قطع برق	استخراج زغال‌سنگ و لیگنیت	محصولات فلزی اولیه	کشاورزی	سایر مواد شیمیایی صنعتی
دومین مرحله برای قطع برق	فعالیت‌های دامپزشکی	محصولات کاغذی و چوبی	بخش معدن	آهن و فولاد
سومین مرحله برای قطع برق	خدمات پست	ساخت فلزات اساسی	صنعت	پنبه، پشم و پارچه
آخرین بخش برای قطع برق	استخراج نفت خام و گاز طبیعی	خدمات مالی و بیمه	خدمات عمومی و سلامت	جنگلداری
بخش یکی مانده به آخر برای قطع برق	تولید و توزیع گاز	کشاورزی، جنگلداری و ماهیگیری	سایر خدمات	دخانیات
بخش دو تا مانده به آخر برای قطع برق	خدمات عمده‌فروشی و خرده‌فروشی	خدمات عمومی و دفاعی	خدمات املاک و مسکن	سایر محصولات زراعی

آنچه از این مقایسه مشخص می‌شود این است که نوع مقیاس سنجش هزینه برق در هر کشور منحصربه‌فرد است و کاملاً به ساختار اقتصاد و تعامل بخش‌ها با برق بستگی دارد و به نظر نمی‌رسد که بتوان یک پروتکل از پیش تعریف شده برای همه کشورها تنظیم کرد.

وضعیت قطعی برق می‌تواند آثار و پیامدهای نامطلوبی بر سطوح اقتصادی و اجتماعی جامعه داشته باشد و شاخص بهای تولیدکننده را در سطح این بخش‌ها بیش ازآنچه به دلیل کمبود برق رخ داده است، افزایش دهد که این موضوع برای ایران به‌عنوان کشوری با تورم بالا، بیش از کشورهای دیگر ناخوشایند است؛ بنابراین لازم است بخش‌هایی به‌ویژه صنایع وابسته به برق، تأسیسات تولید برق[1] ایجاد کنند. این امکان بدون ایجاد بازار تسهیلات مناسب امکان‌پذیر نیست. نباید از نظر دور داشت که

1. Utility Units

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

شدت مصرف انرژی بالا عاملی برای افزایش مصرف برق است. در این صنایع است که ناکارآمدی امکانات تولیدی صنایع مذکور و فن‌آوری‌های بسیار قدیمی عاملی برای مصرف بیشتر برق نسبت به استانداردهای جهانی شده است.

بنابراین راه‌حل ایجاد تأسیسات تولید برق در خود واحدهای تولیدی یک راه‌حل کوتاه‌مدت است ضمن اینکه تغییر روش فن‌آوری تولید به‌عنوان یک راه‌حل میان‌مدت یا بلندمدت (بسته به اقتصاد سیاسی ایران) می‌تواند از شدت انرژی بکاهد.

در پایان لازم به ذکر است که در ایران قوانینی وجود دارد که در صورت قطع برق باید اجرا شود (مثلاً ماده ۲۵ قانون بهبود مستمر محیط کسب‌وکار که در صورت کمبود برق می‌گوید: خدمات برق، گاز یا مخابرات، واحدهای تولیدی صنعتی و کشاورزی نباید در قطعی برق یا خدمات گاز یا مخابرات در اولویت قرار گیرند و شرکت‌های تأمین‌کننده برق، گاز و خدمات مخابراتی موظف‌اند هزینه قطعی برق یا خدمات گاز یا مخابرات را به آدرس زمان عقد قرارداد هنگام انعقاد قرارداد با واحدهای تولیدی اعم از صنعت، کشاورزی و خدمات) که باید در دو لایه در نظر گرفته شود. ابتدا، این قوانین را می‌توان در بهینه‌سازی‌های بعدی به‌عنوان محدودیت و با حفظ همان قوانین وارد مدل کرد. حالت خاموشی را می‌توان بهینه کرد. در لایه دوم می‌توان این قوانین را با نتایج مدل‌سازی مقایسه کرد و راهنمایی برای اصلاح قوانین ارائه کرد.

بنابراین، نتایج مطالعه حاضر می‌تواند به دولت کمک کند تا خسارات و اولویت را در اجرای قطعی برق در بخش‌هایی که کمترین هزینه‌های اقتصادی کمبود برق را دارند، تعیین کند. بااین‌حال، ذکر این نکته ضروری است که هر توصیه سیاستی، ویژگی‌های بازار کالاهای تولید شده توسط آن بخش و همچنین ساختار بازار عوامل تولید آن بخش و کشش جایگزینی بین عوامل تولید را در نظر می‌گیرد. در نهایت خاطرنشان می‌شود که این مدل‌سازی را می‌توان به جداول داده-ستانده چند منطقه‌ای[1] تعمیم داد و تعمیم آن به این نوع جدول می‌تواند پیامدهای عمیق‌تر و گسترده‌تری برای سیاست‌گذاران داشته باشد.

1. Multi regional I-O(MRIO)

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

منابع

- آرندیان بهداد، محمدی اردهالی مرتضی. بهینه‌سازی اندازه، مکان و بهره‌برداری از فن‌آوری‌های مختلف سیستم‌های تولید هم‌زمان برق و حرارت. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی. ۱۳۹۷; ۱۴ (۵۷): ۱-۳۷.
- اعتصامی رضا، مددی محسن، اشرف گنجویی رضا. بررسی تأثیر عدم قطعیت مصرف برق بر نابرابری دهک‌های درآمدی در ایران (رهیافت رگرسیون فازی). فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی. ۱۴۰۲; ۱۹ (۷۷): ۱۳۳-۱۶۱.
- بوزان، باری (۱۳۹۰). مردم، دولت و هراس‌ها، ترجمه پژوهشکده مطالعات راهبردی، تهران، چاپ سوم.
- پالوج، قاسم. ساوه درودی، مصطفی. خزلی، یاسر. (۱۴۰۱). امنیت اقتصادی فردی از دیدگاه مقام معظم رهبری (مدظله العالی). فصلنامه اقتصاد دفاع و توسعه پایدار، ۷(۲۵)، ۹۱-۱۲۱.
- پورعبادالهان کویچ محسن، فلاحی فیروز، حیدری کیومرث، کیانی پویان. ارائه الگویی برای مقررات‌گذاری اقتصادی شرکت‌های توزیع برق ایران. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی. ۱۳۹۸; ۱۵ (۶۰): ۱۹۱-۲۲۵.
- ترازنامه انرژی (۱۳۹۹). دفتر برنامه‌ریزی و اقتصاد کلان برق و انرژی. وزارت نیرو. تهران. ایران.
- خداداد کاشی فرهاد، قاضی‌زاده محمدصادق، حیدری کیومرث، اوشنی محمد. پویایی کارایی در تنظیم شرکت‌های توزیع برق ایران (رویکرد بیزین). فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی. ۱۳۹۶; ۱۳ (۵۵): ۱۳۳-۱۵۹
- ذاکری علی، نیکو رضا، گلی علیرضا. سناریوهای کمی مصرف انرژی الکتریکی در افق ۱۴۱۰: مطالعه موردی اصفهان. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی. ۱۴۰۳; ۲۰ (۸۰): ۶۳-۸۹
- شمسی، مسلم (۱۴۰۱). نقش متغیر انرژی ایران در جنگ روسیه با اوکراین. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه پیام نور قزوین. دانشکده علوم سیاسی. قزوین ایران.

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

- قربانی, عبدالعظیم (۱۴۰۱): وضعیت تراز تولید و مصرف گاز در کشور. رهیافت اندیشه ۴ (۱), ۲۳۶-۲۴۱. https://www.noormags.ir/view/fa/articlepage/2072311.
- عصاری آرانی، عباس. رستمی، سعید. (۱۴۰۱). تأثیر امنیت انرژی بر رشد اقتصادی. پژوهشنامه اقتصادی، ۲۲(۸۴), ۱۳۹-۱۶۹. doi: 10.22054/joer.2022.67463.1057
- گودرزی فراهانی یزدان، عادلی امیدعلی. تأثیر تغییر در تعرفه برق بر مصرف برق مشترکین و متغیرهای کلان اقتصادی با رویکرد تعادل عمومی پویای تصادفی (DSGE). فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی. ۱۴۰۱; ۱۸ (۷۴): ۱۲۵-۱۵۸.
- مرکز مار ایران، جدول داده-ستانده و حساب‌های ملی، ۱۳۹۹، تهران ایران.
- Abbasi, Kashif Raza; Abbas, Jaffar; Tufail, Muhammad (2021): Revisiting electricity consumption, price, and real GDP. A modified sectoral level analysis from Pakistan. In Energy Policy 149, p. 112087. DOI: 10.1016/j.enpol.2020.112087.
- Ali, Shahid; Zhang, Junrui; Azeem, Aamir; Mahmood, Asif (2020): Impact Of Electricity Consumption On Economic Growth. An Application Of Vector Error Correction Model and Artificial Neural Networks. In The Journal of Developing Areas 54 (4). DOI: 10.1353/jda.2020.0039.
- Bernstein, Mark Allen; Hegazy, Youseff (1988): The economic costs of electricity shortages: A case study of Egypt. In The Energy Journal 9 (Special Issue 2).
- Bhattacharyya, S. C. (2019). Energy economics: concepts, issues, markets and governance. Springer Nature.
- Botelho, Vinícius (2019): Estimating the economic impacts of power supply interruptions. In Energy Economics 80, pp. 983–994. DOI: 10.1016/j.eneco.2019.02.015.
- Bouri, Elie; Al assad, Joseph (2016): The Lebanese Electricity Woes: An Estimation of the Economical Costs of Power Interruptions. In Energies 9, p. 583. DOI: 10.3390/en9080583.
- Chen, Chiung-Yao; Vella, Alfred (1994): Estimating the economic costs of electricity shortages using input–output analysis. The case of Taiwan. In Applied Economics 26 (11), pp. 1061–1069. DOI: 10.1080/00036849400000122.
- Crew, Michael A.; Kleindorfer, Paul R. (1978): Reliability and public utility pricing. In The American Economic Review 68 (1), pp. 31–40.

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

- Hashemi, Majid (2021): The economic value of unsupplied electricity. Evidence from Nepal. In Energy Economics 95 (1), p. 105124. DOI: 10.1016/j.eneco.2021.105124.
- Hashemi, Majid; Jenkins, Glenn Paul; Jyoti, Roop; Ozbafli, Aygul (2018): Evaluating the cost to industry of electricity outages. In Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy 13 (7), pp. 340–349. DOI: 10.1080/15567249.2018.1501122.
- He, Peijun; Ng, Tsan Sheng; Su, Bin (2017): Energy-economic recovery resilience with Input-Output linear programming models. In Energy Economics 68, pp. 177–191.
- IEA. (2002). Energy Security, International Energy Agency, Paris. 7 http://www.iea.org/textbase/ papers/2002/energy.pdf.
- Ju, H-C; Yoo, S-H; Kwak, S-J (2016): The electricity shortage cost in Korea: An input-output analysis. In Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy 11 (1), pp. 58–64.
- Kateregga, Eseza (2009): The welfare costs of electricity outages: A contingent valuation analysis of households in the suburbs of Kampala, Jinja, and Entebbe. In Journal of Development and Agricultural Economics 1 (1), pp. 1–11.
- Leahy, Eimear; Tol, Richard S. J. (2011): An estimate of the value of lost load for Ireland. In Energy Policy 39 (3), pp. 1514–1520.
- Luqman, Muhammad; Haq, Mirajul; Ahmad, Iftikhar (2021): Power Outages And Technical Efficiency Of Manufacturing Firms. Evidence From Selected South Asian Countries. In IJEEP 11 (2), pp. 133–140. DOI: 10.32479/ijeep.10584.
- Miller, Ronald E.; Blair, Peter D. (2009): Input-output analysis: foundations and extensions: Cambridge University Press.
- Mirnezami, Seyed Reza; Rajabi, Sajad (2020): Changing Primary Energy Consumption Due To Covid-19. The Study 20 European Economies. In IJEEP 11 (1), pp. 615–631. DOI: 10.32479/ijeep.10342.
- Munasinghe, Mohan (1979): The economics of power system reliability and planning: Baltimore.
- Munasinghe, Mohan; Sanghvi, A. (1988): Reliability of electricity supply, outage costs and value of service: an overview. In The Energy Journal 9 (Special Issue 2).
- Niroomand, Naghmeh; Jenkins, Glenn P. (2020): Estimation of households' and businesses' willingness to pay for improved reliability of electricity supply in Nepal. In Energy for Sustainable Development 55 (4), pp. 201–209. DOI: 10.1016/j.esd.2020.02.006.

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]

- Nooij, Michiel de; Koopmans, Carl; Bijvoet, Carlijn (2007): The value of supply security: The costs of power interruptions: Economic input for damage reduction and investment in networks. In Energy Economics 29 (2), pp. 277–295.
- Oliveira, Carlos; Coelho, D.; Antunes, Carlos Henggeler (2016): Coupling input–output analysis with multiobjective linear programming models for the study of the economy–energy–environment–social (E3S) trade-offs: a review. In Annals of Operations Research 247 (2), pp. 471–502.
- San Cristóbal, José Ramón (2012): A goal programming model for environmental policy analysis: Application to Spain. In Energy Policy 43, pp. 303–307.
- Serra, Pablo; Fierro, Gabriel (1997): Outage costs in Chilean industry. In Energy Economics 19 (4), pp. 417–434.
- Shivakumar, Abhishek; Welsch, Manuel; Taliotis, Constantinos; Jakšić, Dražen; Baričević, Tomislav; Howells, Mark, et al. (2017): Valuing blackouts and lost leisure. Estimating electricity interruption costs for households across the European Union. In Energy Research & Social Science 34 (November), pp. 39–48. DOI: 10.1016/j.erss.2017.05.010.
- Tchijov, Iouri; Tomaszewicz, Lucja; Lipiński, Czesław (Eds.) (1987): Changes of Output Capacity Utilization Caused by Structural Changes of Material Inputs. Input-Output Modeling. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Tolley, George S.; Wilman, John D. (1977): The foreign dependence question. In Journal of Political Economy 85 (2), pp. 323–347.
- Vasconcelos, Paulo; Carpio, Lucio (2015): Estimating the economic costs of electricity deficit using input–output analysis: the case of Brazil. In Applied Economics 47. DOI: 10.1080/00036846.2014.982858.
- Woo, Chi-Keung; Train, Kenneth (1988): The cost of electric power interruptions to commercial firms. In The Energy Journal 9 (Special Issue 2).

[Downloaded from iiesj.ir on 2025-03-28]