

اثر حذف یارانه‌ها بر کارایی فنی نیروگاه‌های تولید برق در ایران

فاطمه قلی پور خطیر

کارشناس ارشد اقتصاد انرژی، مؤسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی،

fateme.hgholipourkhatir@gmail.com

علی مزیکی^۱

استادیار اقتصاد دانشگاه علامه طباطبائی، mazyaki@atu.ac.ir

حامد حوری جعفری

استادیار مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، h_jafari@iies.net

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۱/۲۸

چکیده

میزان و عوامل تعیین‌کننده کارایی فنی نیروگاه‌ها در مطالعات مختلفی بررسی شده‌اند. در این راستا اگرچه عوامل متعددی چون ملاحظات زیست‌محیطی نیز مورد توجه قرار گرفته، اما کمتر به اثر نسبت قیمت نهاده‌ها به ستانده‌ها بر تحولات کارایی پرداخته شده است. لذا در این مطالعه از روش پارامتریک تحلیل مرزی تصادفی به بررسی اثر دوره هدفمندسازی یارانه‌ها در ایران و تحولات قیمت‌های داده و ستانده بر کارایی نیروگاه‌ها پرداخته‌ایم. نتایج نشان می‌دهند که اثر مثبت دوره هدفمندسازی بر کارایی کاملاً قابل تأیید نیست؛ اما افزایش نسبت قیمت نهاده به ستانده به‌طور معنی‌داری موجب افزایش کارایی، به‌خصوص در نیروگاه‌های خصوصی شده است.

طبقه‌بندی JEL: D62، H21، Q41

کلیدواژه‌ها: کارایی فنی، نیروگاه تولید برق، حذف یارانه، تحلیل مرزی تصادفی

^۱. نویسنده مسئول

۱- مقدمه

برق یکی از مهم ترین انرژی های پاک است که می تواند در یک اقتصاد در حال توسعه مانند ایران نقش به سزایی داشته باشد. انرژی برق یکی از ورودی های تولید در هر کشوری است و رشد بلندمدت بسیاری از کشورها به توانایی نیروگاه های آن کشور در عرضه کارآمد برق بستگی دارد. البته برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار توجه به مسائل زیست محیطی نیز اجتناب ناپذیر است. در این راستا کمبودهایی در روش های تحلیلی برای سیاست گذاری زیست محیطی وجود دارد، بر این اساس ارائه الگوهای جهت بررسی ارتباط میان فعالیت های اقتصادی و متغیرهای زیست محیطی امری ضروری به نظر می رسد؛ بنابراین در مطالعه حاضر عوامل ناکارایی نیروگاه های کشور و به طور دقیق تر ناکارایی فنی، با در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی بررسی شده است.

طبق ترازنامه هیدروکربوری کشور (۱۳۹۵-۱۳۹۴)، ۹۵ درصد برق مصرفی کشور و انرژی مورد نیاز نیروگاه های کشور از سوخت فسیلی، گاز طبیعی، مازوت و گازوئیل تأمین می شود که حاکی از وابستگی شدید نیروگاه ها به سوخت های فسیلی می باشد. در این راستا به نظر می رسد قیمت سوخت تحویلی به این نیروگاه ها در مقابل میزان برق تولید شده توسط آن ها یکی از مسائلی است که در مطالعات بررسی ناکارآمدی کمتر به آن توجه شده است. در این مطالعه قصد داریم موضوع ناکارآمدی نیروگاه ها را از این دیدگاه مورد بررسی قرار دهیم.

به طور کلی مفهوم کارایی به مقایسه عملکرد واقعی و ایده آل یک فرآیند می پردازد. بر اساس نظریه کریستوفر^۱ (۲۰۱۴) حداکثر خروجی تولیدی ممکن به عنوان تابع تولید تعریف می شود که برای بردار ورودی X_i و تولیدکننده i ، به صورت $m(X_i; \beta)$ در نظر گرفته می شود. از آنجایی که هیچ تولیدکننده ای به بیشترین احتمال دست نمی یابد همیشه $y_i \leq m(X_i; \beta)$ است که در آن y تولید واقعی است و نسبت $y_i / m(X_i; \beta)$ که به آن کارایی فنی می گویند بین صفر و یک می باشد. هرچه مقدار این فاصله بیشتر باشد، بیانگر دورتر بودن سطح تولید نیروگاه از مرز کارایی و در نتیجه سطح کارایی کمتر است.

1. Christopher

مقررات زیست‌محیطی و تغییر قیمت ورودی‌ها و خروجی‌های نیروگاه منجر به تغییر سطح کارایی این بنگاه‌ها خواهد شد. در این مطالعه، ما بر سیاست هدفمندسازی یارانه‌ها و چگونگی تأثیر آن بر کارایی فنی نیروگاه‌های سوخت فسیلی در ایران خواهیم پرداخت. در این فرایند با حذف تدریجی یارانه‌ها از مواد سوختی، خوراک، آب، برق و سایر اقلام در ایران، نوع پرداخت تغییر می‌کند که بخشی از این یارانه‌های حذف شده (۶۰ درصد در سال ۱۳۹۰)، به‌صورت نقدی به مردم پرداخت می‌شود و مابقی درآمد ناشی از آن، صرف کارهای عمرانی و فرهنگی می‌شود. این کار در اواخر دهه ۱۳۸۰ اجرا و بخش عمده آن در دهه ۱۳۹۰ انجام شد. به‌عنوان مثال، طبق آمار و نمودارهای انرژی ایران و جهان، قیمت تحویلی هر لیتر گازوئیل به نیروگاه‌های کشور در سال ۱۳۸۹ از ۵۸ ریال به ۳۵۰۰ ریال و قیمت فروش داخلی هر کیلووات‌ساعت برق تولیدی از ۲۰۸ ریال به ۴۰۹ ریال طبق این قانون افزایش پیدا کرده است.

۲- مرور پژوهش‌های پیشین

افزایش توان رقابت با سایر کشورها از طریق بهبود کارایی و بهره‌وری موجب رشد و توسعه اقتصادی کشور می‌شود. سجادی‌فر و همکاران (۱۳۹۴) با در نظر گرفتن همزمان فعالیت‌های اقتصادی، انتشار دی‌اکسید کربن و مصرف انرژی و با استفاده از روش تحلیل پوششی، داده‌ها، کارایی انرژی را در ایران و کشورهای همجوار طی دوره ۲۰۰۷-۲۰۱۲ را اندازه‌گیری کردند. نتایج این مطالعه نشان‌دهنده نامطلوب بودن جایگاه ایران از نظر کارایی انرژی در مقایسه با سایر کشورها می‌باشد. در مطالعه ارزیابی تأثیر سیاست‌ها بر کارایی بنگاه‌ها، مقررات محدودکننده مانند فرمان و کنترل^۱ و مقررات انعطاف‌پذیر از جمله مقرراتی که از قیمت استفاده می‌کنند مشاهده می‌شوند. مقررات فرمان و کنترل را می‌توان منظم سازی مستقیم دولت تعریف نمود که چه چیز مجوز دارد و چه چیز غیرقانونی است را مشخص می‌کند. واژه فرمان، هدف یا استانداردهای کیفی که توسط دولت تعریف می‌شود و بنگاه‌ها باید خود را با آن تطبیق دهند را نشان می‌دهد و واژه کنترل نشان‌دهنده تحریم‌های منفی است که در صورت عدم تطبیق اجرا خواهد شد.

طبق فرضیه پرتر^۱، مقررات زیست‌محیطی سخت‌گیرانه باعث افزایش کارایی و بهبود نوآوری و تقویت رقابت‌پذیری تجاری می‌شود. ونگ و وی^۲ (۲۰۱۶) اثر ورودی‌های مختلف انرژی و آلودگی خارج شده بر تغییرات بهره‌وری انرژی چین را طی سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۲ تخمین زدند براساس نتایج مطالعه آنها، صحت این فرضیه تأیید شد. گرینستون و همکاران^۳ (۲۰۱۲) تأثیر مقررات کیفیت هوا را روی شاخص بهره‌وری کل تقریباً ۱.۲ میلیون نیروگاه از سال ۱۹۷۲ تا ۱۹۹۳ تخمین زدند. مقررات کیفیت هوای سخت‌گیرانه‌تر موجب ۲.۶ درصد کاهش در عامل بهره‌وری کل می‌شود. طبق نظر مولک^۴ (۲۰۱۲) تکنولوژی‌های پیشرفته جذب کربن که باعث کاهش زیاد آلودگی می‌شود منجر کاهش کارایی می‌شوند و همین‌طور سرمایه‌گذاری مربوط به این قوانین باعث از رده خارج شدن دیگر سرمایه‌گذاری‌ها و در نتیجه کاهش کارایی می‌شود.

در مقابل سیاست‌های محدودکننده، سیاست‌های انعطاف‌پذیر با رویکرد بازار محور و ایجاد انگیزه اقتصادی به سازمان‌ها این امکان را می‌دهد که بهترین تصمیم را برای رسیدن به هدف اخذ نمایند. فره و همکاران^۵ (۲۰۱۴) کارآمدی زیست‌محیطی صدور انواع مجوزهای قابل مبادله در صنعت تولید برق را بررسی نموده‌اند. نتیجه مطالعه آنها حاکی از کارآمدتر بودن مجوزهای قابل مبادله تولید SO_2 نسبت به مجوزهای مشابه برای CO_2 می‌باشد. هوآنگ و ژوو^۶ (۲۰۱۶) تأثیر برنامه ابتکار عمل در گازهای گلخانه‌ای منطقه‌ای را بررسی نموده و نتیجه گرفته‌اند میانگین کل آلودگی سالانه از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ در ۲ ایالتی که در این برنامه شرکت کردند ۳۴.۳۶ درصد کاهش یافته و درواقع، کارایی بیشتر شده است. همچنین چان و همکاران^۷ (۲۰۱۳) به این نتیجه دست یافتند که یک برنامه تجارت آلودگی که به‌خوبی طراحی شده باشد می‌تواند بین ۱۵ تا ۹۰ درصد هزینه سیاست را نسبت به برنامه سنتی فرمان و کنترل کاهش دهد.

1. Porter

2. Wang & wei

3. Greenstone

4. Moullec

5. Fare

6. Huang & Zhou

7. Chan

۳- ارائه الگوی پژوهش

در این مطالعه به منظور لحاظ نمودن ستانده خوب و بد به‌طور همزمان در مدل به پیروی از فره و همکاران (۲۰۰۵) از تابع فاصله‌ای جهت‌دار^۱ استفاده شده است. این تابع به دو روش پارامتریک و غیرپارامتریک برآورد می‌شود. رویکرد رایج پارامتریک آنالیز مرزی تصادفی^۲ است. در این روش جزء خطا دارای دو جزء با توزیع مشخص است. جز اول که کارایی را ارزیابی می‌نماید از توزیع مطلقاً مثبت و جز دوم که خطای تصادفی است، از توزیع متقارن پیروی می‌کند. بر این اساس تخمین پارامترها به روش حداکثر درست‌نمایی با دستور xtfreontier نرم‌افزار استت^۳ انجام می‌شود. برای تخمین این تابع از داده‌های ۹۴ نیروگاه سوخت فسیلی که طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ در حال فعالیت بوده‌اند و متغیرهای قیمتی تأثیرگذار بر کارایی آن‌ها استفاده شده است.

بر اساس نتایج حاصل از این روش نمی‌توان اثر سیاست هدفمندکردن یارانه‌ها بر کارایی نیروگاه‌ها (چه دولتی و چه خصوصی) را به‌طور معنی‌داری تأیید نمود؛ اما می‌توان چنین گفت که تغییر نسبت قیمت سوخت ورودی بر قیمت برق تولیدی از نیروگاه‌ها بر نیروگاه‌های خصوصی تأثیر مثبت می‌گذارد و بر نیروگاه‌های دولتی تأثیر معناداری ندارد. همچنین با گذر زمان کارایی کاهش یافته و در صورت ادامه شرایط قبل از هدفمندی کارایی، کاهش می‌یافته و سیاست هدفمندسازی موجب سرعت کمتر این نزول شده است.

۴- روش‌شناسی پژوهش

نیروگاه‌های سوخت فسیلی برای تولید برق به‌عنوان ستانده مطلوب، ستانده‌های بد یا نامطلوبی مانند دی‌اکسید کربن، اکسید نیتروژن و سولفور دی‌اکسید گوگرد نیز تولید می‌کنند که اثرات مخربی بر سلامتی انسان و محیط‌زیست خواهند داشت. از آنجایی که کاهش ستانده نامطلوب بر توانایی بنگاه‌ها برای تولید ستانده مطلوب اثر می‌گذارد، ستانده‌های بد نیز باید در مدل دخیل شوند. به این منظور از تابع DDF استفاده کردیم.

1. Directional Distance Function
2. Stochastic Frontier Analysis
3. Stata

تکنولوژی تولید نیروگاه‌ها شامل ستانده بد با مجموعه امکان‌پذیر $p(x)$ به صورت زیر نمایش داده می‌شود که در آن (y, b) بیانگر مجموعه ستانده‌های بد و خوب است:

$$P(x) = \{(y, b) : x \text{ can produce } (y, b)\} \quad (1)$$

مطالعه حاضر شامل یک ستانده خوب، y مگاوات ساعت تولید برق، سه ستانده نامطلوب b ، مجموعه آلاینده‌های CO_2 ، SO_2 و NO_x است. بردار ورودی‌ها با x نشان داده شده که برای نیروگاه‌های با سوخت فسیلی، ورودی‌ها سرمایه و حرارت هستند. که سرمایه با ظرفیت نامی نیروگاه (مگاوات) تقریب زده شده است.

با در نظر گرفتن $g = (g_y, -g_b)$ به عنوان بردار جهت^۱، فاصله جهت‌ی به این صورت

تعریف می‌شود:

$$\bar{D}_o(x, y, b; g_y, -g_b) = \max\{\beta : (y + \beta g_y, b - \beta g_b) \in P(x)\} \quad (2)$$

که حداکثر افزایش ممکن در ستانده خوب را به طور همزمان با کاهش ستانده بد در سطح مشخصی از نهاده‌ها اندازه می‌گیرد. هرچه مقدار این فاصله بیشتر باشد، بیانگر دورتر بودن سطح تولید نیروگاه از مرز کارایی و در نتیجه سطح کارایی کمتر است. تابع فاصله‌ای جهت‌دار باید واجد ویژگی‌های زیر باشد:

(۱) به ازای هر بردار ستانده شدنی، غیر منفی باشد و اگر بردار ستانده مشاهده شده (y, b) روی مرز $P(x)$ باشد، این تابع مقدار صفر می‌گیرد و به ازای هر ترکیب ناکارا از ستانده‌ها عضو $P(x)$ ، مقداری بیشتر از صفر می‌گیرد.

(۲) با تغییرات ستانده خوب و بد به طور یکنواخت و در جهت مخالف تغییر می‌کند.

(۳) دارای فرض قابل عرضه ضعیف در ستانده خوب و بد باشد.

(۴) این تابع در (y, b) مقعر است.

DDF همچنین دارای خاصیت برگردانی^۲ است که به این صورت نشان داده می‌شود:

$$\bar{D}_o(x, y + \alpha g_y, b - \alpha g_b; g_y, -g_b) = \bar{D}_o(x, y, b; g_y, -g_b) - \alpha \quad (3)$$

در این معادله برای سادگی، اندیس i برای هر نیروگاه و اندیس t برای زمان حذف شده است. این ویژگی بیان می‌کند اگر ستانده خوب به اندازه αg_y افزایش و ستانده بد

1. Directional vector
2. Translation property

به اندازه αg_b کاهش یابد، مقدار تابع فاصله‌ای به اندازه α کاهش یافته و در نتیجه به اندازه α کارا تر می‌شود.

مدل‌های DDF هم به روش پارامتر یک و هم غیرپارامتر یک تخمین زده می‌شوند. در این مطالعه از تخمین پارامتری استفاده شده است. رویکرد مطرح در این حوزه تحلیل مرزی تصادفی است. در SFA علاوه بر انحراف از حداکثر خروجی، تغییرات ناشناخته در خروجی که مربوط به شوک‌ها و خطای اندازه‌گیری است نیز به عنوان ناکارایی به حساب می‌آید. ما مدل DDF را با در نظر گرفتن $g_y = 1$ و $g_b = 1$ و تابع درجه دوم پارامتری کردیم:

$$\begin{aligned} \bar{D}_{0it}(x_{it}, y_{it}, b_{it}; 1, -1) = & \alpha'_0 + \sum_{n=1}^2 \alpha'_n x_{nit} + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^2 \sum_{n'=1}^2 \alpha'_{nn'} x_{nit} x_{n'it} + \beta'_1 y_{it} + \frac{1}{2} \beta'_2 y_{it}^2 + \\ & \sum_{j=1}^3 \gamma_j b_{jit} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^3 \sum_{j'=1}^3 \gamma'_{jj'} b_{jit} b_{j'it} + \sum_{n=1}^2 \delta'_n x_{nit} y_{it} + \sum_{n=1}^2 \sum_{j=1}^3 \eta'_{nj} x_{nit} b_{jit} + \sum_{j=1}^3 \eta'_j y_{it} b_{jit} + \\ & + \psi_1 t + \psi_2 t^2 + \psi' c + \psi'' s + \psi''' g + \gamma_1 After_{it} + \gamma'_1 owner \times After_{it} + \\ & \gamma_2 lrpi + \gamma'_2 lrpo + \gamma''_2 owner \times lrpi + \gamma'''_2 owner \times lrpo + \\ & \gamma_3 lrate + \gamma'_3 owner \times lrate + v_{it} \end{aligned} \quad (4)$$

که در آن x_1 و x_2 به ترتیب حرارت ورودی و ظرفیت و y مقدار تولید برق است. ستاده نامطلوب، b_1 و b_2 به ترتیب مقدار سولفور دی‌اکسید گوگرد و اکسید نیتروژن است. خطای تصادفی با توزیع نرمال استاندارد، $N(0, \sigma_v^2)$ با v نشان و به مدل اضافه شده است. برای بررسی اثر اعمال سیاست هدفمندسازی یارانه‌ها بر کارایی نیروگاه‌های دولتی و خصوصی از متغیر مجازی $After$ استفاده کردیم و معناداری ضریب آن به سؤال پژوهش مبنی بر تأثیر مجموعه سیاست‌های اعمالی بعد از این دوره پاسخ خواهد داد. برای بررسی اثر شوک قیمتی بعد از سال ۱۳۸۹ بر کارایی نیروگاه‌های دولتی و خصوصی از لگاریتم قیمت حقیقی ورودی $lrpi$ ، لگاریتم قیمت حقیقی خروجی $lrpo$ و نسبت آن‌ها $lrate$ استفاده شده است. همچنین از آنجایی که تغییر قیمت‌ها بر کارایی تابع نوع مالکیت نیروگاه (خصوصی و دولتی) می‌باشد، بنابراین متغیر مجازی مالکیت $owner$ نیز به مدل اضافه شده است.

حال با کسر کردن $\bar{D}_{0it}(x_{it}, y_{it}, b_{it}; 1, -1)$ از دو طرف معادله و جایگزینی $u = \bar{D}_{0it}(x_{it}, y_{it}, b_{it}; 1, -1)$ در سمت راست معادله و اعمال خاصیت برگردانی خواهیم داشت:

$$\begin{aligned}
 -\alpha_{it} = & \alpha'_0 + \sum_{n=1}^2 \alpha'_n x_{nit} + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^2 \sum_{n'=1}^2 \alpha'_{nn'} x_{nit} x_{n'it} + \beta'_1 (y_{it} + \alpha_{it}) + \frac{1}{2} \beta'_2 (y_{it} + \alpha_{it})^2 + \\
 & \sum_{j=1}^2 \gamma_j (b_{jit} - \alpha_{it}) + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^2 \sum_{j'=1}^2 \gamma'_{jj'} (b_{jit} - \alpha_{it})(b_{j'it} - \alpha_{it}) + \sum_{n=1}^2 \delta'_n x_{nit} (y_{it} + \alpha_{it}) + \\
 & \sum_{n=1}^2 \sum_{j=1}^2 \eta'_{nj} x_{nit} (b_{jit} - \alpha_{it}) + \sum_{j=1}^2 \eta'_j (y_{it} + \alpha_{it})(b_{jit} - \alpha_{it}) + \quad (5)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \psi_1 t + \psi_2 t^2 + \psi'c + \psi''s + \psi'''g + \gamma_1 After_{it} + \gamma'_1 owner \times After_{it} + \\
 & \gamma_2 lrpi + \gamma'_2 lrpo + \gamma''_2 owner \times lrpi + \gamma'''_2 owner \times lrpo + \\
 & \gamma_3 lrate + \gamma'_3 owner \times lrate + v_{it} - u_{it}
 \end{aligned}$$

u فاصله بین تولید واقعی نیروگاه و مرز است که بنا به تعریفش نامنفی است و اگر بنگاه در کاراترین حالت تولیدی خود قرار داشته باشد، اندازه آن صفر می‌شود. u می‌تواند توزیع نیم‌نرمال، نمایی و نرمال بریده‌شده داشته باشد. α_{it} مقدار آلاینده دی‌اکسیدکربن در نظر گرفته شده است.

بعد از تخمین پارامترهای مدل به تخمین کارایی منحصر به فرد می‌پردازیم. کارایی فنی برای نیروگاه i ام در سال t ام به صورت زیر نشان داده می‌شود.

$$TE_{it} = E \langle e^{-u_{it}} | v_{it} - u_{it} \rangle \quad (6)$$

۵- معرفی و تحلیل داده

جامعه آماری این مطالعه نیروگاه‌های بخاری، گازی، سیکل ترکیبی و دیزلی کشور ایران است. طبق اطلاعات جمع‌آوری شده از آمار تفصیلی صنعت برق (۱۳۸۴-۱۳۹۵)، ۲۰ نیروگاه بخاری، ۵۶ نیروگاه گازی، ۱۹ نیروگاه سیکل ترکیبی و یک شبکه نیروگاه دیزلی در بازه زمانی ۱۴ سال (۱۳۸۰ تا ۱۳۹۳) در حال فعالیت بوده‌اند. در این مطالعه از نیروگاه‌های سرو (چادرم‌لو)، فرگ داراب، سمنان و شیروان به علت سال‌های کاری اندک صرف نظر شده است. تعداد مشاهدات این مطالعه ۹۴۹ مورد می‌باشد. متغیرهای

فنی و زیست‌محیطی نیروگاه‌ها که در توضیح ناکارایی مؤثرند، شامل حرارت ورودی، ظرفیت نامی یا اسمی، مقدار تولید برق و میزان آلودگی دی‌اکسیدی کربن، اکسید نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد هستند. در ادامه، در جدول زیر به آمار توصیفی این متغیرها می‌پردازیم.

جدول ۱. آمار توصیفی متغیرهای فنی و زیست‌محیطی

متغیر	علامت متغیر	واحد	میانگین	انحراف معیار	مینیمم	ماکسیمم
تولید	y	میلیون مگاوات ساعت	۲/۷۴۱۷۲۳	۲/۹۳۲۳۷۲	۰/۰۰۰۴۷۳	۱۴/۰۶۶۳۸
ظرفیت	x_2	هزار MMBtu/h	۲/۰۳۹۲۸۷	۱/۷۶۳۴۴۲	۰/۰۸۵۳۰۳۲	۹/۷۸۵۹۸۴
حرارت ورودی	x_1	میلیون MMBtu	۰/۰۲۵۷۳۰۹	۰/۰۲۵۵۷۲۶	۰/۰۰۰۰۱۳۹	۰/۱۲۲۹۴۴۹
دی‌اکسید کربن	α	تن	۱/۸۰۷۵۹۲	۱/۹۸۹۷۳۷	۰/۰۰۰۴۰۲۲	۱۱/۲۸۵۶۴
اکسید نیتروژن	b_2	هزارتن	۵/۳۸۱۲۳۹	۶/۷۸۹۰۲۷	۰/۰۰۱۳۶۵۱	۴۰/۷۹۲۵
دی‌اکسید گوگرد	b_1	هزارتن	۶/۳۵۳۰۸۸	۱۵/۰۵۷۷۳	۰/۰۰۰۲۸۹۵	۱۱۵/۸۵۹۳

با توجه به تفکیک و نوع مشخص شده در طبقه‌بندی سال ۱۳۹۴، مشاهده شده است نیروگاه‌های بخاری سهم بیشتری از تولید برق کشور را به خود اختصاص داده‌اند و با پیشرفت تکنولوژی، مقدار تولید نیروگاه‌های سیکل ترکیبی افزایش یافته و رقابت تنگاتنگی با نیروگاه‌های بخاری دارند. میزان تولید نیروگاه‌های گازی به دلیل افزایش تعداد این نیروگاه‌ها افزایش یافته‌است. نیروگاه‌های دیزلی روند تقریباً یکنواختی در تولید داشته و سهم کمتری را در تولید برق کشور به خود اختصاص داده‌اند.

اگر اندازه این نیروگاه‌ها را مقایسه نماییم، خواهیم دید، ظرفیت نامی نیروگاه‌های بخاری و دیزلی تقریباً ثابت بوده و نیروگاه‌های سیکل ترکیبی ظرفیت خود را در طول زمان افزایش داده‌اند. با احداث نیروگاه‌های گازی با ظرفیت بالاتر میانگین این نیروگاه‌ها افزایش یافته است. طی سال‌های بعد از ۱۳۹۰ نیروگاه‌های سیکل ترکیبی بیشترین ظرفیت را به خود اختصاص داده‌اند و نیروگاه‌های بخاری در مقام دوم قرار دارند. ظرفیت نیروگاه‌های دیزلی و گازی تقریباً برابر بوده و در مقام سوم جای دارند.

طبق محاسبات انجام شده ۷۰ تا ۸۰ درصد از حرارت ورودی به نیروگاه‌ها از گاز طبیعی تأمین می‌شود. نفت کوره (مازوت) و گازوئیل به ترتیب در مقام دوم و سوم قرار دارند. در بررسی میزان آلودگی دی‌اکسیدکربن تولیدی نیروگاه‌ها، نشان می‌دهد که نیروگاه‌های سیکل ترکیبی به‌ازای هر کیلووات ساعت برق تولیدی در مقایسه با سایر نیروگاه‌ها عملکرد بهتری داشته‌اند.

برای بررسی اثر اعمال سیاست هدفمندسازی یارانه‌ها بر کارایی نیروگاه‌های دولتی و خصوصی از متغیر مجازی *After* استفاده کردیم و معناداری ضریب آن به سؤال پژوهش مبنی بر تأثیر مجموعه سیاست‌های اعمالی بعد از این دوره پاسخ می‌دهد. این متغیر برای سال‌های قبل از هدفمندسازی یارانه‌ها مقدار صفر و برای سال‌های بعد از آن مقدار یک دارد.

نتایج بررسی متغیرهای قیمتی تأثیرگذار بر نیروگاه‌ها از جمله قیمت فروش سوخت مصرفی نیروگاه‌ها در بازار خاورمیانه، قیمت دلار، قیمت تحویلی هر لیتر از سوخت‌ها به نیروگاه‌های کشور و قیمت فروش داخلی هر کیلووات ساعت برق تولیدی، حاکی از آن است که قیمت تحویلی هر لیتر از سوخت‌ها به نیروگاه‌های کشور و قیمت فروش داخلی هر کیلووات ساعت برق تولیدی قبل و بعد از هدفمندسازی یارانه‌ها دچار شکست ساختاری در سال ۱۳۸۹ شده است. با توجه به این که بیش از ۷۰ درصد از حرارت ورودی به نیروگاه‌ها از گاز طبیعی تأمین می‌شود، بنابراین فقط قیمت فروش گاز طبیعی به‌عنوان قیمت سوخت ورودی در نظر شده است. با توجه به این موضوع، متغیر لگاریتم طبیعی قیمت حقیقی ورودی $lrpi = \ln(input\ price / (price\ oil * dollar))$ ، لگاریتم طبیعی قیمت حقیقی خروج $lrpo = \ln(output\ price / (price\ oil * dollar))$ و $lrate = \ln(\frac{real\ price\ input}{real\ price\ output})$ که از تقسیم قیمت حقیقی ورودی به قیمت حقیقی خروجی به دست می‌آید، ساخته شده است.

همچنین از آنجایی که تغییر قیمت‌ها بر کارایی تابع نوع مالکیت نیروگاه (خصوصی و دولتی) می‌باشد، بنابر این متغیر مجازی مالکیت به مدل اضافه شده است. متغیر مجازی *owner* برای نیروگاه‌های دولتی مقدار صفر و برای نیروگاه‌های خصوصی مقدار یک دارد.

۶- یافته‌های پژوهش

تخمین پارامترها به روش حداکثر درست‌نمایی با دستور xtfrontier نرم‌افزار استت انجام گرفت. همچنین تحولات کارایی نیروگاه‌ها در طول زمان طبق رابطه $u_{it} = \exp\{-\eta(t - T_i)\}u_i$ دارای تابع نمایی نسبت به زمان در نظر گرفته شد. در نهایت بعد از تخمین پارامترهای مدل به تخمین کارایی منحصربه فرد پرداخته و نتایج حاصل از اعمال روش تصادفی مرزی زمان- متغیر نمایی بر داده‌های تابلویی برای ۴ حالت مختلف بررسی شده است.

جدول ۳ نشان دهنده ضرایب متغیرهای پیش‌بینی‌کننده ناکارایی است، انحراف معیار آن‌ها در پرانتز و معناداری آن‌ها نیز با ستاره در چهار حالت مختلف به روش تصادفی مرزی زمان- متغیر نمایی مشخص شده است. پیش از آن مرور مختصری بر متغیرهای مطالعه خواهیم داشت. (جدول ۲)

جدول ۲. معرفی مختصری از متغیرها

علامت	توضیح	علامت	توضیح
x_1	حرارت ورودی	t	زمان
x_2	ظرفیت نامی	t^2	زمان به توان ۲
y	مقدار تولید الکتریسیته	$lrpi$	لگاریتم قیمت حقیقی ورودی
b_1	مقدار سولفور دی اکسید	$lrpo$	لگاریتم قیمت حقیقی خروجی
b_2	مقدار نیتروژن اکسید	$lrate$	لگاریتم قیمت حقیقی ورودی بر قیمت حقیقی خروجی
c	نیروگاه سیکل ترکیبی	$After$	متغیر مجازی سیاست هدفمندکردن یارانه‌ها
g	نیروگاه گازی	$owner$	متغیر مجازی مالکیت (دولتی و خصوصی)
s	نیروگاه بخاری	α	مقدار کربن دی اکسید

جدول ۳. نتایج تخمین

VARIABLES	MLTN 0	MLTN 1	MLTN 2	MLTN 3
x_2	۰.۱۴۶***	۰.۱۴۳***	۰.۱۳۸***	۰.۱۴۲***
	(۰.۰۱۱۵)	(۰.۰۱۱۷)	(۰.۰۱۲۴)	(۰.۰۱۱۹)
x_1	-۴.۲۰۵	-۳.۹۹۵	-۳.۸۴۳	-۳.۹۰۰
	(۲.۵۶۵)	(۲.۵۷۰)	(۲.۵۶۵)	(۲.۵۶۷)
$x_2 x_1$	-۱.۱۲۳	-۱.۰۸۷	-۰.۸۳۹	-۰.۹۴۳
	(۱.۰۴۶)	(۱.۰۴۹)	(۱.۰۵۲)	(۱.۰۵۱)
y	-۰.۴۰۸***	-۰.۴۰۹***	-۰.۴۱۲***	-۰.۴۱۰***
	(۰.۰۱۵۶)	(۰.۰۱۵۶)	(۰.۰۱۵۶)	(۰.۰۱۵۶)
y^2	-۰.۰۰۱۰۳	-۰.۰۰۰۹۴۹	-۰.۰۰۰۴۹۲	-۰.۰۰۰۶۷۲
	(۰.۰۰۲۰۸)	(۰.۰۰۲۰۸)	(۰.۰۰۲۰۸)	(۰.۰۰۲۰۸)
b_1	-۰.۰۲۱۱***	-۰.۰۲۱۳***	-۰.۰۲۱۹***	-۰.۰۲۱۳***
	(۰.۰۰۱۱۹)	(۰.۰۰۱۲۲)	(۰.۰۰۱۲۷)	(۰.۰۰۱۲۲)
b_2	۰.۰۰۱۶۴	۰.۰۰۱۴۹	۰.۰۰۱۳۹	۰.۰۰۱۵۵
	(۰.۰۰۲۹۸)	(۰.۰۰۳۰۰)	(۰.۰۰۳۰۲)	(۰.۰۰۳۰۲)
$b_1 b_2$	-۰.۰۰۰۴۷۲***	-۰.۰۰۰۴۷۹***	-۰.۰۰۰۴۳۹***	-۰.۰۰۰۴۶۶***
	(۷.۹۳e-۰۵)	(۷.۹۸e-۰۵)	(۸.۰۹e-۰۵)	(۷.۹۴e-۰۵)
yx_1	۰.۶۷۱*	۰.۶۴۳*	۰.۵۵۵	۰.۵۹۶*
	(۰.۳۵۳)	(۰.۳۵۴)	(۰.۳۵۴)	(۰.۳۵۴)
yx_2	۰.۰۰۴۱۹	۰.۰۰۴۲۰	۰.۰۰۳۶۲	۰.۰۳۶۳
	(۰.۰۰۵۹۰)	(۰.۰۰۵۹۰)	(۰.۰۰۵۸۸)	(۰.۰۰۵۹۰)
$b_1 x_1$	۰.۳۹۸***	۰.۴۰۲***	۰.۴۰۷***	۰.۴۰۶***
	(۰.۰۵۳۴)	(۰.۰۵۳۴)	(۰.۰۵۲۹)	(۰.۰۵۳۲)
$b_1 x_2$	۰.۰۰۳۰۴***	۰.۰۰۳۱۴***	۰.۰۰۳۰۷***	۰.۰۰۳۰۹***
	(۰.۰۰۰۵۰۷)	(۰.۰۰۰۵۱۳)	(۰.۰۰۰۵۰۵)	(۰.۰۰۰۵۰۷)
$b_2 x_1$	-۰.۵۴۹***	-۰.۵۴۶***	-۰.۵۶۰***	-۰.۵۶۵***
	(۰.۱۷۷)	(۰.۱۷۸)	(۰.۱۷۶)	(۰.۱۷۷)
$b_2 x_2$	-۰.۰۰۰۵۱۴	-۰.۰۰۰۶۲۲	-۰.۰۰۰۴۷۹	-۰.۰۰۰۵۶۹
	(۰.۰۰۱۱۴)	(۰.۰۰۱۱۴)	(۰.۰۰۱۱۴)	(۰.۰۰۱۱۴)
$y b_1$	-۰.۰۰۲۵۳***	-۰.۰۰۲۵۴***	-۰.۰۰۲۵۶***	-۰.۰۰۲۵۷***
	(۰.۰۰۰۳۳۵)	(۰.۰۰۰۳۳۶)	(۰.۰۰۰۳۳۲)	(۰.۰۰۰۳۳۴)
$y b_2$	۰.۰۰۳۲۹***	۰.۰۰۳۳۳***	۰.۰۰۳۲۹***	۰.۰۰۳۳۸***
	(۰.۰۰۰۸۹۲)	(۰.۰۰۰۸۹۹)	(۰.۰۰۰۸۹۳)	(۰.۰۰۰۸۹۳)
c	۰.۳۷۵***	۰.۳۷۶***	۰.۳۸۴***	۰.۳۷۷***
	(۰.۰۳۸۸)	(۰.۰۴۰۳)	(۰.۰۵۰۹)	(۰.۰۴۱۷)
S	۰.۲۲۴***	۰.۲۲۲***	۰.۲۲۵***	۰.۲۲۱***

VARIABLES	MLTN 0	MLTN 1	MLTN 2	MLTN 3
	(۰.۰۳۹۵)	(۰.۰۴۱۳)	(۰.۰۵۴۰)	(۰.۰۴۲۵)
<i>g</i>	۰.۲۶۸***	۰.۲۶۸***	۰.۲۸۴***	۰.۲۷۱***
	(۰.۰۳۸۷)	(۰.۰۴۰۲)	(۰.۰۵۱۲)	(۰.۰۴۱۷)
<i>lrpi</i>			۰.۰۰۲۳۶	
			(۰.۰۰۴۲۷)	
<i>lrpo</i>			-۰.۰۱۷۵**	
			(۰.۰۰۸۱۰)	
<i>ownerlrpi</i>			-۰.۰۲۰۸***	
			(۰.۰۰۷۸۱)	
<i>ownerlrpo</i>			۰.۰۲۰۷***	
			(۰.۰۰۷۷۵)	
<i>After</i>		۰.۰۰۶۵۶		
		(۰.۰۰۷۴۶)		
<i>ownerAfter</i>		-۰.۰۱۳۹		
		(۰.۰۱۰۳)		
<i>lrate</i>				۰.۰۰۳۵۴
				(۰.۰۰۴۰۷)
<i>ownerlrate</i>				-۰.۲۰۵***
				(۰.۰۰۷۷۸)
Constant	-۰.۱۸۷***	-۰.۱۸۴***	-۰.۲۸۷***	-۰.۱۷۶***
	(۰.۰۳۸۰)	(۰.۰۳۹۷)	(۰.۰۷۲۹)	(۰.۰۴۲۱)
Observations	۹۴۹	۹۴۹	۹۴۹	۹۴۹
N	۸۸	۸۸	۸۸	۸۸
/lnsigma2	-۰.۶۳۹	-۰.۱۷۱	-۰.۳۲۳	-۰.۷۹۸
	(۱.۵۳۶)	(۱.۴۲۹)	(۱.۲۷۵)	(۰.۹۱۹)
/ilgtgamma	۵.۳۵۶***	۵.۲۵۰***	۵.۱۰۶***	۴.۶۳۹***
	(۱.۵۴۳)	(۱.۴۳۶)	(۱.۲۸۲)	(۰.۹۲۶)
/mu	-۲.۳۴۰	-۲.۰۳۹	-۱.۶۴۹	-۰.۷۲۷
	(۴.۵۱۳)	(۳.۷۷۱)	(۲.۸۶۸)	(۱.۲۳۴)
/eta	-۰.۰۴۵۴***	-۰.۰۴۵۴***	-۰.۰۴۳۱***	-۰.۰۴۲۸***
	(۰.۰۰۳۸۴)	(۰.۰۰۴۲۶)	(۰.۰۰۴۲۷)	(۰.۰۰۴۲۱)
Standard errors in parentheses *** p<۰.۰۱, ** p<۰.۰۵, * p<۰.۱				

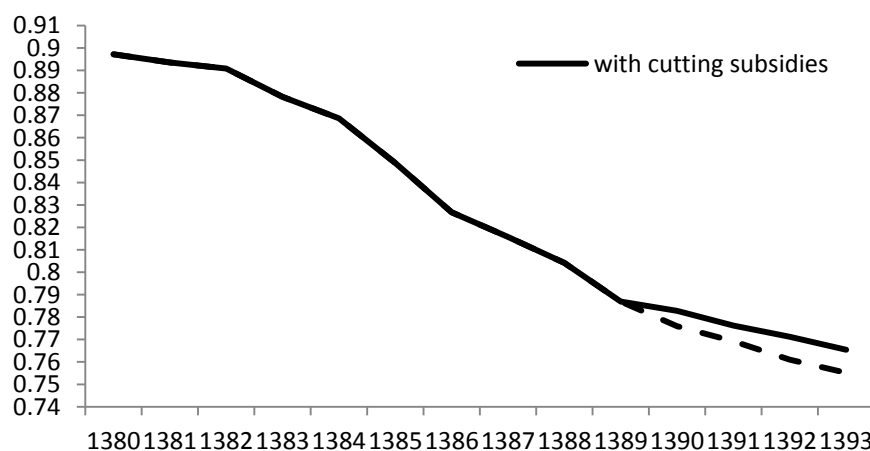
* متغیرها در جدول ۲ تعریف شده‌اند.

منبع: یافته‌های تحقیق

در حالت MLTN1 برای تخمین ناکارایی علاوه بر متغیرهای فنی و زیست محیطی از متغیر مجازی *After* و *ownerAfter* که در جدول ۲ معرفی شدند، استفاده می‌شود. بر این اساس و تصریح مدل ذکر شده در معادله (۴) خواهیم داشت:

$$\frac{\partial \bar{D}_{0it}(x_{it}, y_{it}, b_{it}; 1, -1)}{\partial After_{it}} = \gamma_1 + \gamma_2 owner_{it} \quad (7)$$

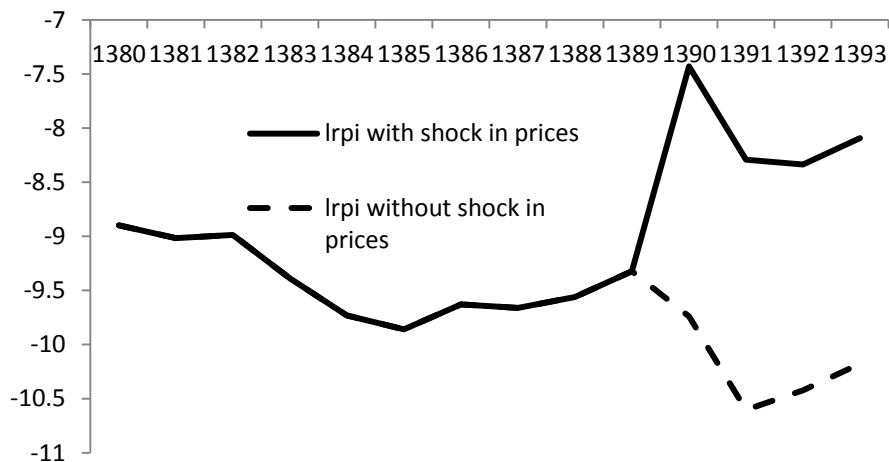
ضرایب این دو متغیر طبق نتایج این روش در فاصله اطمینان ۱۰ درصد معنادار نیست. با توجه به علامت و معناداری ضریب η می‌توان نتیجه گرفت با گذر زمان کارایی کاهش یافته‌است. پس از محاسبه میزان کارایی، به مقایسه کارایی فنی نیروگاه‌ها در حالت وجود و عدم وجود سیاست هدفمندسازی یارانه‌ها با یکدیگر می‌پردازیم. به بیان فنی حالت شبیه‌سازی شده کارایی در رخداد هدفمندی $E(e^{-u_i} | \varepsilon_i)$ با حالت عدم رخداد هدفمندی $E(e^{-u_i} | \varepsilon_i)$ مقایسه می‌شوند.



نمودار ۱. مقایسه کارایی فنی با وجود و عدم وجود سیاست هدفمند کردن یارانه‌ها در حالت اول (MLTN1) روش تصادفی مرزی زمان - متغیر نمایی

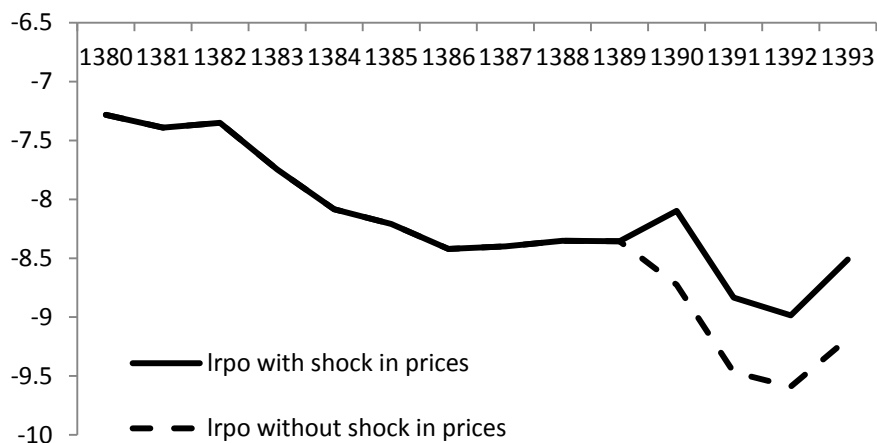
منبع: یافته‌های تحقیق

در حالت MLTN2 علاوه بر متغیرهای فنی و زیست‌محیطی با واحدهای پیشین، از لگاریتم طبیعی قیمت حقیقی خروجی و لگاریتم قیمت حقیقی ورودی به این منظور استفاده شده است. در نمودارهای ۲ و ۳ شاهد شکست ساختاری در قیمت‌ها و مقایسه با شرایطی که اگر قیمت‌ها بدون شوک و با روند قبلی افزایش پیدا می‌کردند، هستیم.



نمودار ۲. لگاریتم قیمت حقیقی ورودی نیروگاه‌های سوخت فسیلی و سناریوی عدم وجود شوک قیمتی سال ۱۳۸۹

منبع: یافته‌های تحقیق



نمودار ۳. لگاریتم قیمت حقیقی خروجی نیروگاه‌های سوخت فسیلی و سناریوی عدم وجود شوک قیمتی سال ۱۳۸۹

منبع: یافته‌های تحقیق

پس در این حالت علاوه بر متغیرهای فنی و زیست‌محیطی که در جدول ۲ معرفی شده‌اند از متغیرهای قیمتی $lrpi$ ، $lrpo$ ، $owner \times lrpi$ و $owner \times lrpo$ استفاده کردیم. بر این اساس و تصریح مدل ذکر شده در معادله (۴) خواهیم داشت:

$$\frac{\partial \bar{D}_{0it}(x_{it}, y_{it}, b_{it}; 1, -1)}{\partial lrpi_t} = \gamma_2 + \gamma_2'' owner_{it} \quad (۸)$$

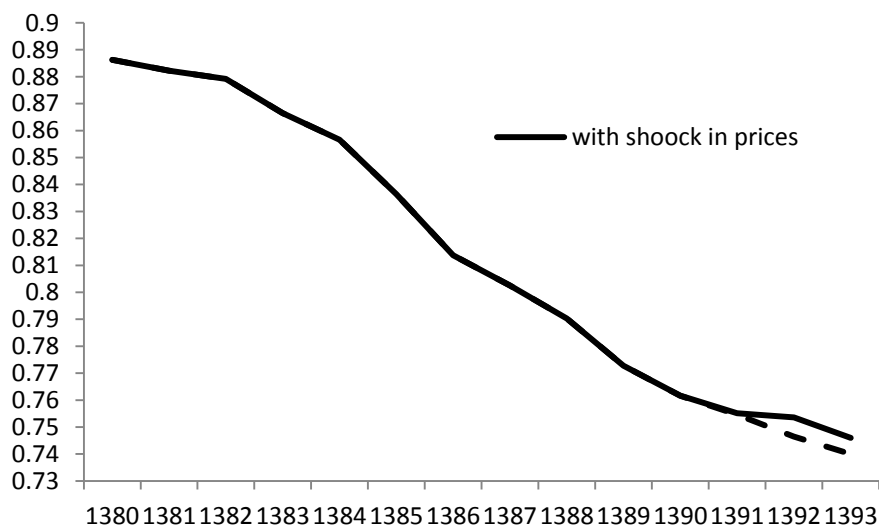
$$\frac{\partial \bar{D}_{0it}(x_{it}, y_{it}, b_{it}; 1, -1)}{\partial lrpo_t} = \gamma_2' + \gamma_2''' owner_{it}$$

طبق نتایج این روش تغییر قیمت سوخت ورودی به نیروگاه‌ها تنها بر نیروگاه‌های خصوصی تأثیرگذار است و موجب افزایش کارایی آن می‌شود درحالی‌که باتوجه به علامت و معناداری ضریب لگاریتم قیمت حقیقی خروجی می‌توان نتیجه گرفت تغییر قیمت برق تولیدی از نیروگاه‌ها موجب افزایش کارایی می‌شود. از طرفی اثر این تغییر قیمت بر کارایی نیروگاه‌های خصوصی منفی است و از آنجایی که مقدار γ''' بزرگ‌تر از γ_2' باشد، افزایش قیمت خرید برق تولیدی از آنها موجب کاهش کارایی نیروگاه‌های خصوصی می‌شود.

همچنین با توجه به معناداری و منفی بودن ضریب η می‌توان نتیجه گرفت اثر زمان بر کارایی نیروگاه‌ها منفی است و با گذر زمان کارایی کاهش می‌یابد. پس از محاسبه میزان کارایی، به مقایسه کارایی فنی نیروگاه‌ها در حالتی که اگر شوک قیمتی حاصل از هدفمندسازی یارانه‌ها اتفاق نمی‌افتاد و قیمت‌ها با روند قبلی خود افزایش پیدا می‌کردند، می‌پردازیم. به بیان فنی حالت شبیه‌سازی شده کارایی در رخداد شوک قیمتی هدفمندی (کادر ۱) با حالت شبیه‌سازی شده کارایی در عدم رخداد شوک قیمتی هدفمندی $E(e^{-u_i} | \epsilon_i)$ مقایسه می‌شوند. $lrpi$ و $lrpinr$ در نمودار ۲ و ۳ و $lrpo$ در نمودار ۳ نشان داده شده‌اند.

کادر ۱

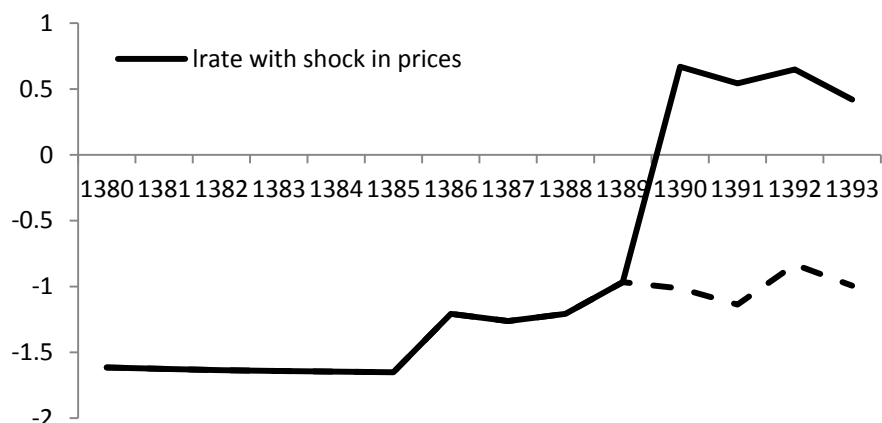
$$E \left(e^{-u_i} + \gamma_2 \times (lrpi - lrpnr) + \gamma'_2 \times (lrpo - lrponr) + \gamma''_2 \text{owner} \times (lrpi - lrpnr) + \right.$$



نمودار ۴. کارایی فنی برآورد شده در صورت وجود و عدم وجود شوک قیمتی سال ۱۳۸۹ در حالت دوم (MLTN 2)

منبع: یافته‌های تحقیق

با توجه به توضیحاتی که در مورد تغییرات قیمت‌ها در بخش‌های پیشین داده شده، در حالت MLTN3 علاوه بر متغیرهای فنی و زیست‌محیطی با واحدهای پیشین، از متغیر لگاریتم طبیعی نسبت قیمت حقیقی ورودی به قیمت حقیقی خروجی برای بررسی اثر شوک قیمتی سال ۱۳۸۹ بر کارایی نیروگاه‌ها استفاده شده است. در نمودار ۵ شاهد این شکست ساختاری و مقایسه با شرایطی که اگر قیمت‌ها بدون شوک و با روند قبلی افزایش پیدا می‌کردند، هستیم.



نمودار ۵. لگاریتم نسبت قیمت ورودی به خروجی نیروگاه‌های فسیلی و سناریوی عدم وجود شوک قیمتی سال ۱۳۸۹

منبع: یافته‌های تحقیق

پس در این حالت علاوه بر متغیرهای فنی و زیست‌محیطی که در جدول ۲ معرفی شده‌اند از متغیرهای قیمتی $lrate$ و $owner \times lrate$ استفاده کردیم. بر این اساس و تصریح مدل ذکر شده در معادله (۴) خواهیم داشت:

$$\frac{\partial \bar{D}_{0it}(x_{it}, y_{it}, b_{it}; 1, -1)}{\partial lrate_t} = \gamma_3 + \gamma'_3 owner_{it} \quad (9)$$

در این روش ضریب متغیر $lrate$ در فاصله اطمینان ۱۰ درصد معنادار نیست؛ اما با توجه به معناداری و علامت ضریب $owner \times lrate$ می‌توان نتیجه گرفت تغییر نسبت قیمت سوخت ورودی به برق تولیدی نیروگاه‌ها فقط بر نیروگاه‌های خصوصی تأثیر مثبت می‌گذارد و این تغییر بر نیروگاه‌های دولتی بی‌اثر است. همچنین با توجه به علامت و معناداری ضریب η اثر زمان بر کارایی منفی است و با گذشت زمان، کارایی کاهش می‌یابد. پس از محاسبه میزان کارایی، به مقایسه کارایی فنی نیروگاه‌ها در حالتی که اگر شوک قیمتی حاصل از هدفمندسازی یارانه‌ها اتفاق نمی‌افتاد و قیمت‌ها با روند قبلی خود افزایش پیدا می‌کردند، می‌پردازیم. به بیان فنی حالت شبیه‌سازی شده کارایی در رخداد شوک قیمتی هدفمندی (کادر ۲) با حالت شبیه‌سازی شده کارایی در

عدم رخداد شوک قیمتی هدفمندی $E(e^{-u_i}|\varepsilon_i)$ مقایسه می‌شوند. $lrate$ و $lratenr$ در نمودار ۶ نشان داده شده‌اند.

کادر ۲

$$E\left(e^{-u_i + \gamma_3 \times (lrate - lratenr) + \gamma'_3 \text{owner} \times (lrate - lratenr)} \middle| \varepsilon_i\right)$$



نمودار ۶. کارایی فنی در صورت وجود و عدم وجود شوک قیمتی سال ۱۳۸۹ در حالت سوم (MLTN3)

منبع: یافته‌های تحقیق

۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مطالعه به بررسی میزان و عوامل تعیین‌کننده ناکارایی نیروگاه‌های کشور با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا به نظر می‌رسد تغییرات قیمتی مانند قیمت سوخت تحویلی به این نیروگاه‌ها و برق تحویلی از آن‌ها یکی از مسائلی است که در مطالعات بررسی ناکارآمدی کمتر مورد توجه واقع شده است. از این رو در این مطالعه ناکارآمدی نیروگاه‌ها از این دیدگاه مورد بررسی قرار گرفته است.

نهاده‌های مورد نظر تحقیق شامل حرارت ورودی و ظرفیت نامی و ستانده‌ها شامل مقدار تولید برق، میزان دی‌اکسید کربن، دی‌اکسید گوگرد و اکسید نیتروژن می‌باشد. برای تحلیل تکنولوژی تولید وقتی ستانده مطلوب و نامطلوب با هم تولید می‌شوند از تابع فاصله‌ای جهت‌دار استفاده شده است.

برای بررسی اثر اعمال سیاست هدفمندسازی یارانه‌ها بر کارایی نیروگاه‌های دولتی و خصوصی از متغیر مجازی و برای بررسی اثر شوک قیمتی بعد از سال ۱۳۸۹ بر کارایی نیروگاه‌های دولتی و خصوصی از لگاریتم قیمت حقیقی ورودی، لگاریتم قیمت حقیقی خروجی و نسبت آن‌ها استفاده کردیم. همچنین از آنجایی که اثر تغییر قیمت‌ها بر کارایی ممکن است تابع نوع مالکیت نیروگاه (خصوصی و دولتی) باشد، پس متغیر مجازی مالکیت نیز به مدل اضافه شده است.

برای تخمین این تابع از روش پارامتریک تحلیل مرزی تصادفی استفاده شده است. همچنین در این روش جزء خطا دارای دو جزء با توزیع مشخص است. جز اول که کارایی را می‌سنجد از توزیع مطلقاً مثبت و جز دوم که خطای تصادفی است، از توزیع متقارن پیروی می‌کند. جزء اول را نرمال بریده شده در نظر گرفته شده و بر این اساس تخمین پارامترها به روش حداکثر درست‌نمایی انجام شده است.

بر اساس نتایج حاصل از این روش نمی‌توان اثر سیاست هدفمندسازی یارانه‌ها بر کارایی نیروگاه‌ها چه دولتی و چه خصوصی را به‌طور معنی‌داری تأیید نمود؛ اما می‌توان چنین گفت که تغییر نسبت قیمت سوخت ورودی بر قیمت برق تولیدی از نیروگاه‌ها در نیروگاه‌های خصوصی تأثیر مثبت می‌گذارد. در مورد اثر قیمت ورودی نیروگاه‌ها بر کارایی البته افزایش قیمت فروش سوخت تحویلی به نیروگاه‌های خصوصی همچنان اثر مثبت بر کارایی آن‌ها دارد؛ اما افزایش قیمت خرید برق تولیدی بر کارایی نیروگاه‌های دولتی اثر مثبت دارد، درحالی که این تغییر موجب کاهش کارایی نیروگاه‌های خصوصی می‌شود.

به‌طور کلی می‌توان چنین نتیجه گرفت که نسبت قیمت ورودی به خروجی نیروگاه‌ها تأثیر بسزایی در تعیین کارایی فنی نیروگاه‌های تولید برق کشور دارد و این نتیجه نسبت به تمام تغییرات اعمالی استوار است. گرچه این نتیجه در مورد نیروگاه‌های خصوصی کاملاً مورد تأیید است، اما در مورد نیروگاه‌های دولتی بعضاً تأیید نشد؛ لذا

حداقل می‌توان گفت که اثر ذکر شده در مورد نیروگاه‌های خصوصی به‌طور معنی‌داری بزرگ‌تر از نیروگاه‌های دولتی است. این نتایج از آن جهت مهم هستند که به سیاست‌گذاران برای اتخاذ تصمیمات بهتر در مورد قیمت سوخت تحویلی و برق دریافتی از نیروگاه‌ها و ساختار مالکیتی نیروگاه‌ها کمک شایانی می‌نماید.

منابع

دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی (۱۳۸۴-۱۳۹۵). آمار و نمودارهای انرژی ایران و جهان. وزارت نیرو.

سجادی‌فر، حسین؛ عسلی، مهدی؛ فتحی، بهرام و محمدباقری، اعظم (۱۳۹۴). اندازه‌گیری کارایی انرژی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها با خروجی‌های نامطلوب. فصلنامه علمی-پژوهشی برنامه‌ریزی و بودجه. سال بیستم. شماره ۴. زمستان ۱۳۹۴. صفحات ۶۹-۵۵.

مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی (۱۳۹۵-۴۵). ترازنامه هیدروکربوری کشور. وزارت نفت.

وزارت نیرو (۱۳۸۴-۱۳۹۵). آمار تفصیلی صنعت برق.

Parmeter, C. F., & Kumbhakar, S. C. (2014). Efficiency analysis: a primer on recent advances. *Foundations and Trends® in Econometrics*, 7(3-4), 191-385

Wang, K., & Wei, Y. M. (2016). Sources of energy productivity change in China during 1997-2012: A decomposition analysis based on the Luenberger productivity indicator. *Energy Economics*, 54, 50-59.

Greenstone, M., List, J. A., & Syverson, C. (2012). *The effects of environmental regulation on the competitiveness of US manufacturing* (No. w18392). National Bureau of Economic Research.

Le Moullec, Y. (2012). Assessment of carbon capture thermodynamic limitation on coal-fired power plant efficiency. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 7, 192-201.

Färe, R., Grosskopf, S., & Pasurka, C. A. (2014). Potential gains from trading bad outputs: The case of US electric power plants. *Resource and Energy Economics*, 36(1), 99-112.

Huang, L., & Zhou, Y. (2016, June). Carbon Prices and Fuel Switching: A Quasi-experiment in Electricity Markets. In *2016 Annual Meeting, July 31-August 2, 2016, Boston, Massachusetts* (No. 236179). Agricultural and Applied Economics Association.

Chan, H. S. R., Li, S., & Zhang, F. (2013). Firm competitiveness and the European Union emissions trading scheme. *Energy Policy*, 63, 1056-1064.

Effect of Cutting Subsidies on Technical Efficiency of Power Plants in Iran

Fatemeh Gholipour Khatir

MSc in Energy Economics, Institute for Management and Planning Studies,
fateme.hgholipourkhatir@gmail.com

Ali Mazyaki¹

PhD in Economics, Assistant Professor in Allameh Tabataba'i University,
mazyaki@atu.ac.ir

Hamed Houri Jafari

PhD in Mechanical Engineering, Assistant Professor in Institute for International
Energy Studies, h_jafari@iies.net

Received: 2018/03/10 Accepted: 2018/03/17

Abstract

There are many studies of the determinant factors of technical efficiency of power plants, but few studies have dealt with the efficiency effect of change in prices of inputs and outputs. In this paper we report on a study that uses the parametric stochastic frontier analysis to assess the effect of reduction of energy subsidies and resultant changes in input and output prices on the efficiency of power plants. The results show that while the direct effect of subsidy reform has not been significant at the macro level in Iran, increasing the input-to-output price ratio of power plants has led to significant increases in the technical efficiency of power plants, especially those operated by the private sector.

JEL Classification: D62, H21, Q41.

Keywords: Technical Efficiency, Power Plants, Cutting Subsidies, Stochastic Frontier Analysis.

1. Corresponding Author