

## محاسبه کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی کشور و بررسی عوامل مؤثر بر آن: کاربرد روش تصادفی ناپارامتریک پوششی داده‌ها

محمدعلی متفکرآزاد<sup>۱</sup>

استاد، دانشگاه تبریز m.motafakker@gmail.com

محسن پورعبادالهیان کویج<sup>۲</sup>

استادیار، دانشگاه تبریز mohsen\_p51@hotmail.com

فیروز فلاحی<sup>۳</sup>

دانشیار، دانشگاه تبریز firfal@yahoo.com

رضا رنج‌پور<sup>۴</sup>

استادیار، دانشگاه تبریز rranjpour@yahoo.com

سکینه سجودی<sup>۴</sup>

دانشجوی دکتری، اقتصاد دانشگاه تبریز s\_sojudi@tabrizu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۰۷ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۲۰

### چکیده

هدف اصلی این مطالعه محاسبه سطح کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی ایران و بررسی عوامل مؤثر در این نیروگاه‌هاست. برای این منظور روش تصادفی ناپارامتریک پوششی داده‌ها (StoNED) طی سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۰ به کار گرفته شده است. این اولین مطالعه‌ای است (بر اساس جستجوهای محققان) که عوامل مؤثر در کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی کشور را با به کارگیری روش StoNED بررسی می‌کند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهند که اندازه و نرخ بهره‌برداری از ظرفیت اثر مثبت و عمر نیروگاه تأثیر منفی در کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی دارد. همچنین، نیروگاه‌ها با سوخت گاز به مراتب از کارایی بالاتری برخوردارند. یافته‌ها حاکی از آن است که تجدید ساختار بازار برق در سال ۱۳۸۲ اثر مثبت در کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی ایران داشته است.

طبقه‌بندی JEL: C14, C51, C61, D24, L33, L94.

کلیدواژه: اندازه نیروگاه، روش تصادفی ناپارامتریک پوششی داده‌ها، عمر نیروگاه، کارایی فنی، نرخ بهره‌برداری از ظرفیت، نیروگاه‌های حرارتی.

۱. ایران، تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده اقتصاد، مدیریت و بازرگانی، تلفن: ۰۴۱۱۳۳۹۲۲۵۶

۲. ایران، تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده اقتصاد، مدیریت و بازرگانی، تلفن: ۰۴۱۱۳۳۹۲۲۶۱

۳. ایران، تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده اقتصاد، مدیریت و بازرگانی، تلفن: ۰۴۱۱۳۳۹۲۲۶۷

۴. نویسنده مسئول، ایران، تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده اقتصاد، مدیریت و بازرگانی، تلفن: ۰۴۱۱۳۳۹۲۲۶۱

## ۱. مقدمه

با پیشرفت تکنولوژی، انرژی برق به محرک بخش صنعت، کشاورزی و حتی خدمات تبدیل شده است. بنابراین، زمینه‌سازی برای عملکرد کارا در تولید این انرژی از طریق کاهش قیمت عرضه این محصول، موجب افزایش رفاه جامعه، همچنین بهبود رقابت‌پذیری سایر محصولات خواهد شد. ارتقای کارایی در تولید انرژی برق در گام نخست نیازمند اندازه‌گیری کارایی و شناخت شرایط کنونی، سپس تعیین عوامل مؤثر در کارایی است. این مطالعه به دنبال محاسبه کارایی فنی و شناسایی نقش عوامل مختلف در تفاوت کارایی فنی در میان نیروگاه‌های حرارتی کشور طی سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۰ است. علت انتخاب نیروگاه‌های حرارتی، سهم بالای آن‌ها در تولید و تأمین برق مصرفی کشور است. بر اساس آمارهای ارائه‌شده از سوی توانیر (۱۳۹۰) این نیروگاه‌ها در سال ۱۳۹۰ نزدیک به ۹۴ درصد تولید برق کشور را بر عهده داشته‌اند.

از دیرباز، یکی از چالش‌ها در زمینه محاسبه کارایی فنی، انتخاب روش محاسبه این شاخص بوده است. این امر سبب شده است طیف وسیعی از مطالعات به مقایسه مزیت‌ها و مضار روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک با یکدیگر و ارائه دلایلی برای انتخاب هر یک از این روش‌ها برای تحلیل شاخص‌های کارایی پردازند. محققان در سال‌های اخیر تلاش کرده‌اند با معرفی روش‌های شبه‌پارامتریک، مزیت‌های روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک را تجمیع و کاستی‌های آن‌ها را جبران کنند. یکی از روش‌های شبه‌پارامتریک که در سال‌های اخیر معرفی و در مطالعات تجربی از آن استقبال شده است روش ناپارامتریک تصادفی پوششی داده‌ها (StoNED)<sup>۱</sup> است. این مطالعه علاوه بر به کارگیری این روش در محاسبه کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی کشور، به صورت ضمنی به معرفی این روش و مزیت‌های آن نیز می‌پردازد. سازماندهی این مطالعه به این شکل است که ابتدا کارایی و روش‌های محاسبه آن معرفی خواهد شد. در بخش بعد پس از مرور ادبیات نظری و تجربی موضوع، الگوی مطالعه ارائه می‌شود. در پایان به تحلیل یافته‌های تجربی تحقیق و ارائه پیشنهادها مبادرت می‌شود.

## ۲. کارایی فنی و روش‌های محاسبه آن

کارایی در ابعاد مختلفی مانند اقتصادی، فنی و کارایی در تخصیص به کار گرفته شده است. کارایی فنی عبارت است از توانایی بنگاه برای استفاده از حداقل نهاده برای تولید

1. Stochastic Nonparametric Envelopment of Data (StoNED)

سطح معینی از محصول یا حداکثرسازی تولید با توجه به سطح معینی از نهاده‌ها در یک تکنولوژی مشخص (کوئلی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۳).

روش‌های محاسبه کارایی فنی به دو دسته پارامتریک و ناپارامتریک تقسیم می‌شوند. در روش‌های پارامتریک که روش تحلیل مرز تصادفی (SFA)<sup>۲</sup> مشهورترین آن‌هاست، تابع تولید با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی برآورد و پس از خروج تأثیر نهاده‌ها و عوامل تصادفی خارج از کنترل بنگاه بر تولید، عامل ناکارایی محاسبه می‌شود. در روش‌های ناپارامتریک که در میان آن‌ها روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)<sup>۳</sup> شناخته شده‌تر است، با به کارگیری روش‌های برنامه‌ریزی خطی، مرز بهینه تولید محاسبه و فاصله بنگاه‌ها تا این مرز به‌منزله ناکارایی در نظر گرفته می‌شود. در روش SFA رابطه تبعی بین نهاده‌ها و محصول در نظر گرفته می‌شود. این تابع دارای جزء خطای دوبخشی است که با یکدیگر ناهمبسته‌اند. بخش اول جزء اخلاقی تصادفی نوفه سفید (ناهمبسته با توزیع یکسان) است و بیانگر عواملی است که از کنترل مدیر بنگاه خارج است. بخش دوم متغیر تصادفی غیرمنفی است که بیانگر ناکارایی فنی است. یکی از ایرادات روش پارامتریک، نیاز به فروض اولیه در خصوص شکل تبعی تابع تولید است، این در حالی است که در روش ناپارامتریک تحلیل پوششی داده‌ها، هیچ‌گونه فرض اولیه‌ای در خصوص شکل تبعی رابطه بین تولید و نهاده‌ها در نظر گرفته نمی‌شود. با وجود این، در این روش نیز که از برنامه‌ریزی خطی برای یافتن مرز حداکثر تولید استفاده می‌شود، امکان انجام آزمون‌های آماری به علت ماهیت ناپارامتریک آن وجود ندارد. همچنین، در روش تحلیل پوششی داده‌ها، تمامی انحراف‌ها از مرز تولید به‌منزله جزء ناکارایی در نظر گرفته می‌شوند و از وجود جزء تصادفی صرف نظر می‌شود.

در سال‌های اخیر برای رفع همزمان ایرادات روش‌های SFA و DEA روش جدیدی با عنوان روش تصادفی ناپارامتریک پوششی داده‌ها (StoNED) معرفی شده است (کازمنن<sup>۴</sup>، ۲۰۰۶). این روش ویژگی‌های روش‌های پارامتریک مرز تصادفی و ناپارامتریک تحلیل پوششی داده‌ها را در شکل واحدی از تحلیل مرز تولید ترکیب

1. Coelli et al.
2. Stochastic Frontier Analysis
3. Data Envelopment Analysis
4. Kuosmanen

می‌کند و نشان می‌دهد که مرز ناپارامتریک و جزء خطای ترکیبی تصادفی می‌توانند به طور هم‌زمان به دست آیند. مزیت این روش آن است که به فرض وجود فرم تبعی خاص برای تابع تولید در آن نیازی نیست و به جای آن، فرم تبعی انعطاف‌پذیر با ویژگی‌های تقعر، یکنواختی و همگنی معرفی می‌شود. همچنین، در این روش بر خلاف روش تحلیل پوششی داده‌ها همه بنگاه‌ها روی شکل مرز تولید تأثیرگذارند و امکان انجام آزمون‌های آماری نیز وجود دارد (همان). در روش تصادفی ناپارامتریک پوششی داده‌ها، تکنیک رگرسیون ناپارامتریک جایگزین رگرسیون حداقل مربعات معمولی می‌شود که به‌منزله حداقل مربعات ناپارامتریک مقعر (CLNS)<sup>۱</sup> شناخته می‌شود. تفاوت روش تصادفی ناپارامتریک پوششی داده‌ها با روش تحلیل پوششی داده‌ها آن است که در روش تحلیل پوششی داده‌ها کارایی هر یک از واحدها به طور مجزا به دست می‌آید، اما در روش تصادفی ناپارامتریک پوششی داده‌ها جزء خطاها برای تمامی واحدهای تولیدی به طور هم‌زمان محاسبه می‌شود. همچنین، بر خلاف روش تحلیل پوششی داده‌ها، در روش تصادفی ناپارامتریک پوششی داده‌ها از جزء خطای ترکیبی استفاده می‌شود. در این مطالعه نیز برای محاسبه کارایی فنی عرضه‌کنندگان برق در ایران از روش تصادفی ناپارامتریک پوششی داده‌ها استفاده خواهد شد.<sup>۲</sup> لذا در این بخش به طور مختصر به معرفی این روش پرداخته می‌شود.

اگر فناوری تولید با استفاده از تابع تولید کلاسیک ( $f: y = f(x)$ ) مشخص شود، در روش CLNS نخست فرض می‌شود که تابع  $f$ ، صعودی، یکنواخت و مقعر است  $(\partial f(x) \geq 0, \partial^2 f(x) \leq 0)$  و فرم تبعی خاصی برای  $f$  در نظر گرفته نمی‌شود. سپس، یک جزء خطای ترکیبی ( $\varepsilon_i$ ) که هم شامل جزء تصادفی ( $v_i$ ) و هم جزء ناکارایی فنی غیرمنفی ( $u_i > 0$ ) است، به آن افزوده می‌شود.

$$y_i = f(x_i) + \varepsilon_i = f(x_i) + v_i - u_i \quad (1)$$

در نهایت با استفاده از حل مسئله برنامه‌ریزی درجه دوم به صورت معادله ۲ به تخمین تابع تولید و محاسبه جزء ناکارایی اقدام می‌شود.

#### 1. Concave Nonparametric Least Squares

۲. برای تخمین کارایی با استفاده از این روش از نرم‌افزار GAMS استفاده خواهد شد.

$$\begin{aligned} \min_{\alpha, \beta, \hat{\varepsilon}} \sum_{i=1}^n \hat{\varepsilon}_i^2 & \quad (2) \\ \text{s.t. } y_i &= \alpha_i + \sum_{j=1}^n \beta_j x_{ij} + \hat{\varepsilon}_i \quad \forall i=1, \dots, n \\ Y_h &\leq \alpha_i + \sum_{j=1}^n \beta_j x_{hj} + \hat{\varepsilon}_h \quad \forall h, i=1, \dots, n \\ \beta_i &\geq 0 \quad \forall i=1, \dots, n \end{aligned}$$

در مدل بالا،  $X_i$  برداری از متغیرهای  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$  برای واحد تولیدی  $i$ ام است. مقادیر نهاده  $x$  و محصول  $y$  به شکل لگاریتمی است. رگرسیون CNLS در رابطه ۲،  $n$  شیب مختلف را برای تابع تولید نامعین تخمین می‌زند که بر خلاف روش حداقل مربعات معمولی، عرض از مبدأ و ضرایب شیب برای هر یک از واحدهای تولیدی متفاوت است به صورتی که  $n$  بردار شیب مختلف  $\beta_i$  و  $n$  تابع تولید مختلف برای واحدهای تولیدی وجود دارد. ضرایب شیبها ( $\beta_i$ ) تولید نهایی نهاده‌ها را نشان می‌دهند. در مدل بالا محدودیت دوم، ویژگی تقعر تابع تولید را با به کارگیری محدودیت نابرابری افریت<sup>۱</sup> نشان می‌دهد (کازمنن، ۲۰۰۶). بر خلاف روش SFA که در آن توزیع  $u$  و  $v$  نرمال فرض می‌شود، کازمنن (۲۰۰۶) فرض می‌کند که ناکارایی فنی و جزء اخلال سفید توزیع نیمه‌نرمال، ناهمبسته و غیرمنفی  $(u_i, v_i \approx N(0, \sigma_{ii}))$  دارند. تخمین CNLS از تابع تولید یک تابع خطی چندضابطه‌ای است که به مرز تولید DEA شباهت بسیاری دارد، اما فرم مسئله حداقل‌سازی حداقل مربعات (رابطه ۲) از جهات مختلف با روش برنامه‌ریزی خطی در DEA تفاوت محسوسی دارد (شیفرد و ترال<sup>۲</sup>، ۱۹۹۰). نخست اینکه در روش DEA برای هر واحد تولیدی به صورت جداگانه یک مسئله خطی حل می‌شود، در حالی که در رابطه ۲ مقدار  $\hat{\varepsilon}$  برای بنگاه‌ها به صورت همزمان محاسبه می‌شود. دوم، در روش DEA مقدار ضریب کارایی بر اساس مقیاس نسبی تعریف می‌شود، اما در رابطه ۲ مانند روش SFA از مقیاس مطلق انحراف از مرز تولید استفاده می‌شود. سوم، روش DEA مرز تولید را فقط به صورت ضمنی ارائه می‌دهد، در حالی که رابطه ۲ به طور صریح ضرایب تابع تولید برای هر واحد را مشخص می‌کند. در نهایت، در حالی که روش DEA یک عبارت ناکارایی یک‌طرفه دارد روش CNLS از جزء خطای نامقید  $\hat{\varepsilon}$  استفاده می‌کند. در روش ناپارامتریک تصادفی، همانند حداقل مربعات اصلاح‌شده (MOLS) در

1. Afriat  
2. Seiford and Thrall

روش پارامتریک مرز تصادفی، با به کارگیری گشتاورهای دوم و سوم واریانس ناکارایی و جزء اخلاص تصادفی تخمین زده می‌شود (کازمنن، ۲۰۰۶). روش ناپارامتریک تصادفی شامل سه مرحله است:

$$\hat{\varepsilon} = (\hat{\varepsilon}_1, \dots, \hat{\varepsilon}_n); \quad (1)$$

(۲) تخمین واریانس پارامترهای  $\sigma_u^2$  و  $\sigma_v^2$  با استفاده از گشتاورهای دوم و سوم؛

(۳) تخمین جزء ناکارایی بر مبنای توزیع شرطی آن.

پس از تخمین جزء خطای ترکیبی که شامل جزء ناکارایی است، از گشتاورهای دوم و سوم برای توزیع جزء اخلاص استفاده می‌شود (کازمنن، ۲۰۰۶).

$$\hat{m}_\gamma = \sum_{i=1}^n (\hat{\varepsilon}_i - \hat{E}(\varepsilon_i))^2 / n \quad (3)$$

$$\hat{m}_\psi = \sum_{i=1}^n (\hat{\varepsilon}_i - \hat{E}(\varepsilon_i))^3 / n \quad (4)$$

این گشتاورها تخمین‌زنده‌های سازگاری از آماره‌های حقیقی  $m_\gamma$  و  $m_\psi$  به شمار می‌روند که مقادیر آنها وابسته به واریانس جزء ناکارایی و خطای تصادفی است (کازمنن، ۲۰۰۶).

$$m_\gamma = \left[ \frac{\pi-2}{\pi} \right] \sigma_u^2 + \sigma_v^2 \quad (5)$$

$$m_\psi = \left( \sqrt{\frac{2}{\pi}} \right) \left[ 1 - \frac{4}{\pi} \right] \sigma_u^3 \quad (6)$$

واریانس‌های  $\sigma_u^2$  و  $\sigma_v^2$  با به کارگیری گشتاورهای دوم و سوم ( $m_\gamma$  و  $m_\psi$ ) به راحتی تخمین زده می‌شوند.

$$\hat{\sigma}_u = \sqrt{\frac{\hat{m}_\psi}{\left( \sqrt{\frac{2}{\pi}} \right) \left[ 1 - \frac{4}{\pi} \right]}} \quad (7)$$

$$\hat{\sigma}_v = \sqrt{\hat{m}_\gamma - \left[ \frac{\pi-2}{\pi} \right] \hat{\sigma}_u^2} \quad (8)$$

آماره  $m_3$  که فقط به انحراف معیار جزء ناکارایی وابسته است، شاخصی برای نشان دادن چولگی توزیع است. با توجه به این فرض که جزء ناکارایی دارای توزیع نیمه‌نرمال است که چولگی مثبت دارد ( $\sigma_u^2 > 0$ )، بنابراین گشتاور سوم،  $m_3$  بایستی منفی باشد. اگر  $m_3$  مثبت باشد، چولگی توزیع جزء خطا در مدل CNLS در جهت نادرست خواهد بود و تخمین حداکثر راست‌نمایی برای جزء ناکارایی برابر صفر می‌شود ( $\hat{u} = 0$ ) زمانی که کشیدگی توزیع خیلی بزرگ باشد،  $\hat{\sigma}_u$  به دست آمده از رابطه ۷ خیلی بزرگ خواهد بود و بنابراین احتمال دارد  $\hat{\sigma}_v^2$  منفی شود. در این حالت، واریانس جزء اخلاص سفید را برابر صفر  $\hat{\sigma}_v = 0$  در نظر می‌گیرد و همه واریانس، به جزء ناکارایی نسبت داده می‌شود و عملکرد آن همانند روش DEA است (کامبهاکر و لاول<sup>۱</sup>، ۲۰۰۰). واریانس‌های به دست آمده از روابط ۷ تا ۸ برای تخمین جزء ناکارایی به کار می‌روند. جاندر و همکاران<sup>۲</sup> (۱۹۸۲) نشان دادند که توزیع شرطی ناکارایی  $u_i$  به ازای  $\hat{\varepsilon}_i$  معلوم، توزیع نرمال محدود شده<sup>۳</sup> با میانگین  $\mu_* = -\hat{\varepsilon}_i \sigma_u^2 / (\sigma_u^2 + \sigma_v^2)$  و واریانس

$\sigma_*^2 = \sigma_v^2 \sigma_u^2 / (\sigma_u^2 + \sigma_v^2)$  است. میانگین شرطی  $u_i$  به صورت زیر است:

$$E(u_i | \hat{\varepsilon}_i) = \mu_* + \sigma_* \left[ \frac{\phi(-\mu_*/\sigma_*)}{1 - \Phi(-\mu_*/\sigma_*)} \right] \quad (9)$$

که  $\phi$  تابع چگالی نرمال استاندارد و  $\Phi$  تابع توزیع جمعی نرمال استاندارد است. پس از تخمین میانگین شرطی جزء ناکارایی، برای محاسبه کارایی فنی از رابطه زیر استفاده می‌شود (باتیس و کوئلی<sup>۴</sup>، ۱۹۹۵):

$$EFF_i = E(y_i^* | u_i, x_i) / E(y_i^* | u_i = 0, x_i) \quad (10)$$

در رگرسیون CNLS، بازده نسبت به مقیاس وابسته به عرض از مبدأ است و به صورت زیر تعریف می‌شود (کازمنن، ۲۰۰۶).

$$(1) \text{ بازده ثابت نسبت به مقیاس}^5: \forall i = 1, \dots, n: \alpha_i > 0$$

1. Kumbhakar and Lovell
2. Jondorow et al.
3. Truncated normal distribution
4. Battese and Coelli
5. Constant returns to scale (CRS)

(۲) بازده صعودی نسبت به مقیاس<sup>۱</sup>:  $\forall i=1, \dots, n: \alpha_i < 0$ ;

(۳) بازده نزولی نسبت به مقیاس<sup>۲</sup>:  $\forall i=1, \dots, n: \alpha_i = 0$ .

### ۳. مروری بر ادبیات موضوع

تا اوایل دهه ۱۹۷۰ اغلب مطالعات به نقش مالکیت بنگاه در کارایی تأکید می‌کردند و به متغیرهایی مانند عمر بنگاه و ظرفیت بهره‌برداری توجه کمتری می‌شد. پژوهش سیتز<sup>۳</sup> (۱۹۷۱) از اولین مطالعاتی است که متغیرهای مربوط به ویژگی نیروگاه همچون محل نیروگاه، سوخت استفاده‌شده، نوع ساختمان، اندازه و عمر نیروگاه را در توضیح کارایی وارد کرد. بعدها متغیرهای برون‌زا مانند تنظیم مقررات، تولید ناخالص داخلی نیز وارد الگو شدند.

#### ۱.۳. عمر نیروگاه

تعدادی از مطالعات عمر نیروگاه را به‌منزله متغیر تأثیرگذار در کارایی فنی در رگرسیون این متغیر وارد کرده‌اند (پولیت<sup>۴</sup>، ۱۹۹۶؛ خاننا و همکاران<sup>۵</sup>، ۱۹۹۹؛ هیبرت<sup>۶</sup>، ۲۰۰۲؛ سیراسونتون<sup>۷</sup>، ۲۰۰۵). به طور کلی انتظار می‌رود که نیروگاه‌های جدید به علت استفاده از تکنولوژی‌ها و ژنراتورهای جدید دارای مصرف سوخت و هزینه‌های نگهداری پایین‌تر و از کارایی بیشتری برخوردار باشند (کوک فونگ سی<sup>۸</sup>، ۲۰۱۲). از سوی دیگر، نیروگاه‌های قدیمی برای ایجاد انطباق با شرایط تولید توانایی بیشتری دارند و از تجربه بالاتری در این زمینه برخوردارند. این در حالی است که نیروگاه‌های جدید برای تطابق با تکنولوژی‌های جدید، هزینه‌های اضافی همچون هزینه آموزش نیروی کار را تقبل می‌کنند (خاننا و همکاران، ۱۹۹۹). سیراسونتون (۲۰۰۵) با استفاده از روش DEA و SFA به محاسبه کارایی فنی نیروگاه‌های دولتی تایلند پرداخته و نشان داده است که

1. Increasing returns to scale (IRS)
2. Decreasing returns to scale (DRS)
3. Seitz
4. Pollitt
5. Khanna
6. Hiebert
7. Sirasontorn
8. Kok Fong See



عمر نیروگاه تأثیر بسیاری در ناکارایی دارد و با افزایش عمر، ناکارایی نیز افزایش می‌یابد. باروس<sup>۱</sup> (۲۰۰۸) در کشور پرتغال نیز به نتایج مشابهی رسیده است. البته برخی مطالعات نیز به نتایج معکوسی دست یافته‌اند. برای مثال، پولیت (۱۹۹۶) در مطالعه بین کشوری در نیروگاه‌های هسته‌ای نشان داده است که نیروگاه‌های قدیمی به علت داشتن تجربه و مدیریت بهتر واحدهای تولیدی، کارایی بالاتری دارند.

### ۲.۳. اندازه نیروگاه

اندازه نیروگاه به‌منزله یکی از متغیرهای مؤثر در کارایی فنی در مطالعات متعددی استفاده شده است: (جوسکو و اشمالنسی<sup>۲</sup>، ۱۹۸۷؛ میبیدی<sup>۳</sup>، ۱۹۹۸؛ خاننا و همکاران، ۱۹۹۹؛ دایورت و ناکامورا<sup>۴</sup>، ۱۹۹۹ و هیبرت، ۲۰۰۲). بر اساس ادبیات موجود، افزایش اندازه دیگ‌های بخار نیروگاه سبب صرفه‌جویی در هزینه سوخت نیروگاه می‌شود. برخی صاحب‌نظران ادعا کرده‌اند که این اثر فقط در نیروگاه‌های با مقیاس کوچک قابل مشاهده است و در نیروگاه‌های بزرگ، افزایش مقیاس نیروگاه سبب افزایش هزینه‌ها به علت نظارت و کنترل ضعیف نیروگاه می‌شود (جوسکو و اشمالنسی، ۱۹۸۷). در اغلب مطالعات، رابطه مثبت بین اندازه نیروگاه و کارایی فنی تأیید شده است برای مثال، جوسکو و اشمالنسی (۱۹۸۷) به بررسی عوامل تعیین‌کننده کارایی حرارتی نیروگاه‌های زغال‌سنگ در ایالات متحده پرداخته و نشان داده‌اند که اندازه و تجربه نیروگاه از عوامل مؤثر در تکنولوژی و عملکرد به شمار می‌روند. این نظریه در مطالعات کومار و ماناگی<sup>۵</sup> (۲۰۰۹) و باروس و آنتونس<sup>۶</sup> (۲۰۱۱) نیز تأیید شده است. با وجود این، برخی مطالعات افزایش مشکلات ناشی از ناهماهنگی، سوء مدیریت و مشکلات مربوط به نگهداری از نیروگاه، کارایی فنی کاهش می‌یابد.

1. Barros
2. Joskow and Schmalensee
3. Meibodi
4. Diewert and Nakamura
5. Kumar and Managi
6. Barros and Antunes
7. Sarica and Or

### ۳.۳. نرخ بهره‌برداری از ظرفیت

معمولاً نرخ پایین بهره‌برداری از ظرفیت به مفهوم بلااستفاده ماندن برخی از ژنراتورها و تجهیزات نیروگاه است که این خود نیز هزینه‌های اضافی تعمیر و نگهداری و کارایی فنی پایین را به دنبال خواهد داشت. همچنین، راه‌اندازی و خاموش کردن مکرر تجهیزات تولید برق، مصرف انرژی نیروگاه را بالا می‌برد و کارایی را کاهش می‌دهد (خاننا و همکاران، ۱۹۹۹ و هیبرت، ۲۰۰۲). در مطالعات تجربی، نرخ بهره‌برداری از ظرفیت معمولاً با استفاده از نسبت متوسط ظرفیت عملی به نامی نیروگاه اندازه گرفته می‌شود. نتایج اغلب مطالعات تجربی نشان‌دهنده وابستگی مثبت و درخور توجه کارایی فنی به نرخ بهره‌برداری از ظرفیت است. برای مثال، هیبرت (۲۰۰۲)، خاننا و همکاران (۱۹۹۹) و اولاتوبی و دیسموکز<sup>۱</sup> (۲۰۰۰) این فرضیه را تأیید کرده‌اند.

### ۳.۴. نوع سوخت نیروگاه

سوخت به کاررفته در تولید انرژی برق یکی از متغیرهای تأثیرگذار در عملکرد نیروگاه است و کارایی فنی نیروگاه به نوع سوخت آن وابسته است. علت این امر وابستگی شدید کارایی فنی به کارایی حرارتی نیروگاه و اهمیت نهاده سوخت در فرایند تولید برق است. با وجود این، نتایج مطالعات تجربی نشان‌دهنده نتیجه کلی و شفاف نیست. برخی مطالعات مانند دایورت و ناکامورا (۱۹۹۹) نشان داده‌اند که در انگلستان عملکرد نیروگاه‌ها با سوخت سنگین از لحاظ کارایی فنی به مراتب بهتر از نیروگاه‌ها با سوخت سبک است. برخی دیگر از مطالعات همچون پولیت (۱۹۹۵) و ساریکا و اور (۲۰۰۷) نشان داده‌اند که نیروگاه‌های گازسوز نسبت به سایر نیروگاه‌ها از کارایی فنی بالاتری برخوردارند. همچنین، هیبرت (۲۰۰۲) نشان داده که تفاوت کارایی تنها در بین نیروگاه‌های گازسوز و زغال‌سوز درخور توجه است.

### ۳.۵. تغییرات ساختاری در صنعت برق

مطالعات متعددی رابطه مثبت بین تجدید ساختار بازار به سمت رقابتی شدن و رشد کارایی را تأیید کرده‌اند (پلیت، ۱۹۹۶؛ فابریزو و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۷ و باروس، ۲۰۰۸).

1. Olatubi & Dismukes

2. Fabrizio et al.

رقابت (کامل) کاراترین ساختار بازار است. گرینیت و هریسون<sup>۱</sup> (۲۰۰۴) عنوان می‌کنند که رقابت موجب ایجاد فشار بر مدیران برای دستیابی به مرز امکانات تولید بنگاه می‌شود و کم‌کاری و سستی مدیران و کارکنان را کاهش می‌دهد. مطالعاتی چون فابریزو و همکاران (۲۰۰۷)، باروس (۲۰۰۸) و کرایگ و ساوج<sup>۲</sup> (۲۰۱۳) نشان می‌دهند که رقابت از طریق حرکت بنگاه به سمت مرز امکانات تولید موجب کاهش ناکارایی  $x$  می‌شود.<sup>۳</sup>

مطالعات داخلی در خصوص کارایی صنعت برق اغلب به محاسبه کارایی اکتفا کرده و به بررسی عوامل مؤثر در آن نپرداخته‌اند. مهربانی (۱۳۷۹) کارایی نیروگاه‌ها و شرکت‌های توزیع برق را با استفاده از روش DEA و طی دوره زمانی ۱۳۷۴-۱۳۷۷ بررسی کرده است. نتایج این مطالعه نشان داده است که با لحاظ کردن یا نکردن نیروی کار، کارایی تفاوت چندانی نمی‌کند. رحمانی (۱۳۸۱) با استفاده از هر دو روش DEA و SFA به محاسبه کارایی و بهره‌وری نیروگاه‌های حرارتی کشور در فاصله سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۷۹ پرداخته است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهند که میانگین کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی برابر ۹۰ درصد است. پور کاظمی و حیدری (۱۳۸۱) با به کارگیری روش DEA و استفاده از سه نهاد نیروی کار، سرمایه و سوخت و در نظر گرفتن تولید برق به‌منزله ستانده به محاسبه کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی کشور در دو حالت بازدهی ثابت و متغیر به مقیاس پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه نشان داده‌اند که در حالت بازدهی ثابت به مقیاس کارایی فنی برابر ۶۴ درصد و در حالت بازدهی متغیر به مقیاس برابر ۷۴ درصد است. امامی میبیدی و همکاران (۱۳۸۸) به روش DEA به محاسبه کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی در سال ۱۳۸۶ پرداخته و نشان داده‌اند که کارایی فنی این نیروگاه‌ها با فرض بازدهی ثابت به مقیاس و متغیر به مقیاس به ترتیب برابر ۷۶/۴ و ۹۲/۸ است. ابریشمی و نیاکان (۱۳۸۹) با استفاده از روش SFA به محاسبه کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی در فاصله سال‌های ۱۳۸۲-۱۳۸۵ پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهند که متوسط کارایی فنی نیروگاه‌ها برابر ۹۳ درصد است. در این مطالعه پس از برآورد کارایی فنی، تأثیر متغیر اندازه نیروگاه و نوع سوخت آن در کارایی فنی

1. Griffith and Harrison  
2. Craig and Savage

۳. به دور شدن از مرز امکانات تولید، ناکارایی  $x$  گفته می‌شود.

بررسی شده و نتایج حاصله نشان داده است که اندازه نیروگاه و تغییر سوخت به گاز طبیعی اثر مثبت در کارایی فنی نیروگاه‌های مزبور داشته است.

#### ۴. الگوی تجربی و داده‌ها

با توجه به مطالعات تجربی پیشین در این مطالعه از الگوی زیر برای برآورد کارایی فنی نیروگاه‌های برق کشور<sup>۱</sup> استفاده می‌شود:

$$y_i = f(x_i) + v_i - u_i \quad (11)$$

که در آن  $y$  نشان‌دهنده لگاریتم تولید برق (مگاوات ساعت)،  $x$  بردار لگاریتم نهاده‌های تولید که شامل سه نهاده نیروی کار، ظرفیت نصب‌شده (به‌منزله جایگزین نهاده سرمایه) و میزان سوخت مصرفی (بر حسب بی‌تی‌یو)،  $v$  جزء خطای تصادفی،  $u$  عامل ناکارایی و  $i$  نشانگر نیروگاه است. رابطه بالا در هر یک از سال‌های دوره تحت بررسی برای ۳۵ نیروگاه منتخب این مطالعه تحلیل و کارایی فنی هر نیروگاه در هر سال محاسبه می‌شود. سپس، با استفاده از الگوی زیر و به کارگیری رهیافت داده‌های تابلویی با متغیر وابسته محدودشده<sup>۲</sup> (پنل دیتا توییت) به بررسی اثر متغیر مجازی اصلاح ساختار بازار در کارایی فنی محاسبه‌شده پرداخته می‌شود.

$$Eff_{it} = f(Age_{it}, Siz_{it}, Cap_{it}, Ful_{it}, Dum_t) \quad (12)$$

که در آن  $i$  نشان‌دهنده واحد نیروگاهی و  $t$  بیانگر سال است که شامل سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۰ است. همچنین،  $Eff$  نشان‌دهنده کارایی فنی برای هر نیروگاه است. در این مطالعه با توجه به محدودیت‌های در دسترس به اطلاعات نیروگاه‌ها فقط از چهار متغیر زیر به‌منزله عوامل مؤثر در کارایی فنی نیروگاه‌ها استفاده می‌شود:

عمر (Age): لگاریتم تعداد سال‌های سپری‌شده از تاریخ اولین بهره‌برداری از نیروگاه؛

اندازه نیروگاه (Siz): لگاریتم تعداد شاغلان نیروگاه؛

نرخ بهره‌برداری از ظرفیت (Cap): نسبت متوسط ظرفیت عملی نیروگاه بر ظرفیت

نامی آن (درصد)؛

نوع سوخت (Ful): سهم انرژی گاز (بر حسب بی‌تی‌یو) از کل سوخت مصرفی (بر

حسب بی‌تی‌یو) نیروگاه (درصد)؛

۱. نیروگاه‌های برق کشور در بازار عرضه‌کنندگان برق به شرکت مدیریت شبکه برق به شمار می‌روند.

2. Limited dependent panel data model

متغیر مجازی (Dum): متغیر مجازی برای احتساب تغییرات ساختاری در صنعت برق ایران (با توجه به ایجاد بازار برق در سال ۱۳۸۳ و رقابتی‌تر شدن صنعت برق، این متغیر در سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۲ صفر و در سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۰ یک اختیار می‌کند).

همچنین، این محدودیت داده‌ها سبب شده است تا فقط ۳۵ نیروگاه حرارتی که اطلاعات آماری آن‌ها در تمامی سال‌های مورد نظر قابل دسترس بود مطالعه شوند. اسامی این نیروگاه‌ها در جدول ۲ ذکر شده است. نیروگاه‌های حرارتی پرکاربردترین و مهم‌ترین نیروگاه‌های متداول در جهان و ایران محسوب می‌شوند. این نوع نیروگاه‌ها، مبدل‌هایی هستند که انرژی نهفته در سوخت‌های جامد، مایع، گازی یا هسته‌ای را به انرژی برق تبدیل می‌کنند. نیروگاه‌های حرارتی، طیف وسیعی از نیروگاه‌ها را در بر می‌گیرند که از آن جمله می‌توان به نیروگاه‌های بخاری، گازی، چرخه ترکیبی و هسته‌ای اشاره کرد. نوع بسیار متداول نیروگاه‌های حرارتی، نیروگاه‌های بخاری است. در این نوع نیروگاه، با مشتعل شدن سوخت‌های فسیلی، آب سیکل به بخار تبدیل و بخار تولیدی سبب چرخش توربین و در نهایت، تولید انرژی برق می‌شود. تفاوت اساسی نیروگاه‌های گازی با بخاری در آن است که سیال سیکل توربین گازی، به جای بخار، هوای محیط است. نیروگاه‌های چرخه ترکیبی، متشکل از واحدهای گازی و بخاری‌اند که در آن‌ها، به منظور افزایش بازده کل حرارتی و بازیافت بخشی از انرژی باقی مانده در گازهای خروجی از توربین‌های گازی، این گازها را به دیگ بخار بازیاب، هدایت می‌کنند. بخار حاصل از این طریق، توربین بخاری را به گردش درمی‌آورد. کلیه اطلاعات آماری این مطالعه از گزارش‌های آمار تفصیلی صنعت برق شرکت توانیر استخراج شده است.

## ۵. یافته‌های تحقیق

### ۱.۵. تخمین کارایی

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد در این مطالعه از روش StoNED برای تخمین کارایی نیروگاه‌های حرارتی منتخب استفاده می‌شود. با به کارگیری نرم‌افزار گمز، مقادیر کارایی هر یک از نیروگاه‌ها در سال‌های مورد مطالعه تخمین زده و در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس اطلاعات این جدول کمترین کارایی فنی مربوط به نیروگاه شهید زنبق یزد در سال ۱۳۸۱ است. این نیروگاه همچنین دارای پایین‌ترین میانگین کارایی فنی طی دوره تحت بررسی است. نیروگاه چرخه ترکیبی فارس بالاترین میانگین کارایی را طی دوره

تحت بررسی دارد که مقدار آن برابر ۰/۹۷۶ است و با میانگین نیروگاه زنبق یزد که برابر ۰/۸۲۴ است ۰/۱۵۲ تفاوت دارد که مقدار درخور توجهی است.

بر اساس نتایج به دست آمده نیروگاه‌های چرخه ترکیبی بالاترین میانگین کارایی فنی و نیروگاه‌های بخاری و گازی به ترتیب در رده‌های پایین‌تر قرار دارند. مقایسه میانگین کارایی فنی بین دو سال ابتدایی و انتهایی نشان می‌دهد که در تمامی نیروگاه‌ها به جز سه نیروگاه شهید رجایی، مفتاح غرب و ری کارایی فنی رشد یافته است. بیشترین رشد کارایی فنی بین دو سال ۱۳۷۸ و ۱۳۹۰ مربوط به نیروگاه‌های شهید زنبق، یزد و دورود است. میانگین کارایی فنی کل نیروگاه‌ها در سال ۱۳۹۰ برابر ۰/۹۳۷ است که نشان می‌دهد در مجموع باید بدون کاهش در تولید، ۶/۳ درصد از مصرف نهاده‌ها کاسته شود تا دسترسی به مرز بهینه تولید حاصل شود. بر اساس ضرایب عرض از مبدأ تخمین زده شده در سال‌های مختلف، همه نیروگاه‌ها نسبت به مقیاس بازدهی ثابتی دارند. این نتیجه نشان می‌دهد که نیروگاه‌ها در مقیاس بهینه تولید قرار دارند و ناکارایی در آن‌ها همان ناکارایی مدیریتی است.

جدول ۱. شاخص کارایی محاسبه شده به روش StoNED

نیروگاه	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰ میانگین
شهید فیروزی (طرشت)	۰/۸۵۷	۰/۷۸۸	۰/۸۸۹	۰/۸۵۸	۰/۸۶۸	۰/۸۸۱
بعثت	۰/۸۹	۰/۸۸۱	۰/۹۰۳	۰/۸۷۴	۰/۸۸۲	۰/۹۰۸
اسلام‌آباد (اصفهان)	۰/۹۳۴	۰/۹۲۷	۰/۹۳۸	۰/۹۲۶	۰/۹۲۴	۰/۹۴۲
شهید منتظر قائم	۰/۹۴۷	۰/۹۴۵	۰/۹۵۸	۰/۹۴۶	۰/۹۴	۰/۹۵۹
شهید بهشتی (لواشان)	۰/۹۰۴	۰/۹۰۲	۰/۹۱	۰/۸۹۲	۰/۸۹۵	۰/۹۱۶
زرنند	۰/۸۴۲	۰/۸۲۱	۰/۸۵۷	۰/۸۳۵	۰/۸۴۱	۰/۸۵۱
مشهد	۰/۹۰۹	۰/۸۹۴	۰/۹۱۳	۰/۸۸۹	۰/۸۸۵	۰/۹۰۸
شهید سلیمی (نکا)	۰/۹۴۸	۰/۹۳۹	۰/۹۴۹	۰/۹۳۴	۰/۹۳۷	۰/۹۵۵
رامین	۰/۹۳۸	۰/۹۳۶	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۳۶	۰/۹۴۹
بندرعباس	۰/۹۴۳	۰/۹۳۴	۰/۹۴	۰/۹۱۱	۰/۹۳۴	۰/۹۴۸
شهید محمد منتظری	۰/۹۵۱	۰/۹۴۸	۰/۹۶	۰/۹۵۳	۰/۹۵۲	۰/۹۶۳
توس	۰/۹۳۹	۰/۹۳۴	۰/۹۴۱	۰/۹۲۶	۰/۹۲۲	۰/۹۴
تبریز	۰/۹۴۹	۰/۹۴۲	۰/۹۴۲	۰/۹۱۶	۰/۹۲۸	۰/۹۴۱

ادامه جدول ۱. شاخص کارایی محاسبه شده به روش StOnED

نیروگاه	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰ میانگین
شهید رجایی	۰/۹۷۴	۰/۹۷۴	۰/۹۷۹	۰/۹۸۴	۰/۹۷۳	۰/۹۷۳
بیستون	۰/۹۶۷	۰/۹۷۲	۰/۹۶۸	۰/۹۵۹	۰/۹۵۸	۰/۹۶۲
مفتح غرب	۰/۹۶۲	۰/۹۶۴	۰/۹۶۳	۰/۹۵۸	۰/۹۵۱	۰/۹۵۴
ایران شهر	۰/۹۰۵	۰/۹۰۸	۰/۹۲	۰/۸۸۳	۰/۹۰۳	۰/۹۳۲
متوسط نیروگاه‌های بخاری	۰/۹۲۴	۰/۹۲۰	۰/۹۳۲	۰/۹۱۷	۰/۹۱۷	۰/۹۳۷
بوشهر	۰/۸۶	۰/۸۱۸	۰/۸۵۹	۰/۸۱۴	۰/۸۱۴	۰/۸۴۱
دورود	۰/۸۹۹	۰/۸۹۳	۰/۹۱	۰/۸۹۵	۰/۸۹۷	۰/۹۳۱
شهید زنبق یزد	۰/۷۷	۰/۷۷۴	۰/۸۰۸	۰/۷۱۴	۰/۷۳۱	۰/۸۵۲
ری	۰/۸۹۸	۰/۹۰۱	۰/۹۱۷	۰/۸۹۱	۰/۸۹۶	۰/۹۳۵
ارومیه	۰/۹۶	۰/۹۴۹	۰/۹۵	۰/۹۰۸	۰/۹۲۷	۰/۹۳۶
شریعتی	۰/۸۹۵	۰/۸۸۹	۰/۹۰۴	۰/۸۸	۰/۹۰۳	۰/۹۷۳
صوفیان	۰/۸۶۱	۰/۹۴۷	۰/۹۴۶	۰/۹۴۹	۰/۹۳۷	۰/۹۶۵
زاهدان	۰/۹۴	۰/۹۳۲	۰/۹۲۹	۰/۹۲۱	۰/۹۲	۰/۹۱۷
قائن	۰/۸۴۶	۰/۸۰۴	۰/۸۱۴	۰/۷۹۷	۰/۷۹	۰/۸۷
هسا	۰/۹۰۸	۰/۸۹۸	۰/۹۱۵	۰/۸۹۹	۰/۸۹۳	۰/۹۱۵
کنگان	۰/۹۶۶	۰/۹۶۷	۰/۹۷۴	۰/۹۷۵	۰/۹۷۷	۰/۹۷۲
شیروان	۰/۹۶۴	۰/۹۵۷	۰/۹۵۸	۰/۹۴۸	۰/۹۱۲	۰/۹۴۲
متوسط نیروگاه‌های گازی	۰/۹۲۶	۰/۹۲۴	۰/۹۳۳	۰/۹۱۸	۰/۹۱۸	۰/۹۳۸
چرخه ترکیبی گیلان	۰/۹۷۷	۰/۹۷۷	۰/۹۷۹	۰/۹۸۲	۰/۹۷	۰/۹۷۳
چرخه ترکیبی قم	۰/۹۷۲	۰/۹۸	۰/۹۶۴	۰/۹۸۹	۰/۹۷۹	۰/۹۷۶
چرخه ترکیبی نیشابور	۰/۹۶۵	۰/۹۷۵	۰/۹۷۷	۰/۹۸۱	۰/۹۸	۰/۹۷۷
چرخه ترکیبی فارس	۰/۹۷۱	۰/۹۸	۰/۹۷۸	۰/۹۸۹	۰/۹۷۸	۰/۹۷۷
چرخه ترکیبی خوی	۰/۹۶۸	۰/۹۶۷	۰/۹۶۸	۰/۹۸۳	۰/۹۷۳	۰/۹۷۴
چرخه ترکیبی کازرون	۰/۹۷۵	۰/۹۷۶	۰/۹۷۵	۰/۹۸۸	۰/۹۷۲	۰/۹۷۳
متوسط نیروگاه‌های چ.ت	۰/۹۲۷	۰/۹۲۵	۰/۹۳۴	۰/۹۲۰	۰/۹۱۹	۰/۹۳۹
متوسط کل نیروگاه‌ها	۰/۹۲۷	۰/۹۲۵	۰/۹۳۴	۰/۹۲۰	۰/۹۱۹	۰/۹۳۹

## ادامه جدول ۱. شاخص کارایی محاسبه شده به روش StoNED

نیروگاه	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	میانگین
شهید فیروزی (طرشت)	۰/۸۸۹	۰/۸۸۵	۰/۹۰۳	۰/۹۱۸	۰/۸۹۰	۰/۸۶۸	۰/۸۷۷
بعثت	۰/۹۱۸	۰/۹۱۴	۰/۹۲۲	۰/۹۳۹	۰/۹۲۵	۰/۹۰۷	۰/۹۰۷
اسلام آباد (اصفهان)	۰/۹۵۰	۰/۹۴۶	۰/۹۵۵	۰/۹۵۷	۰/۹۵۲	۰/۹۴۲	۰/۹۴۲
شهید منتظر قائم	۰/۹۶۵	۰/۹۶۵	۰/۹۶۶	۰/۹۶۷	۰/۹۶۶	۰/۹۶۳	۰/۹۵۸
شهید بهشتی (لواشان)	۰/۹۱۱	۰/۹۱۰	۰/۹۳۷	۰/۹۳۷	۰/۹۲۸	۰/۹۱۲	۰/۹۱۴
زرند	۰/۸۶۹	۰/۸۷۲	۰/۸۹۷	۰/۹۰۹	۰/۸۹۲	۰/۸۶۳	۰/۸۶۵
مشهد	۰/۹۲۱	۰/۹۱۷	۰/۹۲۷	۰/۹۳۸	۰/۹۱۸	۰/۹۰۳	۰/۹۱۱
شهید سلیمی (نکا)	۰/۹۵۸	۰/۹۵۷	۰/۹۶۲	۰/۹۶۵	۰/۹۶۱	۰/۹۵۳	۰/۹۵۲
رامین	۰/۹۵۶	۰/۹۵۶	۰/۹۵۶	۰/۹۶۲	۰/۹۶۱	۰/۹۵۹	۰/۹۵۱
بندرعباس	۰/۹۵۴	۰/۹۵۱	۰/۹۵۵	۰/۹۵۷	۰/۹۴۷	۰/۹۴۰	۰/۹۴۴
شهید محمد منتظری	۰/۹۶۷	۰/۹۶۴	۰/۹۶۸	۰/۹۶۹	۰/۹۶۷	۰/۹۶۲	۰/۹۶۱
توس	۰/۹۴۶	۰/۹۴۲	۰/۹۵۱	۰/۹۵۶	۰/۹۵۱	۰/۹۳۹	۰/۹۴۱
تبریز	۰/۹۴۷	۰/۹۳۵	۰/۹۵۶	۰/۹۵۸	۰/۹۵۳	۰/۹۴۲	۰/۹۴۳
شهید رجایی	۰/۹۷۵	۰/۹۷۳	۰/۹۷۳	۰/۹۷۳	۰/۹۷۴	۰/۹۷۲	۰/۹۷۴
بیستون	۰/۹۶۳	۰/۹۶۲	۰/۹۶۳	۰/۹۶۸	۰/۹۶۶	۰/۹۶۵	۰/۹۶۵
مفتح غرب	۰/۹۵۵	۰/۹۶۲	۰/۹۶۰	۰/۹۶۴	۰/۹۶۲	۰/۹۴۹	۰/۹۵۹
ایران شهر	۰/۹۴۷	۰/۹۴۶	۰/۹۴۶	۰/۹۴۳	۰/۹۴۱	۰/۹۱۸	۰/۹۲۶
متوسط نیروگاه های بخاری	۰/۹۴۴	۰/۹۴۰	۰/۹۴۷	۰/۹۵۰	۰/۹۴۴	۰/۹۳۴	۰/۹۳۴
بوشهر	۰/۸۹۷	۰/۸۸۸	۰/۹۰۵	۰/۹۰۰	۰/۸۹۸	۰/۸۷۹	۰/۸۶۷
دورود	۰/۹۶۰	۰/۹۳۰	۰/۹۴۷	۰/۹۴۵	۰/۹۴۶	۰/۹۴۵	۰/۹۲۶
شهید زنبق یزد	۰/۸۷۴	۰/۸۴۳	۰/۸۸۸	۰/۹۰۲	۰/۸۷۰	۰/۸۲۱	۰/۸۲۴
ری	۰/۹۴۰	۰/۹۲۱	۰/۹۴۰	۰/۹۴۴	۰/۹۳۴	۰/۸۸۴	۰/۹۱۹
ارومیه	۰/۹۵۲	۰/۹۴۲	۰/۹۴۶	۰/۹۵۰	۰/۹۳۸	۰/۹۱۴	۰/۹۴۰
شریعتی	۰/۹۷۰	۰/۹۵۹	۰/۹۶۴	۰/۹۴۶	۰/۹۳۷	۰/۹۵۷	۰/۹۳۴
صوفیان	۰/۹۷۱	۰/۹۵۷	۰/۹۴۹	۰/۹۴۵	۰/۹۳۹	۰/۹۲۶	۰/۹۴۲
زاهدان	۰/۹۲۷	۰/۹۴۰	۰/۹۴۴	۰/۹۴۹	۰/۹۵۰	۰/۹۴۶	۰/۹۳۴
قائن	۰/۸۷۹	۰/۹۰۵	۰/۸۸۴	۰/۹۰۵	۰/۹۰۹	۰/۸۷۷	۰/۸۵۹



ادامه جدول ۱. شاخص کارایی محاسبه شده به روش StONED

نیروگاه	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	میانگین
هسا	۰/۸۸۶	۰/۹۳۳	۰/۹۳۴	۰/۹۴۳	۰/۹۲۹	۰/۹۰۴	۰/۹۱۴
کنگان	۰/۹۷۴	۰/۹۷۰	۰/۹۶۹	۰/۹۶۸	۰/۹۶۳	۰/۹۶۱	۰/۹۶۹
شیروان	۰/۹۵۱	۰/۸۹۰	۰/۹۳۶	۰/۹۶۰	۰/۹۶۷	۰/۹۶۷	۰/۹۴۵
متوسط نیروگاه‌های گازی	۰/۹۴۵	۰/۹۴۱	۰/۹۴۸	۰/۹۵۱	۰/۹۴۵	۰/۹۳۶	۰/۹۳۶
چرخه ترکیبی گیلان	۰/۹۷۷	۰/۹۷۵	۰/۹۷۳	۰/۹۷۲	۰/۹۷۲	۰/۹۷۳	۰/۹۷۵
چرخه ترکیبی قم	۰/۹۷۷	۰/۹۷۵	۰/۹۷۳	۰/۹۷۲	۰/۹۷۱	۰/۹۷۶	۰/۹۷۵
چرخه ترکیبی نیشابور	۰/۹۷۸	۰/۹۷۶	۰/۹۷۴	۰/۹۷۲	۰/۹۷۳	۰/۹۷۶	۰/۹۷۵
چرخه ترکیبی فارس	۰/۹۷۵	۰/۹۷۴	۰/۹۷۴	۰/۹۷۲	۰/۹۷۲	۰/۹۷۶	۰/۹۷۶
چرخه ترکیبی خوی	۰/۹۷۶	۰/۹۷۴	۰/۹۷۲	۰/۹۷۰	۰/۹۶۹	۰/۹۷۴	۰/۹۷۲
چرخه ترکیبی کازرون	۰/۹۷۶	۰/۹۷۵	۰/۹۷۰	۰/۹۵۷	۰/۹۴۴	۰/۹۷۶	۰/۹۷۱
متوسط نیروگاه‌های چ. ت	۰/۹۴۶	۰/۹۴۲	۰/۹۴۹	۰/۹۵۱	۰/۹۴۶	۰/۹۳۷	۰/۹۳۷
متوسط کل نیروگاه‌ها	۰/۹۴۶	۰/۹۴۲	۰/۹۴۹	۰/۹۵۱	۰/۹۴۶	۰/۹۳۷	۰/۹۳۷

منبع: محاسبات تحقیق

## ۲.۵. عوامل مؤثر در کارایی

برای بررسی عوامل مؤثر در کارایی فنی نیروگاه‌های کشور رابطه ۱۲ با به کارگیری روش پنل دیتا توبیت تخمین و نتایج در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، ضرایب تخمینی تمامی متغیرهای توضیحی معنی دار است. ضریب متغیر عمر (Age) منفی است که نشان می‌دهد نیروگاه‌های جدید از کارایی فنی بالاتری برخوردارند. این نتیجه را این‌گونه می‌توان توجیه کرد که اثر منفی استهلاک تجهیزات در کارایی بیش از اثر مثبت ناشی از یادگیری ضمن عمل و تجربه است. مقدار ضریب این متغیر بسیار کم و نشان‌دهنده سهم ناچیز متغیر عمر در تبیین تفاوت کارایی نیروگاه‌هاست.

ضریب متغیر نرخ بهره‌برداری از ظرفیت (Cap) در میان متغیرهای توضیحی بیشترین مقدار را دارد که این نتیجه حاکی از اهمیت این متغیر در تفاوت کارایی فنی نیروگاه‌هاست. مقدار این ضریب نشان می‌دهد که ۱ درصد افزایش در نرخ بهره‌برداری از ظرفیت سبب افزایش شاخص کارایی به اندازه ۰/۰۳۵ می‌شود. ضریب متغیر نوع سوخت

(Ful) مثبت است و نشان می‌دهد که در نیروگاه‌هایی که در آن‌ها سهم بیشتری از سوخت مصرفی گاز است کارایی فنی بیشتر است. این نتیجه در مطالعات پولیت (۱۹۹۵)، دایورت و ناکامورا (۱۹۹۹) و کوک فونگ سی (۲۰۱۲) نیز حاصل شده است. ضریب اندازه نیروگاه (Siz) نیز مثبت است. مقدار ضریب این متغیر نشان از اهمیت آن در کارایی فنی دارد و بر این اساس با افزایش اندازه نیروگاه، کارایی فنی آن نیز افزایش می‌یابد. علت این امر می‌تواند توانایی نیروگاه‌های بزرگ‌تر در جذب نیروی انسانی به خصوص مدیران با مهارت بالاتر باشد. این نتیجه با نتیجه به دست آمده در مطالعات پولیت (۱۹۹۶)، مییدی (۱۹۹۸)، دایورت و ناکامورا (۱۹۹۹) و کومارو ماناگی (۲۰۰۹) مطابقت دارد. ضریب متغیر مجازی تغییر ساختار بازار (Dum) مثبت است. این نتیجه نشان‌دهنده تأثیر مثبت رقابتی شدن بازار برق در عملکرد نیروگاه‌هاست. مقدار ضریب این متغیر نشان می‌دهد که با تغییر ساختار بازار کارایی فنی نیروگاه‌ها نزدیک به ۰/۰۳ افزایش یافته است.

جدول ۲. نتایج تخمین اثر عوامل مؤثر در کارایی به روش پنل دیتا توبیت

متغیر	ضریب	آماره t
Age	-۰/۰۰۲	۲/۸۰
Cap	۰/۰۳۵۴	۱/۸۹
Siz	۰/۰۰۵	۴/۴۸
Ful	۰/۰۱۸۴	۴/۷۲
Dum	۰/۰۲۶۱	۱۳/۷۵
Rho	۰/۷۴۹	Prob.=۰/۰۴۸

منبع: محاسبات تحقیق

## ۶. جمع‌بندی

در این مطالعه کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی کشور محاسبه و تحلیل شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که در دوره تحت بررسی، متوسط کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی برابر ۰/۹۳۷ است که با توجه به بازدهی ثابت به مقیاس در نیروگاه‌های مورد مطالعه ناکارایی ناشی از ناکارایی مدیریتی است و نیروگاه‌ها در مقیاس بهینه عمل می‌کنند. بنابراین، با بهبود کارایی مدیریتی و تلاش در جهت استفاده بهینه از نهاده‌ها امکان افزایش متوسط کارایی فنی فراهم خواهد بود.

با توجه به اینکه بر اساس محاسبات انجام شده متوسط کارایی فنی نیروگاه‌ها در فاصله ۰/۹۷۶ و ۰/۸۲۴ قرار دارد، شکاف کارایی فنی بین نیروگاه‌ها برابر ۰/۱۵۲ است که مقدار درخور توجهی است. برای تعیین عوامل مؤثر در این شکاف و تبیین ناهمگنی کارایی فنی نیروگاه‌ها، این مطالعه به بررسی عوامل مؤثر در کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی منتخب پرداخته است و نشان می‌دهد که با افزایش اندازه و نرخ بهره‌برداری ظرفیت مقدار کارایی افزایش می‌یابد. همچنین، افزایش عمر نیروگاه‌ها سبب افت کارایی فنی می‌شود. نتایج حاکی از آن است که استفاده از گاز به‌منزله سوخت نیروگاه در مقایسه با سایر انواع سوخت‌ها به عملکرد فنی کارتر منجر خواهد شد. بر اساس نتایج این مطالعه نرخ بهره‌برداری از ظرفیت، نوع سوخت نیروگاه و ساختار بازاری که نیروگاه‌ها در آن فعالیت می‌کنند، در تعیین کارایی فنی از اهمیت بیشتری برخوردارند. بنابراین، بهره‌برداری از حداکثر ظرفیت نصب شده در نیروگاه‌های حرارتی، تغییر سوخت نیروگاه‌ها و گازسوز کردن آن‌ها و در نهایت افزایش رقابت میان تولیدکنندگان برق می‌تواند به بهبود کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی منجر شود.

## منابع

۱. ابریشمی، حمید و نیاکان، لیلی (۱۳۸۹). اندازه‌گیری کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی کشور به روش تحلیل مرزی تصادفی (SFA) و مقایسه تطبیقی با کشورهای منتخب در حال توسعه. *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، ۲۶، ۱۵۳-۱۷۵.
۲. امامی‌میبدی، علی و افقه، مرتضی و رحمانی‌صفتی، محمدحسین (۱۳۸۸). اندازه‌گیری کارایی فنی و بهره‌وری در نیروگاه‌های بخاری، گازی و سیکل ترکیبی. *فصلنامه اقتصاد مقداری (بررسی‌های اقتصادی سابق)*، ۶ (۳)، ۷۹-۱۰۳.
۳. پورکاظمی، محمدحسین و حیدری، کیومرث (۱۳۸۱). استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) در ارزیابی کارایی نیروگاه‌های حرارتی تولید برق کشور. *مدرس علوم انسانی*، ۲۴، ۳۵-۵۴.
۴. رحمانی، بهرام (۱۳۸۱). برآورد و تحلیل کارایی و بهره‌وری نیروگاه‌های حرارتی برق کشور با استفاده از روش DEA و SFA. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، *دانشگاه تبریز دانشکده علوم انسانی و اجتماعی*.

۵. مهربابی، عباس (۱۳۷۹). بررسی کارایی نیروگاه‌های حرارتی و شرکت‌های توزیع برق به کمک روش تحلیل فراگیر داده‌ها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی، تهران.

۶. وزارت نیرو (سال‌های مختلف). آمار تفصیلی صنعت برق کشور.

7. Barros, C. P. (2008). Efficiency analysis of hydroelectric generating plants: a case study for Portugal. *Energy Economics*, 30, 59-75.
8. Barros, C. P., & Antunes, O. S. (2011). Performance assessment of portuguese wind farms. *Energy Policy*, 39 (6), 3055-3063.
9. Battese, G. E., & Coelli, T. J. (1995). A model for inefficiency effects in a stochastic frontier production function for a panel data. *Empirical Economics*, 20, 325-332.
10. Coelli, T. J., Estache, A., Perelman, S., & Trujillo, L. (2003). A primer on efficiency measurement for utilities and transport regulators. *WBI Development Studies*, Washington.
11. Craig, J. D., & Savage, S. J. (2013). Market restructuring, competition and the efficiency of electric generation: plant-level evidence from the United States 1996 to 2006. *The Energy Journal*, 34 (1), 1-35.
12. Diewert, W. E., & Nakamura, A. O. (1999). Benchmarking and the measurement of best practice efficiency: an electricity generation application. *Canadian Journal of Economics*, 32 (2), 570-88.
13. Fabrizio, K., Rose, N., & Wolfram, C. (2007). Do markets reduce costs? assessing the impact of regulatory restructuring on US electric generation efficiency. *American Economic Review*, 97, 1250-1277.
14. Griffith, R., & Harrison, R. (2004). The link between product market reform and macro-economic performance. *European Economy, European Commission, Directorate-General for Economic and Financial Affairs, Economic Papers 209*, August.
15. Hiebert, D. L. (2002). The determinants of the cost efficiency of electric generating plants: a stochastic frontier approach. *Southern Economic Journal*, 68 (4), 935-46.
16. Jondrow, J. C., Lovell, A. K., Materoy, I. S., & Schmidt, P. (1982). On the estimation of technical inefficiency in the stochastic frontier production function model. *Journal of Econometrics*, 19, 233 – 238.
17. Joskow, P. L., & Schmalensee, R. (1987). Incentive regulation for electric utilities. *Yale Journal on Regulation*, 4 (1), 1-49.
18. Khanna, M., Mundra, K., & Ullah, A. (1999). Parametric and semi-parametric estimation of the effect of firm attributes on efficiency: the electricity generating industry in India. *The Journal of International Trade & Economic Development*, 8 (4), 419-30.
19. Kok F. S., & Coelli, T. J. (2012). An analysis of factors that influence the technical efficiency of malaysian thermal power plants. *Energy Economics*, 34 (3), 677-685.

20. Kumar, S., & Managi, S. (2009). The economics of sustainable development: the case in India, *Springer*. New York, USA.
21. Kumbhakar, S. C., & Lovell, C. A. K. (2000). *Stochastic frontier analysis*. Cambridge University Press, Cambridge.
22. Kuosmanen, T. (2006). Stochastic nonparametric envelopment of data: combining virtues of SFA and DEA in a unified framework. *Economic Research Unit, MTT Agrifood Research*, Luutnantintie 13, 00410 Helsinki, Finland.
23. Meibodi, A. E. (1998). Efficiency considerations in the electricity supply industry: the case of Iran. *Surrey Energy Economics Discussion Paper Series*, 95, University of Surrey.
24. Olatubi, W. O., & Dismukes, D. E. (2000). Data envelopment analysis of the levels and determinants of coal-fired electric power generation performance. *Utilities Policy*, 9, 47-59.
25. Pollitt, M. G. (1995). *Ownership and performance in electric utilities: the international evidence on privatization and efficiency*. Oxford University Press.
26. Pollitt, M. G. (1996). Ownership and efficiency in nuclear power production. *Oxford Economic Papers*, 48 (2), 342-360.
27. Sarica, K., & Or, I. (2007). Efficiency assessment of turkish power plants using data envelopment analysis. *Energy Policy*, 32, 1484-99.
28. Seiford, L. M., & Thrall, R. M. (1990). Recent developments in DEA: the mathematical programming approach to frontier analysis. *Journal of Econometrics*, 46 (1-2). 7-38.
29. Seitz, W. D. (1971). Productive efficiency in the steam-electric generating industry. *Journal Polit. Econ.*, 79, 879-886.
30. Sirasoontorn, P. (2005). Efficiency measures and regulation: Thai electricity generation. *Thammasat Economic Journal*, 23 (1), 38-81.