بررسی تقاضای نهاده‌ها، صرفه‌جوئی‌های ناشی از مقیاس و تغییرات فنی در صنعت تولید برق کشور طی دوره ۸۶-۱۳۵۰

احمد سیفی[۱]
محمدرضا دهقان پور[۲]

چکیده

اهداف اصلی این تحقیق برآورد معادلات تقاضا برای نهاده‌ها و بررسی صرفه‌جوئی‌های ناشی از مقیاس نیروگاه‌های حرارتی کشور طی دوره ۸۶-۱۳۵۰ می‌باشد. استخراج معادلات تقاضای نهاده‌های تولید با استفاده از قضیه شفارد لما از تابع هزینه ترانسلوگ صورت می‌گیرد. داده‌های مورد استفاده در این مطالعه به صورت سری زمانی و مربوط به کلیه نیروگاه‌های حرارتی تولید برق کشور می‌باشد. برآورد معادلات تقاضا به همراه تابع هزینه ترانسلوگ از طریق رگرسیون نامرتبط خطی (*SUR*) انجام می‌گیرد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان دهنده تأئید شرط خوش رفتاری تابع هزینه ترانسلوگ و همچنین پذیرش فرض وجود صرفه‌جوئی‌های ناشی از مقیاس برای نیروگاه‌ها است. آزمون حداکثر راستنمایی، تورش تغییرات فنی را برای نیروگاه‌های ایران مورد تائید قرار داد. در بررسی نرخ تغییرات فنی در دوره مورد مطالعه مشخص شد که تکنولوژی تولید برق در ابتدا، رشدی فزاینده و سپس رشدی نزولی داشته است. کشش جانشینی آلن-اوزاوا رابطه مکملی شدید بین نفت کوره و گازوئیل و رابطه مکملی ضعیفی بین گازوئیل و گاز طبیعی را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از برآورد سهم نهاده‌ها در ترکیب هزینه نیروگاه‌ها، بیشترین سهم را به سوخت و کمترین سهم را به نیروی کار اختصاص داد.

واژگان کلیدی: تابع هزینه ترانسلوگ، تقاضای نهاده، کشش جانشینی موریشیما، کشش جانشینی آلن-اوزاوا، صرفه‌جوئی‌های ناشی از مقیاس.

Keywords: Translog Cost Function, Input Demand, Economies of Scale, Allen-Uzawa Elasticities of Substitution, Morishima Elasticities of Substitution, Technical Change.
JEL Classification: D21, D24, Q40, L94.

[۱]. عضو هیأت علمی دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسئول)
Seifi23@yahoo.com
[۲]. کارشناس ارشد اقتصاد نظری، دانشگاه فردوسی مشهد

۱- مقدمه

صنعت برق به عنوان بخش زیربنایی در فرآیند توسعه اقتصادی کشور و ایجاد زیرساخت‌های توسعه نقشی ارزنده و اساسی دارد و بسترهای لازم را برای پویایی و رشد کشور در زمینه‌های گوناگون اقتصادی، صنعتی و اجتماعی فراهم می‌سازد. تولید انرژی الکتریکی، اولین و مهم‌ترین بخش از زنجیره صنعت برق می‌باشد. در نیروگاه‌ها، تبدیل شکل‌های گوناگون انرژی به انرژی برق انجام می‌گیرد. به طور کلی نیروگاه‌ها به دو نوع حرارتی و غیر حرارتی تقسیم می‌شوند. در کشور ما قسمت عمده تولید برق در نیروگاه‌های حرارتی با سوخت‌های فسیلی انجام می‌گیرد. در واقع، نیروگاه‌های حرارتی یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان سوخت‌های فسیلی در کشور به حساب می‌آیند. ضرورت بهینه نمودن استفاده از انواع نهاده‌ها از جمله سوخت در تولید برق ایجاب می‌کند فرآیند تولید در نیروگاه‌ها مورد بررسی دقیق قرار گرفته و نسبت به کارا نمودن آن توجه کافی مبذول گردد. از این حیث این مقاله ابتدا به دنبال تبیین ساختار هزینه‌ای صنعت تولید برق از طریق برآورد معادلات سهم هزینه نهاده‌های تولید می‌باشد. از آن‌جا که وجود یا عدم وجود صرفه‌جوئی‌های ناشی از مقیاس تأثیرات قابل توجهی در هزینه‌های تولید بجا می‌گذارد، بررسی صرفه‌جوئی‌های ناشی از مقیاس یکی از اهداف اصلی این مطالعه به شمار می‌رود.

مدلی که در این مطالعه مورد استفاده قرار خواهد گرفت از تابع هزینه بسیار کلی و انعطاف‌پذیر ترانسلوگ استخراج می‌شود. برآورد مدل، علاوه بر بررسی صرفه‌جوئی‌های مقیاس، امکان ارزیابی روند و تورش تغییرات فنی را در صنعت تولید برق[1] به ما می‌دهد. برآورد مدل، همچنین کشش‌های قیمتی نهاده‌ها و کشش‌های جانشینی آلن –اوزاوا و موریشیما را مشخص خواهد ساخت. داده‌های مورد استفاده از منابع گوناگون برای مجموع نیروگاه‌های حرارتی کشور برای دوره های ۸۶-۱۳۵۰ گردآوری شده است.

مطالعه حاضر دارای چندین مزیت اصلی است: اول، بررسی صرفه‌جوئی‌های مقیاس و تغییرات فنی در سطح صنعت تولید برق، همراه با برآورد کشش‌ها، همگی یکباره در چارچوب یک مدل جامع انجام گرفته است. دوم، هیچ‌گونه پیش فرض غیر معقولانه‌ای از قبیل جدایی‌پذیری نهاده‌های سوخت از سایر نهاده‌ها بر ساختار تولید اعمال نگردیده است. سوم، علاوه بر کشش‌های خود

[1]. Electricity generation industry

قیمتی و متقاطع معمولی، کشش‌های آلن-اوزاوا و موریشیما نیز محاسبه شده‌اند. بلاخره، داده‌ها برای یک دوره زمانی بیش از سه و نیم دهه جمع‌آوری و در تخمین‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. لذا، نه فقط تخمین‌های مدل از دقت بالایی برخوردارند، بلکه روند تغییرات فنی و صرفه‌جوئی‌های مقیاس طی یک دوره زمانی نسبتاً طولانی بهتر مشخص می‌شود.

در این مقاله، به ترتیب، ابتدا به بررسی ادبیات موضوع پرداخته می‌شود و پس از آن مدل اقتصاد سنجی در بخش سوم معرفی می‌گردد. در بخش چهارم، چندین معیار و شاخص تعریف گردیده و نحوه اندازه‌گیری آن‌ها توصیف می‌شود. بخش‌های پنجم و ششم مقاله به توصیف داده‌ها و روش برآورد مدل اختصاص می‌یابد. نتایج حاصل از برآورد مدل با توصیف جزئیات در بخش هفتم و نتیجه‌گیری در بخش هشتم ارائه می‌گردند.

۲- ادبیات موضوع

الف) مطالعات خارجی

یکی از معروف‌ترین مطالعات اولیه صرفه‌جوئی‌های مقیاس و ساختار تولید برق توسط نرلاو[1] (۱۹۶۳) در آمریکا انجام گرفت. وی صرفه‌جوئی‌های مقیاس برای بنگاه‌های تولید برق بخاری را مورد بررسی قرار داد. با این فرض که بتوان خصوصیات فرآیند تولید برق را با تابع تولید کاب-داگلاس[2] بیان کرد، او اقدام به برآورد پارامترهای تابع هزینه مربوطه با بکار گرفتن یک نمونه مقطعی[3] برای بنگاه‌ها در سال ۱۹۵۵ نمود. با وجودی که نیروگاه[4] در واقع واحد تولید مناسب برای مطالعه است و تابع تولید در سطح نیروگاه مفهوم بهتری دارد، اما نرولا ترجیح داد بررسی خود را در سطح بنگاه انجام دهد. مطالعه او دلالت بر آن داشت که فرآیند تولید برق در سال ۱۹۵۵ از صرفه‌جوئی‌های مقیاس برخوردار بوده است.

---

1. Nerlove (1963)
2. Cobb-Douglas Production Function
3. Cross-Section Sample
4. Power Plant

بررسی صرفه‌جوئی‌های مقیاس، ساختار تولید و برآورد کشش‌های جانشینی جزئی با معرفی تابع ترانسلوگ[1] توسط کریستونسون، جورگنسون و لاو[2] (۱۹۷۱ و ۱۹۷۳) و همچنین برنت و وود[3] (۱۹۷۵) جهش چشمگیری پیدا کرد. برخلاف تابع کاب داگلاس و تابع کشش جانشینی ثابت[4]، تابع ترانسلوگ هیچ‌گونه محدودیت از پیش تعیین شده‌ای بر ساختار تولید برای کشش‌های جانشینی جزئی قائل نیست. از زمره مشهورترین مطالعات صرفه‌جوئی‌های مقیاس و ساختار تولید در صنعت برق با استفاده از تابع ترانسلوگ مناسب است به مقالات کریستونسون و گرین[5] و اتکین سون و هلورسن[6] به طور کوتاه اشاره نمود.

کریستونسون و گرین برای آن‌که بتوانند اثرات صرفه‌جوئی‌های ناشی از مقیاس را از کاهش هزینه به خاطر بهبود تکنولوژی تفکیک نمایند داده‌های مقطعی برای بنگاه‌ها را که به وضوح دسترسی به تکنولوژی مشابه داشتند برای سال‌های ۱۹۵۵ و همچنین ۱۹۷۰ مورد استفاده قرار دادند. هدف آن‌ها از استفاده از داده‌های مقطعی در دو سال متفاوت این بود که علاوه بر بررسی صرفه‌جوئی‌های مقیاس، به مقایسه نتایج خود با نتایج نرولا نیز بپردازند. بر اساس یافته‌های کریستونسون و گرین، تمام بنگاه‌ها در سال ۱۹۵۵ از صرفه‌جوئی‌های مقیاس قابل توجهی برخوردار بودند. اما در سال ۱۹۷۰، اکثر شرکت‌های تولید برق در قسمت افقی منحنی هزینه متوسط قرار داشتند، و به عبارت دیگر صرفه‌جوئی‌های مقیاس به پایان رسیده بود. یک پیامد بسیار مهم مطالعه این دو اقتصاددان حکایت از آن داشت که فقط چندین تولید کننده خیلی بزرگ برای تولید کارای برق لازم نیست. بالطبع، این نکته پیامدهای مهمی برای سیاست‌گذاری به منظور ایجاد رقابت در مرحله تولید برق در آن زمان داشت.

اتکین‌سون و هلورسن علاقمند به بررسی تقاضای سوخت‌های فسیلی و امکان جایگزینی نهاده‌ها در نیروگاه‌های حرارتی-بخاری آمریکا بودند. آن‌ها با استفاده از تابع سود مقید ترانسلوگ، خصوصیات تابع تولید انرژی برق از قبیل صرفه‌جوئی‌های مقیاس، تغییرات فنی، و امکان

---

1. Translog (Transcendental Logarithmic Function)
2. Christensen, Jorgenson, and Lau (1971; 1973)
3. Berndt and Wood (1975)
4. Constant Elasticity of Substitution
5. Christensen and Greene (1976)
6. Atkinson and Halverson (1976)

جایگزینی نهاده‌ها را مطالعه نمودند. به علاوه، آن‌ها جنبه‌های دیگر فرآیند تولید برق نظیر جدایی‌پذیری سوخت‌ها از نهاده‌های کار، سرمایه، و هموتتیک بودن تابع تولید را مورد آزمون قرار دادند. نتایج اتکین سون و هلورسن نشان داد که (a) امکان جایگزینی سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌های موجود تا حد قابل توجهی وجود دارد، (b) تولید برق از صرفه‌جوئی‌های مقیاس قابل توجهی برخوردار نبوده، (c) تغییرات تابع تولید به دلیل تغییرات فنی اندک بوده، و (d) تابع تولید برق عمدتاً هموتیتیک است. شایان ذکر می‌باشد داده‌های مورد استفاده تعلق به نیروگاه‌ها در سال ۱۹۷۲ داشت.

ب) مطالعات داخلی

ریحانی نیا (۱۳۷۷)، در مطالعه‌ای، با هدف بررسی جانشینی عوامل تولید در فرآیند تولید برق و ارزیابی صرفه‌جویی انرژی در نیروگاه بعثت طی دوره ۱۳۷۵-۱۳۶۰، از تابع هزینه ترانسلوگ استفاده نمود. در این تحقیق، با استفاده از ابزار قیمتی و با توجه به امکان جانشین یا مکمل بودن سوخت مصرفی با سایر نهاده‌های تولید به خصوص سرمایه در نیروگاه مذکور، صرفه‌جویی انرژی در تولید برق مورد بررسی قرار گرفته است. وی تابع تولید نیروی برق را نسبت به نهاده‌های تولید «جدایی‌پذیر ضعیف» فرض می‌کند. تفکیک‌پذیری ضعیف باعث می‌شود که هر گروه از عوامل تولید به صورت مجزا، در نظر گرفته شود و جایگزینی بین عوامل درون گروه بر ترکیب سایر عوامل موجود در گروه‌های دیگر اثری نگذارد.

هاشمی دیزج (۱۳۸۰)، در مطالعه‌ای دیگر با بهره‌گیری از یک تابع هزینه ترانسلوگ، تابع تقاضای سوخت در سه نیروگاه بخاری بعثت، اسلام آباد اصفهان و شهید سلیمی نکاء، را مورد بررسی قرار داده است. عماد زاده (۱۳۸۰) در تحقیقی با عنوان «صرفه‌های ناشی از مقیاس، تحلیلی از وضعیت شرکت ذوب آهن اصفهان» ابتدا به موقعیت حساس و استراتژیک صنعت فولاد اشاره می‌کند و سپس با توجه به جایگاه شایسته این صنعت در تجارت جهانی فولاد به بررسی اقتصادی به ویژه تعیین صرفه‌های ناشی از مقیاس و تبیین ساختار هزینه‌ای آن در توسعه و گسترش این صنعت می‌پردازد.

یکی از مزیت‌های مطالعه حاضر بر مطالعات گذشته، به کارگیری هم‌زمان متغیرهای قیمت سوخت (گازوئیل، نفت کوره، گاز طبیعی)، سرمایه و نیروی کار در برآورد مدل است. چرا که در مطالعات دیگر از فرض جدایی‌پذیری ضعیف استفاده شده و تنها قیمت نهاده سوخت در مدل منظور گردیده است.

۳- معرفی و استخراج مدل

به منظور مدلسازی مناسب در این مطالعه از تابع هزینه کاملاً انعطاف‌پذیر ترانسلوگ استفاده می‌شود چرا که با بهره‌گیری از قضیه شفارد لما[1] به راحتی می‌توان تابع تقاضا برای عوامل تولید را از تابع هزینه ترانسلوگ به دست آورد. بدیهی است که در چنین صورتی تقاضای استخراج شده، تقاضای مشروط است. چون در آن‌ها میزان نهاده مورد تقاضا به صورت تابعی از قیمت نهاده‌ها و سطح محصول بیان شده است. به عبارت دیگر تقاضای نهاده، بستگی به سطح خاصی از تولید دارد. دوم این‌که با انتخاب تابع هزینه ترانسلوگ فرض‌ها محدود می‌شوند و در نتیجه قیدهای کمتری بر الگو تحمیل می‌شود. به عنوان مثال ضرورتی ندارد که فرض شود تابع تولید نسبت به عوامل تولید، همگن از درجه یک یا کشش جانشینی بین نهاده‌ها ثابت است. بلکه فرض می‌شود که تابع هزینه نسبت به قیمت عوامل همگن خطی است که فرضی منطقی می‌باشد. سوم، در تابع هزینه ترانسلوگ موضوعاتی نظیر صرفه‌جوئی ناشی از مقیاس به راحتی قابل بررسی است که مورد علاقه کارگزاران و سیاستگذاران صنایع می‌باشد. به علاوه، مشکلاتی نظیر همخطی در برآورد اقتصاد سنجی در توابع تولید مطرح می‌گردد اما در روش تابع هزینه ترانسلوگ، چون قیمت نهاده‌ها به جای عوامل تولید در سمت راست معادله قرار دارند، همخطی بین قیمت عوامل تولید که متغیرهای مستقل الگو هستند، ضعیف است و لذا، تخمین را با مشکل مواجه نخواهد کرد. و بلاخره تابع هزینه ترانسلوگ پس از برآورد تغییرات فنی را به طور مناسب مشخص می‌کند (بینسونگر، ۱۹۷۴)[2].

---

[1]. Shephard's lemma
[2]. Binswanger (1974)

نیروگاه‌های تولید برق، واحدهای تولیدی هستند که از عوامل تولید برای تولید نیروی برق استفاده می‌کنند. این عوامل تولید عبارتند از سوخت، نیروی کار و سرمایه. با این فرض که مدیریت نیروگاه‌ها رفتار بهینه را اتخاذ کنند و به دنبال حداقل کردن هزینه تولید جهت رسیدن به سطح مشخصی از نیروی برق باشند، می‌توان تابع تبدیل ضمنی زیر را (که بیان‌گر تکنولوژی تولید است) معرفی نمود. این تابع تبدیل، تابعی از سطح تولید، مقدار عوامل تولید و متغیر روند است:

$$F(Y,K,L,LF,E(E_{gas},E_n,E_g),t)=0 \qquad (۱)$$

در اینجا Y مقدار تولید نیروگاه‌های برق، K سرمایه یا ظرفیت تولید برق[1]، L نیروی کار، E انرژی، LF ضریب بار[2] و t متغیر روند زمان، به منظور بررسی اثرات تغییرات فنی است. نهاده انرژی که در فرآیند تولید برق مورد استفاده قرار می گیرد، خود تابعی از سه حامل انرژی E_g گازوئیل، E_n نفت کوره و E_{gas} گاز طبیعی می‌باشد.

ضریب بار از شاخص‌های مهم صنعت برق برای ارزیابی عملکرد این صنعت به شمار می‌رود. تعریف ضریب بار برای نیروگاه یا شبکه عبارتست از نسبت بار متوسط طی یکسال به اوج بار، و آن‌را می‌توان به صورت زیر محاسبه نمود:

$$LF=\frac{Y/8760}{PL} \qquad (۲)$$

PL حداکثر بار سالیانه[3] و Y میزان تولید انرژی برق می‌باشد. اکنون تابع هزینه‌ای در نظر گرفته می‌شود که در آن نهاده موجودی سرمایه شبه ثابت[4] است. تکنولوژی تولید برق در نیروگاه‌ها توسط تابع هزینه کلی زیر قابل بیان است:

$$VC=C((Y,K,LF,P_l,P_r,P_E(P_{gas},P_n,P_g),t) \qquad (۳)$$

---

1. Power Generation Capacity
2. Load Factor
3. Annual Peak Load
4. Quasi-Fixed

شاخص P_E بر اساس قیمت‌های سه سوخت به دست می‌آید. تغییر در قیمت هر کدام از سوخت‌ها، ترکیب مصرف آن‌ها را تغییر خواهد داد. P_l قیمت نیروی کار، K بیان‌گر ظرفیت اسمی (نصب شده) نیروگاه‌ها، P_r قیمت سرمایه، P_{gas} قیمت گاز، P_n قیمت نفت کوره و P_g قیمت گازوئیل و VC هزینه متغیر می‌باشد.

تقریباً در تمام تحقیقاتی که از تابع هزینه جهت بررسی سیستم تقاضای نهاده‌های تولید در بخش‌های مختلف اقتصاد استفاده شده، صنایع مختلف در تعادل ایستا و بلندمدت فرض شده‌اند. اما واقعیت این است که فرض مذکور در مورد برخی صنایع به دو دلیل چندان مطلوب و منطقی نمی‌باشد. اول این‌که سرمایه متشکل دارای یک عمر طولانی می‌باشد و انجام تعدیلات در سرمایه در واکنش به تغییرات تقاضا پرهزینه و تا حدودی زمان بر است. این مطلب به خصوص در مورد صنایع سنگین[1]، نظیر صنعت پتروشیمی و صنعت تولید برق که در آن‌ها طراحی و تشکیل سرمایه بر مبنای پیش‌بینی‌های بلندمدت صورت می گیرد صادق می‌باشد (لیسبی و هاربی، ۱۳۷۸). دوم، بنا به علل گوناگون، در برخی صنایع مانند صنعت برق باید مقداری ظرفیت اضافی[2] جهت پاسخگویی به افزایش ناگهانی تقاضا موجود باشد. این توصیف، دلالت بر این نکته دارد که در چنین صنایعی حجم سرمایه شبه ثابت است. بنابراین، صنعت و یا بنگاه مربوطه نمی‌تواند در تعادل ایستا باشد و برآورد مبتنی بر توابع هزینه بلند مدت چندان دقیق و قابل استناد نخواهد بود (موتاری و برنی، ۲۰۰۲)[3]. با این فرض که تابع هزینه دو بار مشتق پذیر باشد، می‌توان رابطه (۳) را با استفاده از تابع هزینه ترانسلوگ به صورت زیر بیان نمود:

$$\begin{aligned} LnVC = {} & a_0 + \beta_Y LnY + \sum_{i=1}^{5} a_i LnP_i + \tfrac{1}{2}\beta_{YY}(LnY)^2 + \tfrac{1}{2}\sum_{i=1}^{5}\sum_{j=1}^{5} a_{ij} LnP_i LnP_j + \sum_{i=1}^{5}\beta_{Yi} LnYLnP_i \\ & + \delta_t t + \tfrac{1}{2}\delta_{tt}(t)^2 + \delta_{tY} tLnY + \sum_{i=1}^{5}\delta_{ti} tLnP_i + \tfrac{1}{2}\beta_{kk}(LnK)^2 + \beta_k LnK + \gamma_{kY} LnYLnK + \\ & \sum_{i=1}^{5}\beta_{ki} LnKLnP_i + \delta_{tk} tLnK + \beta_{lf} LnLF + \tfrac{1}{2}\delta_{lflf}(LnLF)^2 + \sum_{i=1}^{5}\delta_{lfi} LnLFLnP_i \\ & + \delta_{lfY} LnLFLnY + \delta_{tlf} tLnLF + \delta_{lfK} LnLFLnK \end{aligned} \qquad (٤)$$

[1]. Heavy Industries
[2]. Excess Capacity
[3]. Al-Mutairi and Burny (2002)

تابع هزینه ترانسلوگ کوتاه مدت فوق جایگزینی بین نهاده‌های تولید را محدود نمی‌سازد. دو بار مشتق‌پذیر بوده و ماتریس هشین آن نسبت به قیمت نهاده‌ها متقارن است.

یک مزیت روش تابع هزینه این است که می‌توان توابع تقاضای نهاده‌ها را با گرفتن مشتق جزئی از تابع هزینه نسبت به قیمت عوامل تولید به دست آورد. اگر تقاضای نهاده iام توسط یک بنگاه را با $x_i(P,Y)$ نشان دهیم و اگر بازار نهاده‌ها رقابت کامل باشد، خواهیم داشت:

$$x_i(P,Y)=\frac{\partial vc(P,Y)}{\partial P_i} \qquad i=1,2,...,n \qquad (۵)$$

که در این‌جا P_i بیان‌گر قیمت نهاده‌ها در فرآیند تولید برق می‌باشد. این نتیجه در واقع همان شفارد لما مطابق شفارد[1] (۱۹۵۳) است. چون در تابع هزینه ترانسلوگ متغیرها به صورت لگاریتمی ظاهر می شوند مشتق لگاریتم هزینه نسبت به لگاریتم قیمت نهاده‌ها سهم هزینه آن نهاده‌ها را به دست می‌دهد. به عبارت دیگر، معادلات سهم هزینه عوامل به صورت زیر به دست می‌آید:

$$S_i=\frac{\partial LnVc(P,Y)}{\partial LnP_i}=\frac{\partial Vc}{\partial P_i}\times\frac{P_i}{Vc}=\frac{P_i x_i}{Vc} \qquad i=gas,n,l,r,g \qquad (٦)$$

در این جا x_i بیانگر میزان نهاده i در تولید است. با توجه به تابع هزینه ترانسلوگ (۴)، معادلات سهم انواع نهاده‌ها از قرار زیر می‌باشد:

$$S_i=a_i+\beta_{Yi}LnY+\beta_{Ki}LnK+\sum_{i=1}^{5}a_{ij}LnP_j+\delta_{LFi}LF+\delta_{it}t \qquad (٧)$$
$$(i\neq j)=gas,n,l,r,g$$

تابع هزینه ترانسلوگ بایستی واجد شرایط به خصوصی باشد تا با تابع تولید خوش رفتار[2] متناظر باشد و به عنوان تابع هزینه خوش رفتار شناخته شود. در صورت عدم خوش رفتاری تابع هزینه از

---

1. Shephard (1953)
2. Well-Behaved Production Function

نتایج آن نمی‌توان جهت شناخت و درک درست ساختار تولید یک بنگاه استفاده کرد. شرایط خوش رفتاری تابع مذکور عبارتند از همگن خطی نسبت به قیمت عوامل تولید و تقارن[1].
شرط همگن خطی نسبت به قیمت عوامل تولید قبل از برآورد بر الگو تحمیل می‌شود. در رابطه با تابع هزینه ترانسلوگ (۴)، شرط فوق به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\sum_{i=1}^{5} a_i = 1 \qquad (۸)$$

$$\sum_{i,j=1}^{5} a_{ij} = \sum_{i,j=1}^{5} a_j = \sum_{i=1}^{5} \beta_{Yi} = \sum_{i=1}^{5} \beta_{Ki} = \sum_{i=1}^{5} \delta_{Lfi} = \sum_{i=1}^{5} \delta_{it} = 0 \qquad (۹)$$

شرط تقارن نیز قبل از برآورد بر مدل (تابع هزینه) اعمال می‌شود. بر اساس قضیه یانگ[2] و با فرض دو بار مشتق‌پذیری تابع هزینه ترانسلوگ شرط مذکور به صورت زیر بر الگو تحمیل می‌شود:

$$\frac{\partial Ln^2 Vc}{\partial LnP_i \partial LnP_j} = a_{ij} = a_{ji} \qquad (۱۰)$$

چون مجموع سهم هزینه‌ها برابر واحد است $(\sum_{i=1}^{5} S_i = 1)$، باید یکی از معادلات سهم هزینه را در هنگام برآورد حذف نمود. بعد از برآورد سیستم معادلات، پارامترهای مربوط به معادله سهم هزینه حذف شده به کمک قیود تقارن و همگنی و بر اساس سایر پارامترهای به دست آمده قابل محاسبه است. با توجه به مطالب فوق، معادلات سهم هزینه نهاده‌ها در فرآیند برآورد به صورت زیر خواهند بود:

$$S_i = a_i + \beta_{Yi} LnY + \beta_{Ki} LnK + \sum_{i=1}^{4} a_{ij} Ln(\frac{P_j}{P_g}) + \delta_{LFi} LF + \delta_{it} t \qquad (۱۱)$$

$$(i \neq j) = n, gas, l, r$$

1. Symmetry Condition
2. Young's Theorem

$\frac{P_j}{P_g}$ بیان کننده قیمت تمامی نهاده‌ها به استثناء قیمت گازوئیل است.

۴- معرفی معیارها و شاخص‌ها و نحوه اندازه‌گیری آن‌ها

اکنون لازم است به بیان چندین معیار و شاخص و نحوه اندازه‌گیری آن‌ها پرداخته شود.

۴-۱- صرفه‌جوئی‌های ناشی از مقیاس

صرفه‌جوئی‌های مقیاس عبارت است از درصد تغییر در میزان تولید تقسیم بر درصد تغییر در تمام نهاده‌ها. می‌توان صرفه‌جوئی‌های مقیاس را با استفاده از رابطه بین مقدار محصول و هزینه تولید بیان نمود. چنان‌چه درصد تغییر در هزینه به ازای یک درصد تغییر در مقدار محصول را کشش هزینه نسبت به محصول بنامیم، در آن صورت می‌توان صرفه‌جوئی‌های مقیاس را به یکی از دو روش زیر تعریف نمود. روش اول، با استفاده از رابطه:

$$Scale = 1 - (\frac{\partial \ln TC}{\partial \ln Y}) \qquad (۱۲- \text{الف})$$

که مطابق این روش، برای صرفه‌جوئی‌های مقیاس اعداد مثبت و حالت عکس آن اعداد منفی به دست می‌آید. در روش دوم، می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$Scale = \frac{1}{\partial \ln TC / \partial \ln Y} \qquad (۱۲- \text{ب})$$

همچنین ممکن است صرفه‌جوئی‌های ناشی از مقیاس با استفاده از نسبت افزایش در هزینه متغیر کل به ازای افزایش در تولید تعریف شود. نلسون[1] (۱۹۸۹) نشان می‌دهد که برای تابع هزینه متغیر، محاسبه صرفه‌جوئی‌های ناشی از مقیاس برابر است با؛

[1]. Nelson (1989)

$$Scale = \frac{1-(\partial \ln VC/\partial \ln K)}{(\partial \ln VC/\partial \ln Y)} \qquad (۱۳)$$

که با این روش، برای صرفه‌جوئی‌های مقیاس (یعنی بازدهی فزآینده نسبت به مقیاس) اعداد بزرگ‌تر از یک و برای حالت عکس آن (یعنی بازدهی نزولی نسبت به مقیاس) ارقام کوچک‌تر از یک حاصل خواهد گردید.

۴-۲- تغییرات فنی

تکنولوژی و تغییرات فنی جایگاه مهمی در فرآیند تولید دارا می‌باشند. لحاظ نمودن تغییرات فنی به عنوان یک متغیر مهم در بسیاری از کارهای تجربی و آماری تا حدودی در گذشته رایج بوده است. در این زمینه می‌توان به مطالعات ارکیلا[1] (۱۹۹۰) و اوکونید[2] (۱۹۹۳) اشاره نمود. پیشرفت تکنولوژی را می‌توان به دو صورت تعبیر نمود. اول آن‌که تغییرات فنی می‌تواند موجب کاهش سطح نهاده‌ها برای مقدار ثابتی از تولید شود. دوم این که سطح محصول برای مقدار ثابتی از نهاده‌ها افزایش یابد. به طور کلی می‌توان این‌گونه بیان داشت که طی زمان، با فرض ثابت بودن قیمت عوامل تولید، آیا هزینه تولید هر واحد کاهش یا افزایش یافته است. شاخص تحولات فنی با استفاده از تابع هزینه ترانسلوگ چنین به دست می‌آید (نفر ۱۳۸۵):

$$\frac{\partial LnVC}{\partial t} = \delta_t + \delta_{tt}T + \sum_{i=1}\delta_{it}LnP_i + \delta_{Yt}LnY + \delta_{Kt}LnK \qquad (۱٤)$$
$$i = n, gas, g, l, r$$

یک بعد دیگر تکنولوژی طی زمان، تورش تغییرات فنی[3] می‌باشد که با استفاده از رابطه زیر قابل بررسی است.

---

1. Erkila (1990)
2. Okunade (1993)
3. Technical Change Bias

$$TCB_i = \frac{\partial S_i}{\partial t} = \delta_{it} \qquad (۱۵)$$

در رابطه بالا TCB تورش تغییرات فنی را نشان می‌دهد. اگر $TCB_i > 0$ باشد، تکنولوژی تولید در جهت استفاده بیشتر از نهاده iام بوده است. در صورتی‌که $TCB_i < 0$ باشد، تکنولوژی تولید در جهت استفاده کمتر از نهاده iام بوده است. بدین مفهوم که با خریداری دستگاه‌ها و تجهیزات مدرن به مرور زمان، علاوه بر این که نسبت استفاده از نهاده‌ها تغییر نموده، سهم نهاده iام از هزینه‌های تولید نیز در طول زمان کاهش یافته است. سرانجام اگر $TCB_i = 0$ باشد، در این صورت تکنولوژی تولید نسبت به نهاده مذکور خنثی است. توضیح بیشتر در مورد اندازه‌گیری تورش تغییرات فنی در بخش نتایج خواهد آمد.

۴-۳- کشش جانشینی آلن- اوزاوا

در حالت کلی، یعنی وقتی تعداد نهاده‌ها در فرآیند تولید بیش از دو باشد، کشش جانشینی جزئی آلن[1]- اوزاوا[2] (AES)[3] بین دو نهاده i و jاز یک تابع هزینه با فرمول زیر قابل محاسبه است؛

$$\sigma_{ij} = \frac{C.C_{ij}}{C_i.C_j} \qquad (۱۶)$$

در رابطه فوق C هزینه کل، C_i و C_j مشتق‌های مرتبه اول تابع هزینه نسبت به قیمت هر عامل تولید، و C_{ij} مشتق مرتبه دوم نسبت به قیمت عوامل تولید i و jمی‌باشند. برنت و وود[4] نشان دادند که برای تابع هزینه ترانسلوگ، کشش‌های جانشینی جزئی آلن-اوزاوا را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

---

1. Allen (1938)
2. Uzawa (1938)
3. Allen Partial Elasticity of Substitution (AES)
4. Berndt and Wood (1975)

$$\sigma_{ii} = \frac{a_{ii} + S_i^2 - S_i}{S_i^2} \qquad for: i = j \qquad i, j = n, gas, g, l, r \qquad (۱۷)$$

$$\sigma_{ij} = \frac{a_{ij}}{S_i S_j} + 1 \qquad for: i \neq j \qquad j, i = n, gas, g, l, r \qquad (۱۸)$$

که S_i, S_j به ترتیب سهم عوامل i, j از هزینه تولید و a_{ij} پارامتر عبارتی در تابع هزینه ترانسلوگ (۴) می‌باشد که از ضرب لگاریتم‌های قیمت نهاده‌های i, jام به دست آمده است. در صورتی‌که AES_{ij} بزرگ‌تر از صفر باشد، به مفهوم وجود جانشینی بین دو نهاده تولید و اگر کوچک‌تر از صفر باشد، بیان‌گر وجود رابطه مکملی میان دو نهاده تولید است.

۴-۴- کشش‌های خودی و متقاطع قیمتی نهاده‌ها

کشش خودی (مستقیم) قیمتی تقاضای یک نهاده بیان‌گر درصد تغییر در مقدار تقاضای آن نهاده است وقتی قیمت آن نهاده یک درصد تغییر کند. کشش متقاطع قیمتی تقاضای نهاده iام نسبت به قیمت نهاده jام عبارت است از درصد تغییر در مقدار تقاضای عامل تولید i به ازای یک درصد تغییر در قیمت عامل تولید jام، با فرض ثابت بودن قیمت سایر نهاده‌ها. کشش قیمتی تقاضا برای عوامل (η_{ij}) به راحتی با رابطه زیر قابل تعریف می‌باشد:

$$\eta_{ij} = \frac{\partial LnE_i}{\partial LnP_j} \qquad (۱۹)$$

آلن (۱۹۳۸) نشان داده است که کشش‌های قیمتی نهاده‌ها با AESها رابطه دارند و به محض این‌که کشش‌های جانشینی جزئی آلن-اوزاوا محاسبه گردند، کشش‌های خودی و متقاطع قیمتی نهاده‌ها بسادگی قابل محاسبه می‌شوند. و همین‌طور بالعکس، به طور روشنتر، کشش‌های خودی نهاده iام از رابطه؛

$$\eta_{ii} = \delta_{ii}.S_i \qquad i = n, gas, g, l, r \qquad (۲۰- \text{فلزا})$$

و کشش متقاطع تقاضای نهاده iام نسبت به قیمت نهاده jام از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\eta_{ij} = \delta_{ij}.S_j \qquad for: i \neq j \qquad i = n, gas, g, l, r \qquad (۲۰-ب)$$

۴-۵- کشش جانشینی موریشیما

بلاکروبی و راسل[1] در سال ۱۹۸۹ نشان دادند که کشش جانشینی جزئی آلن، یک معیار کاملاً مناسب برای بررسی درجه جانشینی نهاده‌ها و انحنای منحنی تولید یکسان نمی‌باشد. علاوه بر این، کشش مذکور قادر به ارائه اطلاعاتی در مورد سهم عوامل نیست. از طرف دیگر، به عنوان یک معیار کیفی[2]، کشش جانشینی آلن مطلبی به مفهوم کشش متقاطع اضافه نمی‌نماید. آن‌ها ضمن انتقاد از عملکرد کشش جانشینی آلن، کشش جانشینی موریشیما[3] را به عنوان معیاری مناسب جهت تبیین روابط جانشینی و انحنای منحنی تولید همسان معرفی کردند. به طور کلی، اگر تعداد متغیرها بیش از دو متغیر باشد، کشش جانشینی موریشیما، معیار بهتری جهت ارزیابی جانشینی بین نهاده‌هاست (دیورت و والز، ۱۹۸۷)[4]. این کشش، درصد تغییر در نسبت یک جفت از نهاده‌ها به درصد تغییر در نسبت قیمت آن‌ها را اندازه‌گیری می‌کند. همچنین این کشش آماره مناسبی برای ارزیابی کیفی و کمی اثر تغییرات قیمت نهاده‌ها بر سهم هزینه نهاده‌های تولید می‌باشد. کشش جانشینی موریشیما (MES) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$MES_{ij} = \frac{a_{ji}}{S_i} - \frac{a_{ij}}{S_j} + 1 \qquad (۲۱)$$

$$MES_{ji} = \frac{a_{ij}}{S_j} - \frac{a_{ji}}{S_i} + 1 \qquad (۲۲)$$

---

1. Blackorby and Russell (1989)
2. Qualitative
3. Morishima Elasticity of substitution
4. Diewert and Wales (1987)

در روابط بالا a_{ij} و a_{ji} پارامترهای قیمت نهاده‌های تولید (گازوئیل، گاز طبیعی، نیروی کار، نفت کوره و سرمایه) در معادلات سهم هزینه می‌باشند.

۵- توصیف داده‌ها

شایان ذکر است که داده‌های مورد استفاده در این مطالعه به صورت سری زمانی و مربوط به کلیه نیروگاه‌های حرارتی تولید برق کشور طی دوره ۸۶-۱۳۵۰ می‌باشد. این داده‌ها عمدتاً از نشریه «چهل و یک سال صنعت برق ایران در آئینه آمار» گردآوری شده است. سایر منابع آماری مورد استفاده عبارتند از: ترازنامه انرژی، سالنامه آماری و پایگاه آمار اقتصاد صنعتی[1]. داده‌های آماری قدرت اسمی نیروگاه‌ها بر حسب مگاوات (هزار کیلووات)، تولید برق برحسب میلیون کیلووات ساعت، گازوئیل و نفت کوره بر حسب میلیون لیتر، گاز طبیعی بر حسب میلیون متر مکعب و ضریب بار بر حسب درصد از نشریه «چهل و یک سال صنعت برق ایران در آئینه آمار» گرفته شده است. انجام این مطالعه نیازمند محاسبه برخی از متغیرها بود که در اینجا چگونگی محاسبه آن‌ها ارائه می‌گردد.

محاسبه قیمت سوخت‌ها

چون که قیمت سوخت‌های فسیلی در دسترس نمی‌باشد، برای محاسبه آن‌ها لازم است ابتدا میزان مصرف هر سوخت با استفاده از یک ضریب تبدیل حرارتی مگاژول (mj) محاسبه گردد و سپس با تقسیم هزینه‌های سالیانه بر مقدار به دست آمده، قیمت سوخت محاسبه شود. شایان ذکر است که نیروگاه‌های برق در نقاط مختلف کشور پراکنده بوده و دارای سطح هزینه‌های عملیاتی متفاوت از هم می‌باشند. از آن‌جا که دسترسی به هزینه‌های حمل و نگهداری سوخت‌ها بسیار مشکل است، آن هزینه‌ها در تعیین قیمت سوخت‌ها منظور نگردید.

[1]. www.Mim.gov.ir/industry

محاسبه قیمت نیروی کار

منظور از قیمت نیروی کار، مزد و حقوق و مزایای پرداختی سالانه است که به طور متوسط به هر یک از افراد شاغل پرداخت می‌شود. برای پیدا نمودن قیمت نهاده کار، هزینه‌های مزد و حقوق پرداختی کارکنان بر تعداد شاغلین تقسیم شده است. به دلیل عدم دسترسی به آمار مذکور برای صنعت برق ناچاراً از میانگین دستمزد پرداختی در کل صنایع استفاده شده است.

محاسبه قیمت سرمایه

در این تحقیق، برای دستیابی به قیمت نهاده سرمایه در هر سال، از نسبت میانگین مخارج سرمایه‌گذاری طی سه سال به ظرفیت ایجاد شده (یعنی ظرفیت اضافه شده به نیروگاه‌های کشور) طی سه سال استفاده شده است. برای محاسبه قیمت سرمایه به قیمت ثابت (سال ۱۳۷۶)، شاخص تورم کشورهای توسعه یافته مورد استفاده قرار گرفته است. دلیل این امر واردات بسیاری از تجهیزات نیروگاهی از این گونه کشورها در گذشته بوده است.

۶- روش برآورد مدل

برآورد پارامترهای یک تابع هزینه مانند تابع هزینه ترانسلوگ (۴) با روش حداقل مربعات معمولی (OLS) میسر است و از لحاظ راحتی و سادگی روش OLS جذابیت خاصی دارد. اما این روش دو نقص اصلی دارد: اول این‌که روش OLS به اطلاعات بیشتری که در معادلات سهم هزینه (۱۱) موجود است، توجهی نمی‌کند. دوم، تابع هزینه ترانسلوگ معمولاً متغیرهای مستقل زیادی در سمت راست معادله دارد و این امر موجب از دست رفتن درجه آزادی[1] می‌گردد. با توجه به این دو نکته، روش بهینه برآورد، تخمین همزمان تابع هزینه و معادلات سهم هزینه به عنوان یک سیستم رگرسیون چند متغیره[2] می‌باشد. لحاظ نمودن معادلات سهم هزینه در فرآیند برآورد، اثر افزودن به درجه آزادی بدون افزایش ضرایب رگرسیون را دارد. این روش منجر به تخمین کارآتر پارامترهای مدل در مقایسه با تخمین تابع هزینه به روش OLS می‌شود.

---

[1]. Degree of Freedom
[2]. Multiviatate Regression System

از آن‌جا که معادلات سهم هزینه از مشتق تابع هزینه به دست آمده‌اند عبارت خطا ندارند. لذا، عبارات خطا را به تابع هزینه و معادلات سهم هزینه اضافه می‌کنیم. فرض می‌شود عبارت خطا توزیع نرمال داشته باشد. روش زلنر[1] (۱۹۶۲) در ظاهر روش مناسبی برای تخمین اقتصاد سنجی معادلات سهم هزینه است، اما این روش برای مدل موجود وقتی که تمام معادلات سهم هزینه در نظر گرفته شوند، قابل استفاده نیست. زیرا، ماتریس واریانس-کواریانس اجزا خطا که برای انجام روش زلنر ضرورت دارد به دلیل این که جمع عبارت های خطا در معادلات سهم هزینه باید صفر باشد، منفرد[2] می‌شود. روش زلنر را می‌توان با جلوگیری از صفر شدن ماتریس واریانس-کواریانس اجزا خطا از طریق حذف یک معادله سهم هزینه عملیاتی نمود و از روش برآورد رگرسیون به ظاهر نامرتبط تکراری[3] استفاده کرد. برخی اقتصاددانان معتقدند که معادلات سهم را ابتدا باید با استفاده از روش OLS برآورد نمود، و سپس معادله ای را که R^2 کوچک‌تری دارد حذف کرد. در حالی‌که بسیاری دیگر از جمله زلنر بر این باورند که حذف دلخواه هر کدام از معادلات تأثیری در نتایج نمی‌گذارد.

۷- نتایج حاصل از برآورد مدل

با توجه به مطالب قسمت قبل و با در نظر گرفتن نهاده‌های تولید در فرآیند تولید برق نیروگاه‌های حرارتی، برای مشخص شدن معادله‌ای که باید از مجموعه معادلات سهم هزینه حذف شود، ابتدا هر کدام از پنج معادله سهم هزینه جداگانه با روش OLS برآورد گردید. از آن‌جا که معادله هزینه سوخت گازوئیل R^2 کمتری داشت از سیستم معادلات سهم هزینه حذف شد. سیستم معادلات سهم هزینه که به همراه مدل هزینه ترانسلوگ (۴) برآورد گردید، در زیر ارائه می‌شود.

---

1. Zellner (1962)
2. Singular
3. Iterative Seemingly unrelated Regression (SUR)

$$S_n = a_n + \beta_{yn} LnY + \beta_{kn} LnK + a_{nn} Ln(P_n / P_g) + a_{ngas} Ln(P_{gas} / P_g) + a_{nl} Ln(P_l / P_g) + a_{nr} Ln(P_r / P_g) + \delta_{nt} t \quad (۲۳)$$

$$S_{gas} = a_{gas} + \beta_{ygas} LnY + \beta_{kgas} LnK + a_{gasn} Ln(P_n / P_g) + a_{gasgas} Ln(P_{gas} / P_g) + a_{gasl} Ln(P_l / P_g) + a_{gasr} Ln(P_r / P_g) + \delta_{gast} t \quad (۲۴)$$

$$S_l = a_l + \beta_{yl} LnY + \beta_{kl} LnK + a_{\ln} Ln(P_n / P_g) + a_{\lg as} Ln(P_{gas} / P_g) + a_{ll} Ln(P_l / P_g) + a_{lr} Ln(P_r / P_g) + \delta_{lt} t \quad (۲۵)$$

$$S_r = a_r + \beta_{yr} LnY + \beta_{kr} LnK + a_{rn} Ln(P_n / P_g) + a_{rgas} Ln(P_{gas} / P_g) + a_{rl} Ln(P_l / P_g) + a_{rr} Ln(P_r / P_g) + \delta_{rt} t \quad (۲۶)$$

قابل ذکر است برآوردها در ابتدا با منظور کردن متغیر ضریب بار انجام شد، اما پس از مشاهده همبستگی شدید بین آن و متغیر تولید برق از مدل حذف گردید. پارامترهای معادله سوخت گازوئیل که از سیستم معادلات سهم هزینه حذف شده، با استفاده از قیود همگنی درجه اول هزینه نسبت به قیمت نهاده‌ها و تقارن به صورت زیر محاسبه شده‌اند:

$$\sum_{i=1}^{5} a_i = 1 \Rightarrow a_g = 1 - a_{gas} - a_n - a_l - a_r \quad (۲۷)$$

$$\sum_{i=1}^{5} a_{ij} = \sum_{j=1}^{5} a_{ji} = 0 \quad (۲۸)$$

$$\sum_{i=1}^{5} \beta_{yi} = 0 \Rightarrow \beta_{yg} = -\beta_{ygas} - \beta_{yn} - \beta_{yl} - \beta_{yr} \quad (۲۹)$$

$$\sum_{i=1}^{5} \beta_{ki} = 0 \Rightarrow \beta_{kg} = -\beta_{kgas} - \beta_{kn} - \beta_{kl} - \beta_{kr} \quad (۳۰)$$

$$\sum_{i=1}^{5} \delta_{it} = 0 \Rightarrow \delta_{gt} = -\delta_{nt} - \delta_{gast} - \delta_{lt} - \delta_{rt} \quad (۳۱)$$

مقادیر برآورده شده پارامترهای معادلات فوق در جدول (۱) مشخص شده است. شایان ذکر است که داده‌های برآورد شده در مدل با تفاضل مرتبه اول دیکی فولر پایا شده‌اند.

جدول (۱): برآورد پارامترهای مدل هزینه ترانسلوگ و معادلات سهم هزینه نهاده‌ها

پارامتر	برآورد	آماره (t)	پارامتر	برآورد	آماره (t)
a_n	۳/۷	۶/۹۷	δ_{rt}	-۰/۰۵۱	-۴/۸۷
a_{gas}	۲/۰۲	۴/۱۵	δ_{gt}	۰/۰۰۲	***
a_l	-۱/۲۴	-۲/۳۶	a_{nn}	۰/۰۲۱	۰/۹۵
a_r	-۲/۶۱	-۳/۱۲	a_{ngas}	-۰/۰۴	-۱/۲۱
a_g	-۰/۸۷	***	a_{nl}	-۰/۰۱	-۰/۵۵
β_{yn}	-۰/۱۶	-۲/۲۷	a_{nr}	۰/۰۱۷	۱/۵۱
β_{ygas}	-۰/۱۷	-۱/۱۶	a_{gasgas}	۰/۱۴	۴/۹۷
β_{yl}	۰/۰۲۱	۰/۲۱۱	a_{gasl}	-۰/۰۵	-۳/۳۱
β_{yr}	۰/۳۳	۰/۹۶	a_{gasr}	۰/۰۱۷	۱/۴۱
β_{yg}	-۰/۰۲	***	a_{ll}	۰/۰۲۱	۱/۵۷
β_{kn}	-۰/۱۳	-۵/۴۱	a_{lr}	-۰/۰۲	-۲/۲۳
β_{kgas}	-۰/۲۱	-۳/۲۱	a_{rr}	۰/۰۴	۳/۶۹
β_{kl}	۰/۰۴۵	۲/۵۶	a_{gg}	۰/۰۸۱	***
β_{kr}	۰/۲۷	۳/۵۳	a_{gn}	-۰/۰۲۱	***
β_{kg}	۰/۰۲۵	***	a_{ggas}	-۰/۰۷۳	***
δ_{nt}	۰/۰۲۹	۴/۴۶	a_{gl}	۰/۰۲۱	***
δ_{gast}	۰/۰۳۶	۵/۲۳	a_{gr}	-۰/۰۳۷	***
δ_{lt}	-۰/۰۱۶	-۳/۶۵			

منبع: محاسبات تحقیق

۷-۱- بررسی ویژگی خوش رفتاری تابع هزینه ترانسلوگ

۷-۱-۱- آزمون متقارن بودن تابع هزینه نسبت به قیمت نهاده‌ها

یکی از محدودیت‌هایی که بر تابع هزینه ترانسلوگ اعمال شده، محدودیت تقارن می‌باشد. به منظور آزمون قید تقارن یا $a_{ij} = a_{ji}$، ابتدا معادلات از طریق روش OLS (حداقل مربعات معمولی) برآورد گردیده و آماره $t = \frac{\hat{a}_{ij} - \hat{a}_{ji}}{\sqrt{S_i^2 \hat{a}_{ij} + S_j^2 \hat{a}_{ji}}}$ برابری پارامترهای $a_{ij} = a_{ji}$ آزمون شده

است (محمودی عالمی، ۱۳۸۴). $S_{i,}S_j$ در آماره فوق، سهم هزینه نهاده‌های i و j می‌باشد. نتایج برآورد شده در جدول (۲) آمده است.

جدول (۲): آزمون متقارن بودن پارامترها

۲/۴۷	$a_{gn} = a_{ng}$
۰/۵۱	$a_{ggas} = a_{gasg}$
۲/۳	$a_{gl} = a_{\lg}$
۰/۵۱	$a_{gr} = a_{rg}$
-۰/۷۲	$a_{ngas} = a_{gasn}$
-۱/۶	$a_{nl} = a_{\ln}$
۰/۴۷	$a_{nr} = a_{rn}$
۲/۴	$a_{gasl} = a_{\lg as}$
۰/۸۱	$a_{gasr} = a_{rgas}$
۱/۶	$a_{lr} = a_{rl}$

منبع: محاسبات تحقیق

در ستون سمت راست جدول فوق فرضیه‌های وجود تقارن و در ستون چپ آماره‌های محاسبه شده قرار دارند. همان طوری‌که از آماره‌های محاسبه شده در جدول (۲) پیداست تمامی آماره‌های محاسبه شده از t[۱] جدول کوچک‌تر هستند و آن دلالت بر این امر دارد که فرض تقارن برقرار است و در سطح ۵ درصد نمی‌شود فرضیه H_0 را رد نمود و مشکلی از بابت نقض فرض تقارن وجود ندارد.

شرط همگنی درجه یک تابع هزینه نسبت به قیمت نهاده‌ها هم قبل از برآورد الگو، به صورت قیدی بر سیستم معادلات سهم هزینه نهاده‌ها تحمیل شده، و بنابراین پارامترهای برآورد شده دارای این شرط می‌باشند. به عبارت دیگر با محاسبه جبری پارامترهای معادله سهم هزینه حذف شده، این قید لحاظ می‌گردد و به دلیل حساس نبودن روش SUR به مدل حذف شده، قید فوق از درستی برآورد نمی‌کاهد.

---

۱. t جدول برای سطح ۵ درصد برابر با ۲/۸۲ است. درجه آزادی آن برابر است با دو برابر تعداد مشاهدات منهای دو برابر تعداد پارامترهای برآورد شده که در مدل حاضر تعداد مشاهدات ۳۷ و پارامترهای برآورد شده برابر ۱۰ می باشد. بنابراین درجه آزادی برابر با عدد ۵۴ می‌باشد.

۷-۱-۲- مقعر بودن تابع هزینه نسبت به قیمت نهاده‌ها

بررسی شرط فوق به صورت غیرمستقیم صورت گرفته است. در این روش ابتدا کشش‌های جانشینی خودی آلن-اوزاوای نهاده‌ها محاسبه می‌گردد. اگر این کشش‌ها در سطح تمام مشاهدات منفی باشند، در این صورت شرط تقعر کلی تابع هزینه نسبت به قیمت نهاده‌ها مورد تائید قرار خواهد گرفت (آندریکوپولس و لوییزیدیس، ۱۹۸۸)[1]. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که شرط تقعر کلی برقرار می‌باشد که این نتایج در جدول (۳) در قسمت پیوست مقاله نشان داده شده است. منفی بودن کشش‌های جانشینی خودی آلن دلالت بر برقراری فرضیه حداقل‌سازی هزینه نهاده‌های تولید و برقراری شروط نظم[2] دارد.

۷-۲- آزمون نرمال بودن جملات پسماند

در مدل‌های رگرسیون کلاسیک، فرض می‌شود که جملات پسماند به صورت نرمال توزیع شده‌اند. این فرض به طور کلی برای مقاصد آزمون فرضیه و پیش‌بینی بسیار مهم است. جهت بررسی «نرمال بودن» توزیع جملات پسماند از آزمون جارگ-برا[3] استفاده شده است. آزمون فوق اختلاف کشیدگی و چولگی سری مورد نظر را با مقادیر مشابه در یک سری زمانی با توزیع نرمال اندازه‌گیری می‌نماید. تحت فرض توزیع نرمال، آماره جارگ-برا دارای توزیع کای دو با درجه آزادی دو می‌باشد. فرضیه صفر در آزمون فوق «وجود توزیع نرمال» است. آماره مذکور نباید بزرگ‌تر از ۶ باشد (تامسون، ۲۰۰۰)[4]. مقادیر به دست آمده آماره جارگ-برا برای جملات پسماند معادلات سهم نفت کوره، گاز طبیعی، نیروی کار و سرمایه در جدول (۴) نشان داده شده‌اند.

---

1. Andrikopoulos, and Loizides (1998)
2. Regularity Conditions
3. Jarque-Bera Test
4. Thomson (2000)

جدول (۴): آزمون نرمال بودن جملات پسماند

نام متغیر	فرضیه صفر	مقدار آماره JB	احتمال پذیرش فرض صفر	نتیجه آزمون
پسماند سهم نفت کوره	توزیع نرمال	۱/۶۱	۰/۵۳	پذیرش
پسماند سهم گاز طبیعی	توزیع نرمال	۱/۳۵	۰/۴۸	پذیرش
پسماند سهم نیروی کار	توزیع نرمال	۰/۹۷	۰/۵۲	پذیرش
پسماند سهم سرمایه	توزیع نرمال	۱/۶۵	۰/۵۶	پذیرش

منبع: محاسبات تحقیق

۷-۳- بررسی صرفه‌جوئی‌های ناشی از مقیاس

نتایج حاصل از بررسی صرفه‌جوئی‌های ناشی از مقیاس در جدول (۵) مشخص شده است. با توجه به مندرجات این جدول می‌توان چنین نتیجه گرفت که در صنعت برق ایران طی دوره ۸۶-۱۳۵۰ صرفه‌جوئی‌های ناشی از مقیاس وجود دارد.

جدول (۵): بررسی صرفه‌جوئی‌های ناشی از مقیاس

سال	$(1-(\partial \ln VC/\partial \ln K)/(\partial \ln VC/\partial \ln Y)$
۱۳۵۰	۱/۳۱
۱۳۵۵	۱/۴۴
۱۳٦۰	۱/۴۵
۱۳٦۵	۱/۳۱
۱۳۷۰	۱/۳۰
۱۳۷۵	۱/۲۶
۱۳۸۰	۱/۲۳
۱۳۸۱	۱/۲۲
۱۳۸۲	۱/۲۲
۱۳۸۳	۱/۲۱
۱۳۸٤	۱/۱۹
۱۳۸۵	۱/۲۱
۱۳۸٦	۱/۱۹

منبع: محاسبات تحقیق

۷-۴- بررسی تغییرات فنی

۷-۴-۱- تورش تغییرات فنی

تغییرات فنی به دو دسته خنثی و غیر خنثی تقسیم می‌شوند. تغییرات فنی خنثی به حالتی اطلاق می‌شود که اگر قیمت نهاده‌ها عوض شود، در آن صورت سهم نهاده‌ها در طول زمان ثابت بماند. از طرف دیگر، اگر تغییرات فنی منجر به استفاده بیشتر از یک نهاده و استفاده کمتر از یک نهاده دیگر گردد، در این صورت تغییرات فنی از نوع غیر خنثی می‌باشد. تغییرات فنی غیر خنثی از دیدگاه هیکس باعث انتقال منحنی تولید یکسان به طور غیر هموتتیک می‌شود (بینسونگر، ۱۹۷۴)[1]. برای بررسی تغییرات فنی، ابتدا فرضیه «عدم وجود تغییرات فنی» از طریق اعمال قید $\delta_{nt} = \delta_{gast} = \delta_{lt} = \delta_{rt} = 0$ بر الگو آزمون می‌شود. اگر فرضیه فوق را نتوان رد کرد، در این صورت تغییرات فنی وجود نخواهد داشت (لوپز، ۱۹۸۰)[2]. برای دستیابی به نتیجه باید از آزمون نسبت حداکثر راستنمایی[3] استفاده کرد (کریستین و گریین، ۱۹۷۶)[4]. نتیجه آزمون حداکثر راستنمایی در خصوص فرضیه مذکور در جدول (۶) ارائه شده است.

جدول (۶): نتیجه آزمون نسبت راستنمایی از توزیع کای مربع

فرضیه صفر	تعداد مشاهدات	تعداد قیود	آماره LR	χ^2 جدول	نتیجه
$\delta_{nt} = \delta_{gast} = \delta_{lt} = \delta_{rt} = 0$	۳۷	۴	۴۲/۲۵	۱۹/۵۱	رد می‌شود

منبع: محاسبات تحقیق

نتیجه حاصل از این آزمون نشان می‌دهد که در سطح ۵ درصد، فرضیه عدم تغییرات فنی را نمی‌توان پذیرفت، لذا در دوره مورد مطالعه تغییرات فنی رخ داده است. توضیح این که متغیر روند زمانی، شاخص بالنسبه ضعیفی برای نشان دادن تغییرات فنی است، زیرا این متغیر نرخ تغییرات سالانه را ثابت فرض می‌نماید. بایستی توجه داشت که آزمون فوق صرفاً وجود یا عدم وجود

---

1. Binswanger (1974)
2. Lopez (1980)
3. Maximum Likelihood Ratio test
4. Christensen and Greene (1976)

تغییرات فنی را بیان می‌نماید و برای به دست آوردن معیار دقیق تغییرات فنی کافی نمی‌باشد. به منظور رفع مشکل و برای نشان دادن آن‌که تغییرات فنی در جهت استفاده و یا ذخیره چه نهاده‌هایی بوده، تغییرات نرخ رشد سهم نهاده‌ها در طول زمان توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود (بینسونگر، ۱۹۷۴).

$$TB_i = \frac{(\partial S_i / \partial t)}{S_i} = \frac{\delta_i}{S_i} \qquad (۳۲)$$

در رابطه فوق، TB تورش تغییرات فنی را بر حسب سهم نهاده‌ها بیان می‌کند. مقادیر محاسبه شده TB_i در جدول (۷) مشاهده می‌گردد. تغییرات تکنولوژیکی در صنعت برق به گونه‌ای بوده که فرآیند تولید به سمت مصرف کمتر از نهاده‌های سرمایه، نیروی کار و گازوئیل و مصرف بیشتر از گاز طبیعی و نفت کوره حرکت کرده است.

جدول (۷): بررسی تورش تغییرات فنی در نیروگاه‌های کشور

سال	سرمایه	نیروی کار	گاز طبیعی	نفت کوره	گازوئیل
۱۳۵۰	-۰/۰۱۸	-۰/۰۲۳	۰/۰۳۷	۰/۰۰۷	-۰/۰۰۶
۱۳۵۵	-۰/۰۱۶	-۰/۰۱۴	۰/۰۲۱	۰/۰۱۱	-۰/۰۰۷
۱۳۶۰	-۰/۰۱۱	-۰/۰۰۹	۰/۰۲۵	۰/۰۲۴	-۰/۰۱۰
۱۳۶۵	-۰/۰۱۱	-۰/۰۱۰	۰/۰۲۲	۰/۰۲۵	-۰/۰۱۱
۱۳۷۰	-۰/۰۱۶	-۰/۰۰۸	۰/۰۲۶	۰/۰۲۷	-۰/۰۱۳
۱۳۷۵	-۰/۰۴۷	-۰/۰۱۳	۰/۰۱۷	۰/۰۱۲	-۰/۰۲۰
۱۳۸۰	-۰/۰۶۸	-۰/۰۲۴	۰/۰۱۳	۰/۰۱۴	-۰/۰۳۴
۱۳۸۱	-۰/۰۷۳	-۰/۰۲۶	۰/۰۱۲	۰/۰۱۶	-۰/۰۳۶
۱۳۸۲	-۰/۰۷۵	-۰/۰۲۱	۰/۰۱۵	۰/۰۱۹	-۰/۰۳۵
۱۳۸۳	-۰/۰۸۶	-۰/۰۱۹	۰/۰۱۸	۰/۰۱۵	-۰/۰۲۸
۱۳۸۴	-۰/۰۸۸	-۰/۰۱۵	۰/۰۱۷	۰/۰۱۵	-۰/۰۲۶
۱۳۸۵	-۰/۰۹۲	-۰/۰۱۷	۰/۰۱۳	۰/۰۱۶	-۰/۰۲۱
۱۳۸۶	-۰/۰۸۷	-۰/۰۲۱	۰/۰۱۵	۰/۰۲۱	-۰/۰۲۳

منبع: محاسبات تحقیق

۷-۴-۲- روند تغییرات فنی

نتایج حاصل از برآورد معادله‌ای که روند تغییرات فنی را نشان می‌دهد، در زیر بیان شده است. همچنین جهت و شدت تغییرات فنی به دست آمده، در جدول (۸) مشاهده می‌گردد.

$$\frac{\partial LnVC}{\partial t} =$$

$$8.23 + 0.12t + 0.002\,LnP_g + 0.029\,LnP_n - 0.036\,LnP_{gas} - 0.016\,LnP_l - 0.051\,LnP_r - 0.52\,LnY - 0.41\,LnK \qquad (۳۳)$$

$$(6.32)(4.32).....(***).....(4.46).....(5.32).....(-3.65).....(-4.78).....(-1.72)....(-2.59)$$

ارقام داخل پرانتزها آماره t را نشان می‌دهند.

روند تغییرات فنی در این مطالعه بیان‌گر پیشرفت فنی و تکنولوژیکی صنعت برق ایران در دوره مورد نظر است. تفسیر این روند بدین‌گونه است که با ثابت فرض شدن سایر عوامل، روند هزینه‌های تولید در نیروگاه‌های حرارتی کشور به چه شکل است. اعداد منفی مندرج در جدول زیر بیان می‌دارند که روند هزینه‌های تولید رو به کاهش است و پیشرفت تکنولوژی تجربه می‌شود، و اعداد مثبت نشان دهنده افزایش هزینه‌های تولید در طی زمان است.

جدول (۸): بررسی نرخ تغییرات فنی در صنعت برق ایران طی دوره ۸۶-۱۳۵۰

سال	نرخ تغییرات فنی
۱۳۵۰	۰/۰۲۱
۱۳۵۵	-۰/۲۰۷
۱۳۶۰	-۰/۴۴۱
۱۳۶۵	-۰/۳۶۷
۱۳۷۰	-۰/۲۸۲
۱۳۷۵	-۰/۱۵۶
۱۳۸۰	-۰/۰۲۹
۱۳۸۱	-۰/۰۱۲
۱۳۸۲	-۰/۰۰۱
۱۳۸۳	۰/۰۰۳
۱۳۸۴	۰/۰۱۴
۱۳۸۵	۰/۰۱۱
۱۳۸۶	۰/۰۰۷

منبع: محاسبات تحقیق

همان‌طور که در جدول ۸ ملاحظه می‌شود در دو سال ابتدای دوره ۸۶-۱۳۵۰ هزینه‌های تولید تغییر قابل توجهی نداشت. اما از سال ۱۳۵۲ طی حدود سی سال، نیروگاه‌های کشور از بهبود تکنولوژی و کاهش هزینه‌های تولید برخوردار بوده‌اند. در اواخر دوره، کاهش هزینه‌های تولید متوقف گردیده و حتی روند اندکی صعودی پیدا کرده است که می‌تواند به دلیل فرسودگی برخی از نیروگاه‌ها باشد.

۷-۵- بررسی کشش‌های قیمتی و جانشینی نهاده‌ها

در این قسمت، ابتدا برای بررسی میزان کشش تقاضای نهاده‌های تولید نسبت به قیمت آن‌ها، کشش‌های قیمتی خودی و متقاطع نهاده‌ها در جدول زیر ارائه می‌شود.

جدول (۹): کشش‌های خود قیمتی و متقاطع نهاده‌ها

	گازوئیل	نفت کوره	گاز طبیعی	نیروی کار	سرمایه
گازوئیل	-۰/۳۳	-۰/۱۸	-۰/۴۳	۰/۳۵	-۰/۰۹
نفت کوره	-۰/۱۱	-۰/۵۴	۰/۱۲	۰/۰۵	۰/۲۴
گاز طبیعی	-۰/۱۸	۰/۰۸	-۰/۱۶	-۰/۰۳	۰/۱۸
نیروی کار	۰/۲۳	۰/۰۴	-۰/۰۶	-۰/۳۳	۰/۲۱
سرمایه	-۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۱۴	۰/۰۵	-۰/۵۱

منبع: محاسبات تحقیق

طبق نتایج به دست آمده، کشش‌های قیمتی خودی تمام نهاده‌ها منفی بوده و مطابق با انتظار است. مقادیر قدر مطلق کشش‌های مذکور کمتر از یک هستند. این نتیجه، به مفهوم کم کشش بودن تقاضای این نهاده‌ها نسبت به قیمت آن‌هاست. در رابطه با کشش‌های متقاطع قیمتی، اگرچه تمام این کشش‌ها از یک کوچک‌ترند، اما کشش متقاطع بین گازوئیل و گاز طبیعی (۰/۴۳-) از حیث قدر مطلق بیشتر از سایرین می‌باشد. از نتایج محاسبات انجام شده می‌توان به جانشین یا مکمل بودن نهاده‌ها پی برد به گونه‌ای که علامت منفی بر مکمل بودن و علامت مثبت بر جانشین بودن نهاده‌ها دلالت دارد. این نتایج با نتایج حاصل از محاسبه کشش‌های آلن-اوزاوا انطباق دارد. نکته دیگر این‌که، بین کشش‌های متقاطع قیمتی عدم تقارن وجود دارد. به عنوان مثال، کشش تقاضای نفت کوره نسبت به قیمت گازوئیل برابر با ۰/۱۸- است در حالی‌که کشش تقاضای گازوئیل نسبت به قیمت نفت کوره ۰/۱۱- می‌باشد. بنابراین می‌توان این چنین اظهار داشت که تأثیر افزایش قیمت

گازوئیل بر تقاضای نفت کوره، اندکی بیشتر از تأثیر افزایش قیمت نفت کوره بر گازوئیل است. بقیه ارقام جدول (۹) بدین‌گونه قابل تفسیر می‌باشند.

نتایج حاصل از محاسبه درجه جانشینی نهاده‌های تولید نیروگاه‌های حرارتی برق کشور بر اساس کشش‌های جانشینی آلن-اوزاوا در جدول ۱۰ بیان شده‌اند.

جدول (۱۰): کشش‌های جانشینی آلن- اوزاوا

شرح	گازوئیل	نفت کوره	گاز طبیعی	نیروی کار	سرمایه
گازوئیل	-۹/۰۹	-۳/۰۳	-۰/۹۸	۳/۰۴	-۰/۰۷
نفت کوره	*	-۶/۸۷	۰/۱۷	۰/۲۶	۱/۳۷
گاز طبیعی	*	*	-۲/۷۱	-۰/۵۷	۱/۱۶
نیروی کار	*	*	*	-۱۰/۵۶	۰/۳۲
سرمایه	*	*	*	*	-۳/۰۳

منبع: محاسبات تحقیق

علامت‌های مثبت و منفی ارقام جدول (۱۰) به ترتیب بیان کننده روابط جانشینی و مکملی بین نهاده‌ها می‌باشند. مطابق انتظار، ارقام σ_{ii} برای همه نهاده‌ها منفی است. محاسبات وجود رابطه جانشینی بین نهاده سرمایه و نفت کوره، سرمایه و گاز طبیعی، و سرمایه و نیروی کار را نشان می‌دهد. سایر ارقام در جدول (۱۰) به همین نحو قابل تفسیر هستند.

۸-۵- بررسی کشش‌های جانشینی موریشیما

همان‌گونه که بیان شد این کشش، درصد تغییر در نسبت یک جفت نهاده به درصد تغییر در نسبت قیمت آن‌ها را اندازه‌گیری می‌کند. نتایج حاصل از محاسبه کشش‌های مذکور در جدول زیر مشخص شده‌اند.

جدول (۱۱): کشش‌های جانشینی موریشیما

	گازوئیل	نفت کوره	گاز طبیعی	نیروی کار	سرمایه
گازوئیل	*	۰/۹۸	۰/۴۵	۰/۸۷	۰/۹۱
نفت کوره	۱/۱۱	*	۰/۹۷	۱/۱۴	۱/۱۲
گاز طبیعی	۱/۳۴	۱/۰۳	*	۱/۲۳	۰/۹۷
نیروی کار	۱/۱۳	۱/۵۶	۰/۷۴	*	۰/۸۴
سرمایه	۱/۰۱	۱/۰۳	۱/۲۱	۰/۵۲	*

منبع: محاسبات تحقیق

کشش نسبت نهاده گازوئیل به نفت کوره در اثر تغییر نسبت قیمت گازوئیل به نفت کوره ۰/۹۸ است، و نشان می‌دهد که در بخش صنعت تولید برق، کشش جانشینی موریشیما برای دو نهاده سوخت گازوئیل و نفت کوره حدود یک است. یعنی یک درصد تغییر در نسبت قیمت گازوئیل به نفت کوره در صورت ثابت بودن سایر عوامل، باعث تغییر در نسبت گازوئیل به نفت کوره به اندازه ۰/۹۸ می‌شود. مطابق جدول (۱۱)، کشش جانشینی موریشیما بین دو نهاده گاز طبیعی و نیروی کار برابر ۱/۲۳ است. یعنی یک درصد تغییر در نسبت قیمت گاز طبیعی به نیروی کار بیش از یک درصد (۱/۲۳ درصد) نسبت گاز طبیعی به نیروی کار را تغییر می‌دهد. سایر ارقام جدول (۱۱) به همین ترتیب قابل تفسیر است.

۸- نتیجه‌گیری

در بررسی شرایط خوش رفتاری تابع هزینه ترانسلوگ، این شرایط مورد تائید قرار گرفتند. به طوری که اولاً سهم هزینه برآورد شده نهاده‌ها، غیر منفی می‌باشد. و ثانیاً با استفاده از مقادیر محاسبه شده کشش خودی آلن، مقعر بودن تابع هزینه مورد تائید قرار گرفت. ثالثاً شرط تقارن تابع هزینه ترانسلوگ مورد تائید و شرط همگنی هم قبل از برآورد مدل بر آن تحمیل شد.

مطابق برآوردهای مطالعه، در صنعت تولید برق ایران صرفه‌جوئی‌های ناشی از مقیاس وجود دارد.

نتیجه حاصل از آزمون حداکثر راستنمایی، تورش تغییرات فنی را برای صنعت تولید برق ایران مورد تائید قرار داد. تورش تغییرات تکنولوژیکی در صنعت تولید برق به گونه ای بوده که فرآیند تولید به سمت مصرف کمتر از نهاده‌های سرمایه، نیروی کار و گازوئیل و مصرف بیشتر از گاز طبیعی و نفت کوره حرکت کرده است.

شاخص تغییرات فنی نشان می‌دهد که در ابتدای دوره مورد نظر، هزینه‌های تولید روند صعودی داشت اما طی حدود سی سال متوالی در این دوره، روند بهبود پیدا کرده است. در اواخر دوره مجدداً هزینه‌های تولید روند صعودی به خود گرفت که می‌تواند بدین علت باشد که هزینه‌های تولید به دلیل تکنولوژی فرسوده تولید در بعضی نیروگاه‌ها و تقاضای بالای برق روند صعودی به خود گرفته است.

نتایج حاصل از محاسبه کشش‌های متقاطع و جانشینی موریشیما نشان می‌دهد که رابطه جانشینی بین نفت کوره و گاز طبیعی، نفت کوره و سرمایه،گاز طبیعی و سرمایه و بین سرمایه و نیروی کار وجود دارد. در حالی‌که رابطه مکملی بین نفت کوره و گازوئیل، و گازوئیل و گاز طبیعی برقرار است. به عنوان مثال، چنان‌چه نهاده‌های سوخت نفت کوره و گاز طبیعی در نظر گرفته شود، کشش‌های جانشینی موریشیما برای این دو نهاده تقریباً یک می‌باشد (در حالی‌که کشش‌های متقاطع بین این دو ارقام کوچکی هستند). چنان‌چه دو نهاده سرمایه و گاز طبیعی را در نظر بگیریم، کشش جانشینی موریشیمای نسبت سرمایه به گاز طبیعی در اثر تغییر نسبت قیمت سرمایه به گاز طبیعی ۱/۲۱ است. اصولاً وجود و درجه جانشینی بین نهاده‌های انرژی بستگی به نوع و طرح نیروگاه‌ها و تسهیلاتی دارد که برای مصرف سوخت‌های به خصوصی نصب گردیده‌اند. از سوی دیگر، وجود و درجه جانشینی بین سرمایه و سوخت‌ها بستگی به نوع نیروگاه، تکنولوژی و ویژگی‌های مهندسی و اندازه نیروگاه دارد.

نتایج این مطالعه حداقل از دو لحاظ برای سیاستگذاران و برنامه‌ریزان در رده‌های مختلف تصمیم‌گیری حائز اهمیت فراوان است. اول آن‌که، بر اساس یافته‌های تحقیق، صنعت تولید برق ایران از صرفه‌جوئی‌های مقیاس قابل توجهی برخوردار می‌باشد. این نتیجه با مطالعات در مورد سایر کشورها مطابقت و سازگاری دارد. برنامه‌ریزان و شرکت‌های تولید برق در کشورهای پیشرفته و بعضی کشورهای در حال توسعه طی دو الی سه دهه اخیر تلاش کرده‌اند تا با ساختن نیروگاه‌های مدرن با کارآیی و همچنین مقیاس بالا و با تجمع واحدهای حرارتی در مناسب‌ترین مکان‌ها حداکثر بهره را از صرفه‌جوئی‌های مقیاس ببرند. این تجربه برای سیاستگذاران صنعت تولید برق ایران می‌تواند مفید و آموزنده باشد. دوم، بر پایه نتایج حاضر، بهبودهای تکنیکی در سال‌های پایانی دوره مطالعه بسیار آهسته و تقریباً متوقف گردیده است. بنابراین، لازم است سیاستگذاران توجه ویژه‌ای به بهبود فنی در نیروگاه‌های حرارتی و ادامه بدون وقفه آن طی زمان در آینده داشته باشند.

منابع و مآخذ

الف) منابع و مآخذ فارسی

۱. خداداد کاشی، فرهاد (۱۳۸۶). "صرفه‌های مقیاس در اقتصاد ایران: مورد بخش صنعت". طرح‌های پژوهشی سازمان مرکزی پیام نور.

۲. ریحانی نیا، وحید (۱۳۷۷). *بررسی جانشینی عوامل تولید در تولید برق و اثر آن بر صرفه جویی انرژی*، پایان نامه کارشناسی ارشد اقتصاد، دانشگاه تهران.

۳. عماد زاده، مصطفی. آذربایجانی، کریم. و زمانیان، غلامرضا (۱۳۸۰). "صرفه‌های ناشی از مقیاس: تحلیلی از وضعیت شرکت ذوب آهن اصفهان". مجله تحقیقات اقتصادی (۵۹): ۹۵-۱۱۶.

۴. لیسبی، ریچارد چی. و کالین هاربی (۱۳۷۸). *اصول علم اقتصاد ۱، اقتصاد خرد*. منوچهر فکری ارشاد؛ ص ۲۷۶.

۵. محمودی عالمی، شجاع (۱۳۸۴). *برآورد معادلات تقاضای نهاده برق در اقتصاد ایران با استفاده از تابع هزینه ترانسلوگ*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم اقتصادی و سیاسی، دانشگاه شهید بهشتی ص ۲۱.

۶. نفر، نصرت الله (۱۳۸۵). "ظرفیت بهینه تولید در صنعت خودرو سازی ایران". مجموعه مقالات همایش صنعت خودرو ایران و اقتصاد جهانی.

ب) منابع و مآخذ لاتین

1. Allen, R.G.D. (1938). *Mathematical Analysis for Economists*, London, Macmillan.
2. Al-Mutairi, N. N., and Burney. (2002). "Factor Substitution and Economies of Scale and Utilization in Kuwait's Crude Oil Industry". Energy Economics **24**: 337-354
3. Andrikopoulos, A. A. and J, Loizides. (1998). "Cost Structure and Productivity Growth in European Railway System". Applied Economics **30**: 1625-2639.
4. Atkinson, S. E. and R. Halverson. (1976). "Inter fuel Substitution in Steam Electric Power Generation". Journal of Political Economy. **84**(5): 959-978.
5. Binswanger, H. P. (1974). "A Cost Function Approach to the Measurement of Elasticities of Factor Demand and Elasticities of Substitution". American Journal of Agricultural Economics (56): 377-386.

6. Blackorby, C. R. and Russell. (1989). "Will the Real Elasticity of Substitution Please Stand Up? A Comparison of the Allen/Uzawa and Morishima Elasticities". American Economic Review (79)**4**: 882-888.
7. Christensen, L, R, and W. H, Greene. (1976). "Economic of scale in U.S. Electric Power Generation". Journal of Political Economy **84**(4): 657-676.
8. Christensen, L.R: Jorgenson, D.W and L.T. Lau. (1971). "Conjugate Duality and the Transcendental Logarithmic Production Function". Econometrica **39**: 225-256.
9. Diewert, W. E., and T. J, Wales. (1987). "Flexible Functional Forms and Global Curvature Condition". Econometrica **55**(1): 43-59.
10. Erkila, J. (1990). "Economic information about ironmaking". Applied Economic **27**: 1335-1353.
11. Lopez, R. E. (1980). "The Structure of Production and the Derived Demand for Inputs in Canadian Agriculture". American Agricultural Economics **68**: 38-46
12. Nerlove, M. (1963). "Return to Scale in Electricity Supply" in *Measurement in Economics: Studies in Mathematical Economics and Econometrics in Memory of Yehuda Grunfeld.* Edited by Carl F. Christ. Stanford University Press.
13. Okunade, A. (1993). "Production cost structure of U.S. Hospital pharmacies". Journal of Applied Econometrics Vol. 8: 277-294.
14. Shephard, R. W. (1953). *Cost and Production Function*, Princeton University Press.
15. Thomson, T. (2000). "Short Cuts to Dynamic Factor Demand Modelling". Journal of Econometrics Vol. 97: 1-23.
16. Uzawa, H. (1963). "Production Function with Constant Elasticities of Substitution". Review of Economics and Statistics **44**(4): 291-99.
17. Zellner, A. (1962). "An Efficient Method for Estimating Seemingly Unrelated Regression and Test for Aggregation Bias". J. American Statistical Association 57: 585-612.

پیوست

جدول (۳): بررسی شرط تقعر جهانی از طریق کشش جانشینی آلن اوزاوا

سال	سرمایه	نیروی کار	گاز طبیعی	نفت کوره	گازوئیل
۱۳۵۰	-۲/۲۶	-۱۸/۳۹	-۵/۸۹	-۲/۰۴	-۴/۱۱
۱۳۵۵	-۱/۹۲	-۱۰/۴۳	-۲/۸۵	-۳/۸۰	-۵/۴۸
۱۳۶۰	-۰/۹۶	-۶/۵۸	-۳/۵۹	-۹/۶۴	-۸/۰۶
۱۳۶۵	-۱/۰۱	-۶/۵۸	-۲/۹۷	-۹/۸۶	-۸/۹۵
۱۳۷۰	-۱/۸۴	-۵/۲۷	-۱/۴۴	-۱۰/۹۷	-۱۰/۷۷
۱۳۷۵	-۶/۲۶	-۹/۷۸	-۰/۵۵	-۴/۲۸	-۱۷/۱۴
۱۳۸۰	-۱۷/۳۰	-۱۸/۵۵	-۰/۲۰	-۵/۰۴	-۲۹/۳۷
۱۳۸۱	-۱۹/۳۶	-۱۹/۲۱	-۰/۱۹	-۶/۶۱	-۳۲/۱۱
۱۳۸۲	-۲۲/۵۲	-۱۹/۷۸	-۰/۱۷	-۵/۸۴	-۳۱/۴۳
۱۳۸۳	-۲۳/۰۱	-۲۰/۱۲	-۰/۱۵	-۴/۴۱	-۲۸/۰۲
۱۳۸٤	-۲۵/۱۴	-۲۱/۶۵	-۰/۱۵	-۳/۶۹	-۲۴/۹۶
۱۳۸۵	-۳۱/۷۱	-۲۳/۰۱	-۰/۱۴	-۲/۸۴	-۳۰/۳۲
۱۳۸٦	-۳۲/۱۶	-۲۳/۳۴	-۰/۱۲	-۲/۲۵	-۳۴/۴۱

منبع: محاسبات تحقیق