فصلنامهٔ اقتصاد و الگوسازی
دانشگاه شهید بهشتی، پاییز ۱۳۹۵

Quarterly Journal of Economics and Modelling
Shahid Beheshti University

برآورد و مقایسه کارایی انرژی در بخش‌های اقتصادی ایران

سید محمدعلی کفایی*

پریا نژاد آقائیان وش**

تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۴/۲۱ تاریخ پذیرش ۱۳۹۵/۱۰/۴

چکیده

انرژی یکی از اصلی‌ترین نهاده‌ها در فرآیند تولید محسوب می‌شود و کمیابی این نهاده ارزشمند بر اهمیت توجه به کارایی مصرف آن افزوده است، ضمن این که کارایی بالاتر انرژی به نرخ‌های بالاتر رشد اقتصادی می‌انجامد. هدف این پژوهش برآورد کارایی انرژی در بخش‌های چهارگانه اقتصاد ایران (کشاورزی، صنایع، حمل و نقل و خدمات) به تفکیک و به منظور افزایش دقت محاسبه و صحت نتیجه‌گیری است. کارایی مصرف انرژی در این بخش‌ها با استفاده از روش تابع تولید مرزی تصادفی ترانسلوگ و داده‌های دوره ۹۱-۱۳۷۳ و مبتنی بر مبانی نظری و شواهد تجربی برآورد می شود. یافته‌ها حاکی از آن است که نه تنها کارایی انرژی هر بخش در طول دوره مورد بررسی کاهش یافته، بلکه میانگین کارایی انرژی کل بخش‌ها نیز روندی نزولی داشته است، هم‌چنین کارایی فنی در همه بخش‌های اقتصادی برخلاف روند تحول کارایی انرژی، همواره در حال صعود البته با آهنگی کند بوده است. کمترین کارایی انرژی مربوط به بخش خدمات است.

کلید واژه‌ها: بخش‌های اقتصادی، برآورد تابع مرزی تصادفی، داده‌های تابلویی، کارایی انرژی.
طبقه‌بندی JEL: C13، C23، L52، Q43.

---

* استادیار گروه اقتصاد دانشکده علوم اقتصادی و سیاسی دانشگاه شهید بهشتی، m-kafaie@sbu.ac.ir

** کارشناس ارشد اقتصاد انرژی دانشکده علوم اقتصادی و سیاسی دانشگاه شهید بهشتی،
vash.nejad2010@gmail.com

۱- مقدمه

بسیاری از کشورهای جهان به بهبود کارایی (به معنی استفاده بهینه و مؤثر از منابع در دسترس)، به عنوان یکی از عوامل مهم تأمین رشد اقتصادی، توجه بیشتری نشان داده و به همین سبب به مطالعات و سرمایه‌گذاری‌های روزافزونی در راستای افزایش کارایی مبادرت کرده اند[۱]. یکی از مهم‌ترین عوامل تولید، انرژی است و کشور ما ایران، از لحاظ دارا بودن ذخایر نفتی اثبات شده در جایگاه چهارم جهان قرار دارد (بریتیش پترولیوم، ۲۰۱۵) ولی این موضوع نباید ما را از توجه به بهبود کارایی انرژی باز دارد بلکه بر عکس توجه بیشتر محققان و صاحب نظران را طلب می‌کند تا با مدیریت صحیح، از این منابع خدادادی هر چه بیشتر و بهتر بهره‌مند شویم. با دقت در برنامه‌های توسعه کشور، متوجه می‌شویم که افزایش بهره‌وری (و در نتیجه کارایی) همواره مورد توجه دولت‌مردان و یکی از منابع تأمین رشد اقتصادی کشور ذکر شده است (قانون برنامه پنجساله پنجم توسعه جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۸۹). از این رو توجه به معیار کارایی انرژی می‌تواند راهنمای ما در استفاده صحیح و مؤثر از منابع انرژی، به ویژه با توجه به پایان‌پذیری و آثار زیان‌بار زیست محیطی استفاده از انرژی فسیلی، باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که علیرغم افزایش تولید انرژی در دهه‌های اخیر، در کشورمان شدت افزایش مصرف به حدی بوده که سهم صادرات از تولید را به میزان چشمگیری کاهش داده است، فراتر اینکه در مقابل کاهش سالانه ۶/۹ درصدی صادرات انرژی کشور، واردات آن سالانه ۹/۴ درصد افزایش را نشان می‌دهد و این افزایش چشمگیر در مصرف انرژی (به عنوان نهاده)، ضرورت تداوم و شتاب در اقدامات بهینه سازی را بیش از پیش ضروری می سازد (ترازنامه انرژی ۱۳۹۱). ادامه این روند سبب افزایش وابستگی کشور به واردات انرژی می‌گردد. به همین جهت توجه به کارایی انرژی و ارائه راهکارهایی برای ارتقای آن، امری مهم محسوب می‌شود. این پژوهش با هدف برآورد کارایی انرژی بخش‌های اقتصادی ایران به روش

---

[۱]. برای مثال به Adetutu (2014) و Andrews-Speed (2009) مراجعه شود.

تحلیل مرزی تصادفی (روشی پارامتری و اقتصاد سنجی) طی سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۷۳ صورت گرفته است. ساختار مقاله حاضر بدین شکل است: ابتدا در بخش ۲ مبانی نظری و روش اندازه‌گیری کارایی بررسی می‌شود، سپس در بخش ۳ مطالعات خارجی و داخلی مرور خواهد شد. در بخش ۴ کارایی انرژی هر بخش به طور مجزا برآورد و تحلیل می‌شود. بخش ۵ شامل جمع بندی، نتیجه گیری و پیشنهادها است.

۲- مبانی نظری

۲-۱- مفهوم کارایی و شاخص‌های آن

چارچوب نظری اندازه‌گیری کارایی در سال ۱۹۷۵ توسط فارل[۱] بیان شد ولی امکان عملی اندازه‌گیری آن در سال‌های ۱۹۷۷ (روش اقتصادسنجی تحلیل مرزی تصادفی[۲]) و ۱۹۷۸ (روش برنامه‌ریزی خطی تحلیل پوششی داده ها[۳]) با تلاش اقتصاددانان و متخصصان پژوهش در عملیات امکان‌پذیر گردید. برای تعریف کارایی ابتدا باید به تعریف تابع مرزی[۴] پرداخت. یک فرآیند ساده تولید با یک عامل تولید (X) و یک محصول تولیدی (Y) را در نظر بگیرید. تابع مرزی حداکثر تولید قابل حصول از یک مقدار معین از این عامل تولید را با توجه به سطح تکنولوژی موجود نشان می‌دهد (منحنی OF در نمودار ۱). بنگاه‌هایی که بر روی این تابع تولید مرزی قرار دارند، کارا محسوب می‌شوند، در واقع این بنگاه‌ها با استفاده از نهاده موجود، بیشترین محصول را تولید می‌کنند ولی بنگاه‌هایی که در زیر این تابع قرار دارند، با ناکارایی مواجه هستند. در نمودار ۱ نقاط B و C نشان دهنده نقاط کارا و نقطه A مبین نقطه‌ای ناکاراست. ناکارایی بنگاه در نقطه A بدین سبب است که بنگاه با تکنولوژی موجود، می‌تواند تولید خود را بدون نیاز به نهاده

---

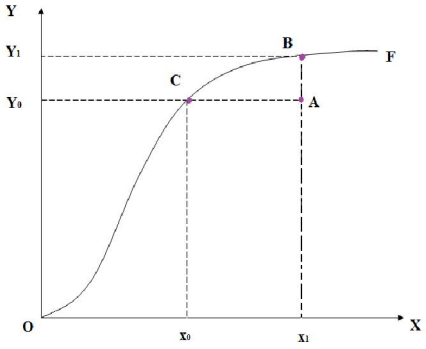
۱. Farrell

۲. Stochastic Frontier Analysis(SFA)

۳. Data Evelopment Analysis(DEA)

۴. Frontier

بیشـــتر، تا ســـطح B افزایش دهد و یا ســـطح موجود تولید خود را با عامل تولید کمتری حفظ کند (نقطه C).



نمودار ۱- تابع تولید مرزی

اقتصاددانان کارایی را بر مبنای ناکارایی در تولید و با توسل به یک شاخص مقایسه‌ای اندازه‌گیری می‌کنند. معرفی انواع کارایی و روش های عملی اندازه‌گیری آن، مبتنی بر روش فارل است. فارل پیشنهاد نمود مناسب‌تر آن است که عملکرد یک بنگاه با عملکرد بهترین بنگاه موجود در آن صنعت مورد مقایسه قرار گیرد. در واقع شاخص کارایی هر بنگاه به صورت نسبی (نسبت به بهترین بنگاه) تعریف و محاسبه می‌شود. فارل نظریاتش را در اندازه‌گیری کارایی بر مبنای کارهای انجام شـــده توســـط دبرو[۱] و کوپمنز[۲] (۱۹۵۱) آغاز نمود. وی با توجه به نارســـایی شـــاخص‌های بهره‌وری جزئی از قبیل بهره‌وری نیروی‌کار، سرمایه و انرژی، بر اندازه‌گیری شاخص بهره‌وری کل عوامل تولید تأکید کرد. او با مثالی ساده از بنگاه‌هایی که تنها از دو عامل تولید X_1 وX_2 برای تولید یک محصول Y استفاده می‌کنند، نظریه خود را مطرح ساخت. منحنی هم مقداری تولید بنگاه‌هایی با کارایی مطلق یا کامل با فرض بازده ثابت نسبت به مقیاس تولید، به و سیله منحنی AA

۱. Debreu
۲. Koopmans

در نمودار (۲) نشان داده شده است. این منحنی ترکیبات مختلفی از نهاده‌ها برای تولید سطحی مشخص از محصول (در اینجا یک واحد محصول) را نشان می‌دهد. یک تولیدکننده به لحاظ فنی کاملا کاراست اگر تولید او بر روی مجموعه هم مقداری تولید (AA) انجام شود. این امر توانایی بنگاه را برای به دست آوردن حداکثر محصول از مجموعه عوامل تولید مشخص بیان می‌کند. اگر تولید بنگاه در سمت راست منحنی AA انجام پذیرد، این بنگاه با ناکارایی مواجه است. این ناکارایی تمام مواردی را در بر می‌گیرد که باعث می‌شود عملکرد واقعی بنگاه در سطحی کمتر از مقدار قابل حصول (با توجه به عوامل تولید مشخص) باشد. بر این اساس ناکارایی مدیریتی نیز یکی از اجزای ناکارایی فارل است. هم‌چنین ناکارایی با آنچه که بعضی از اقتصاددانان اتلاف منابع می‌نامند، مطابقت دارد. اتلاف منابع ضمن هدر دادن این نهاده مهم و ارزشمند، هزینه تولید را بی‌دلیل افزایش می‌دهد. اگر نقطه P نمایانگر فعالیت یک بنگاه باشد، RP ناکارایی فنی بنگاه را نشان می‌دهد و شاخص کارایی فنی این بنگاه (TE) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$TE = OR/OP \qquad (۱)$$

در یک بنگاه به طور کامل کارا OP = OR و کارایی فنی مساوی یک خواهد بود. هرچه فاصله بین OP و OR افزایش یابد، شاخص کارایی فنی به سمت صفر میل می‌نماید. بنابراین، به طور بالقوه امکان بهبود و افزایش کارایی بنگاهی با کارایی کمتر از یک، وجود دارد. فارل با در نظر گرفتن قیمت عوامل تولید، تعریف کارایی تخصیصی را نیز ارائه نمود. در نمودار ۲ نسبت قیمت عوامل تولید به وسیله شیب خط هزینه یکسان (BB) نشان داده شده است. کارایی تخصیصی (کارایی قیمتی)(AE) بنگاهی که در P تولید می‌کند به صورت زیر تعریف می‌شود:

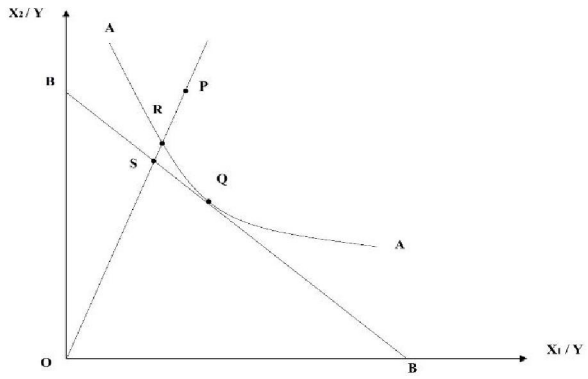
$$AE = OS/OR \qquad (۲)$$

فارل کارایی اقتصادی را به صورت ضرب کارایی فنی در کارایی تخصیصی تعریف

می‌کند:

$$EE = OS/OR \times OR/OP \qquad (۳)$$

به طور کلی کارایی فنی نشـــان دهنده میزان توانایی یک بنگاه برای حداکثرســـازی تولید با توجه به عوامل تولید مشـخص و کارایی تخصـیصـی نشـان دهنده توانایی بنگاه برای اســـتفاده از ترکیب بهینه عوامل تولید با توجه به قیمت آن‌ها اســـت. امتیاز عمده روش اندازه‌گیری کارایی فارل، تعریف یک شـاخص مسـتقل از واحد اندازه‌گیری اسـت، یعنی تغییر در واحدهای اندازه‌گیری، میزان شـــاخص کارایی را تغییر نمی‌دهد. در پژوهش‌های تجربی، کارایی فنی بیش از کارایی تخصیصی مورد ارزیابی قرار گرفته است. زیرا در محاسبه کارایی فنی به اطلاعات قیمتی عوامل تولید و محصول نیاز نیست.



نمودار۲-توصیف انواع کارایی به روش فارل،

منبع: فارل[۱]، ۱۹۷۵

۲-۲- اندازه‌گیری کارایی از طریق تابع مرزی تصادفی

روش تحلیل مرزی تصادفی روشی برای به دست آوردن منحنی هم مقداری تولید و یا تابع مرزی مورد نیاز در اندازه‌گیری کارایی است. روش تحلیل مرزی تصادفی از الگوهای

۱. Farrell

اقتصادسنجی استفاده می‌نماید و روشی پارامتری است. از آنجایی که تابع مرزی هیچ‌گاه در عمل قابل دسترس نیست، فارل (۱۹۵۷) پیشنهاد نمود تابع مرزی به وسیله اطلاعات نمونه‌ای (بنگاه‌ها) تخمین زده شـــود. یادآوری می‌شـــود که تابع تولید مرزی، به عنوان مکان هندسی حداکثر محصول قابل تولید از یک مجموعه عوامل تولید تعریف می شود، بدین معنی به عنوان تابع مرزی یا حدی مطرح می‌گردد. از طرف دیگر در اقتصـاد خرد، نظریه رفتار تولیدکننده مبتنی بر این فرض است که کلیه تولیدکنندگان به طور بهینه و کارا عمل می‌نمایند. لیکن در ســـال‌های اخیر مســـأله ناکارایی برخی بنگاه‌های تولیدی مورد توجه قرار گرفته و لذا نظریه تولیدکننده در حالت ناکارایی بنگاه ها مطرح و چگونگی اندازه‌گیری میزان ناکارایی تولید کالاها و خدمات بیان شـــده اســـت. در روش تحلیل مرزی تصادفی، از مفهوم مرز برای تعریف کارایی فنی مشخص هر بنگاه استفاده می‌کنند. مزیت این روش در ســـازگاری با تئوری تولید و آزمون‌پذیری فرضـــیه‌های گوناگون چون شکل تابع تولید (کاب‌داگلاس، ترانسلوگ و...) و شکل تابع توزیع ناکارایی (نیم‌نرمال و نیم‌نرمال تعمیم یافته) است. در روش تحلیل مرزی تصادفی، ابتدا تابع تولید با استفاده از روش حداکثر در ستنمایی برآورد می شود. سپس، انحراف تابع به دو جزء ناکارایی و اختلال تفکیک شده و کارایی تولید اندازه‌گیری می شود و همین مزیت روش مرزی تصـادفی اسـت. برتری دیگر الگوهای مرزی تصـادفی نسـبت به الگوهای متداول اقتصاد سنجی آن است که در برازش تابع، نقاط متوسط را در نظر نمی‌گیرد بلکه نقاط مرزی[۱] را لحاظ می‌کنند. ساختار الگوی تابع تولید مرزی تصادفی به صورت زیر است:

$$Y = f(X) + V - U \qquad (۴)$$

$$U \sim |N(0, \sigma_U)| \quad \text{و} \quad V \sim N(0, \sigma_V) \qquad (۵)$$

که Y بردار تولید، X ماتریس نهاده‌های تولید، V همان جزء تصادفی (جمله اختلال) معمول در اقتصـادسـنجی دارای توزیع نرمال با میانگین صـفر و U معرف ناکارایی و به

۱. Frontier

طور معمول دارای توزیع نیم‌نرمال ا ست. تابع f(X) را معمولا به شکل تابع کاب‌داگلاس و یا از نوع تابع تراز سلوگ در نظر می‌گیرند. تفا ضل(V – U) نامتقارن و غیرنرمال ا ست که درجه نامتقارنی آن به مقدار $\lambda = \sigma_U/\sigma_V$ بستگی دارد. در صورتی که $\lambda = 0$ باشد، تابع فوق (۴) به رگرسیون متداول با توزیع نرمال جمله اخلال تبدیل می‌شود. بدین ترتیب انحراف نقاط مشاهده شده از تابع تولید مرزی به دو عامل U و V با ماهیت متفاوت بستگی دارد و ماهیت متفاوت این دو جمله اختلال تصادفی، تفکیک آن‌ها را از نظر اقتصادی منطقی می‌نماید. تابع تولید فوق در سال ۱۹۷۷ توسط دو گروه اقتصاددانان، هم‌زمان و در دو قاره جهان به ادبیات اقتصادی اضافه گردید (ALS وMV)[۱].

۳- مروری بر مطالعات انجام شده

در مطالعات داخلی بیشتر به بهره‌وری انرژی و شدت انرژی توجه شده و موضوع کارایی انرژی کمتر مورد برر سی قرار گرفته ا ست ولی سابقه مطالعه و برآورد کارایی انرژی در سایر کشورها طولانی و شواهد تجربی آن بیشتر مورد آزمون قرار گرفته‌است.

۳-۱- مطالعات خارجی

فارل (۱۹۵۷) روش اندازه‌گیری کارایی بر اساس تئوری‌های اقتصادی را معرفی و برای بخش کشاورزی آمریکا محاسبه کرد. چون روش فارل دارای محدودیت بازدهی ثابت نسبت به مقیاس در تابع تولید بود، کاربرد عملی چندانی پیدا نکرد. آیگنر و چاو[۲] در سال ۱۹۶۸ تابع تولید مرزی پارامتری به شکل کاب‌داگلاس را با استفاده از داده‌های نمونه‌ای n بنگاه تخمین زدند. این الگو که بعدها به الگوی مرزی معین معروف شد، دارای این محدود یت بود که تأثیر خطا را در نظر نمی‌گر فت و همه انحراف از مرز را

۱. Aigner, Lovell and Schmidt (ALS), Meeusen and Van (MV)

۲. Aigner and Chu

نتیجه ناکارایی فنی می‌داند. تیمر[۱] (۱۹۷۱) تلاش نمود مشکل الگوی مرزی معین را رفع نماید و بنابراین در صدی از مشاهدات را که به مرز تخمین زده شده بسیار نزدیک بود کنار گذاشت و تابع مرزی را دوباره با استفاده از داده‌های تقلیل یافته تخمین زد. این الگو در سال ۱۹۷۷، توسط دو گروه از اقتصاددانان، به عنوان تابع مرزی تصادفی ارائه شد. اما چون این روش نیز، متوسط کارایی تمام بنگاه‌ها را محاسبه می‌کرد، چندان مورد استقبال قرار نگرفت. بالاخره اندازه‌گیری کارایی با توجه به تعریف فارل، به روش اقتصاد سنجی تابع مرزی تصادفی در سال ۱۹۷۸ و به روش برنامه ریزی خطی تحلیل پوششی داده‌ها در سال ۱۹۷۹ امکان‌پذیر شد. پیت و لی[۲] (۱۹۸۱) در بررسی عوامل ناکارایی در صنایع بافندگی اندونزی به برآورد یک تابع مرزی تصادفی به روش حداکثر درستنمایی پرداخته و علاوه بر محاسبه مقدار ناکارایی بنگاه‌ها تأثیر عوامل مختلف بر کارایی فنی را مشخص نمودند. موخرجی[۳] (۲۰۰۸) کارایی مصرف انرژی در بخش‌های تولیدی در هند را با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها و تابع تولید بنگاه، مورد مطالعه قرار داده و با استفاده از الگوهای مختلف به مقایسه کارایی انرژی در بخش‌های مختلف تولیدی استان‌ها، پرداخته است. وی نتیجه می‌گیرد که تعدیل سریع سهم نهاده‌ها در زمان وقوع شوک انرژی دشوار است ولی در طول زمان به تغییر قیمت انرژی واکنش نشان داده می‌شود. هم‌چنین بیان می‌کند که بهبود فناوری عاملی مؤثر بر کارایی انرژی محسوب می‌شود. استرن[۴] (۲۰۱۲)، ابتدا کارایی انرژی در ۸۵ کشور بین سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۷۱ به روش تابع مسافت انرژی[۵] و سپس ضریب‌های متغیرهای توضیحی در تابع کارایی انرژی به روش داده‌های تابلویی و برآوردکننده‌های میان گروهی و درون

۱. Timmer
۲. Pitt and Lee
۳. Mukherjee
۴. Stern
۵. Energy Distance Function Approach

گروهی برآورد کرده اســـت. رابطه مثبتی بین درجه باز بودن تجاری و شـــدت انرژی ملاحظه می‌نماید. ولی این نتیجه را نشـــان دهنده اثر بیشـــتر فعالیت‌های تجاری در صنایع انرژی‌بر بیان می‌کند. زو و همکاران[۱] (۲۰۱۳) کارایی انرژی را با ا ستفاده از روش تحلیل پوشـــی داده‌ها و تابع مرزی تصـادفی، در ۳۰ منطقه اداری چین، در سـال‌های ۱۹۹۸-۲۰۰۹ برر سی و نشان دادند که با وجود تفاوت این دو روش، نتایج تقریبا مشابه بوده‌اند. هم‌چنین کارایی انرژی در شـــرق چین بیشـــتر از غرب چین اســـت. آدتوتو[۲] (۲۰۱۴)، دستیابی به کارایی انرژی و جانشینی سرمایه و انرژی را در دوره ۲۰۱۰-۱۹۷۲ در کشورهای صادرکننده نفت اوپک (شامل ایران، عربستان، ونزوئلا و الجزایر) با استفاده از تابع هزینه ترانسلوگ برر سی و نتیجه می‌گیرد که کارایی انرژی در دوره مورد برر سی نزولی بوده و انرژی و ســـرمایه مکمل هم هســـتند. وی این کارایی منفی را ناشـــی از پرداخت یارانه و قیمت‌های نسـبی پایین انرژی که انگیزه برای بهره‌مندی از فناوری‌های انرژی‌اندوز را از بین می‌برد، می‌داند. مو و جین[۳] (۲۰۱۴)، کارایی انرژی منطقه‌ای در چین را با استفاده از تجزیه و تحلیل تابع مرزی تصادفی با داده‌های تابلویی از ۲۹ استان طی سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۰ برآورد کرد و نتیجه گرفتند که رشد اقتصادی در هر منطقه رو به افزایش است و قیمت بالای انرژی مانع رشد اقتصادی محسوب می‌شود. هم‌چنین کارایی انرژی در استان‌های چین در سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۰ افزایش ولی در سال ۲۰۰۹ به دلیل بحران مالی جهان، کاهش یافته اســت و آینده کارایی انرژی به بهبود عواملی به غیر از انرژی منطقه‌ای بستگی دارد. فیلیپینی و اورآ[۴] (۲۰۱۴)، با استفاده از روش تحلیل مرزی تصادفی به برآورد کارایی برق و شبکه‌های توزیع گاز و نیز تقاضای انرژی پرداخته

---

۱. Zou et al

۲. Adetutu

۳. Miao and Jin

۴. Filippini and Orea

و اثرات مرتبط با بهبود کارایی انرژی را مورد برر سی قرار دادند. برادا ستاک و همکاران[۱] (۲۰۱۵) به برر سی کارایی مصرف برق خانوارهای چین با استفاده از تابع تقاضای مرزی پرداخته و با بررسی بیش از ۷۰۰۰ خانوار به این نتیجه رسیدند که میانگین کارایی مصرف برق اندکی بیشتر از ۶۰ درصد است. پس ظرفیت بالایی برای کاهش مصرف انرژی از طریق گسترش برنامه‌ریزی برای ارتقای کارایی انرژی وجود دارد.

۳-۲- مطالعات داخلی

همان‌طوری که در قبل بیان شد، مطالعات انجام شده در ایران بر برر سی موضوع شدت انرژی متمرکز بوده و به کارایی مصرف انرژی کمتر توجه شده است، در حالی‌که این مقاله به برر سی کارایی مصرف انرژی در بخش‌های اقتصادی می‌پردازد. لیکن با توجه به رابطه شدت انرژی با کارایی انرژی، برخی مطالعات تجربی در زمینه شدت انرژی و بهره‌وری انرژی نیز در زیر ارائه می‌شود:

عباسی نژاد و وافی نجار (۱۳۸۳)، با استفاده از روش حداقل مربعات دو مرحله‌ای[۲] نشان دادند که طی سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۵۰ روند کلی شاخص شدت مصرف انرژی در سه بخش (صنعت، کشاورزی و حمل ونقل) صعودی و لذا کارایی انرژی کاهش یافته است. هم‌چنین کشش تولید نقطه‌ای انرژی بخشی (درصد تغییر در رشد سالانه مصرف انرژی بخشی به ازای یک درصد تغییر در ارزش افزوده بخش) برای اکثر سال‌ها، بزرگتر از یک که حاکی از نزولی بودن بهره‌وری انرژی در بخش‌های مختلف انرژی در سه دهه مورد بررسی است. حیدری و صادقی (۱۳۸۳)، به تخمین کارایی انرژی در بخش صنعت ایران طی سال‌های ۱۳۷۸-۱۳۵۸ در قالب تابع تقاضای تعدیل جزئی پرداخته و نتیجه گرفتند که ضریب برآورد شده نرخ تعدیل پویا یا نرخ تصحیح خطا در تقاضای نهایی

---

۱. Broadstock et al

۲. TSLS

فرآورده‌های نفتی بیشترین مقدار و در مورد برق کمترین مقدار را داشته است. سه حامل انرژی برق، گازطبیعی و فرآورده‌های نفتی در اکثر موارد دارای کشش قیمتی پایین هستند. ضریب سرمایه‌بری دو حامل برق و فرآورده‌های نفتی بر کارایی اثر مثبت و بر کارایی مصرف گازطبیعی اثر منفی را نشان می‌دهد. ابریشمی و نیاکان (۱۳۸۹)، در بررسی خود با استفاده از روش تحلیل مرزی تصادفی، کارایی فنی و عوامل مؤثر بر آن را برای ۴۰ نیروگاه حرارتی برق ایران برای سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۸۲ بررسی کرده و سپس با مقایسه تطبیقی آن با کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی ۲۲ کشور در حال توسعه نتیجه گرفتند که میانگین کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی کشور ۹۳ درصد است در حالی که افزایش ظرفیت نصب شده نیروگاهی و تغییر نوع سوخت مصرفی از گازوئیل و نفت کوره به گاز طبیعی، به طور معنی‌داری کارایی فنی نیروگاه‌ها را افزایش داده است. شریف آزاده و بصیرت (۱۳۹۱)، کارایی فنی صنعت لوله‌های گاز و نفت ایران را بر اساس روش تابع مرزی تصادفی برآورد و نتیجه گرفتند که شکل تابع تولید کاب‌داگلاس بهتر می‌تواند رفتار تولید را توضیح دهد. هم‌چنین با استفاده از آماره نسبت در ستنمایی تعمیم‌یافته نتیجه گرفتند که آثار ناکارایی در این صنعت وجود دارد. البته کارایی فنی روندی صعودی داشت که دلایل آن را افزایش قیمت نفت و به تبع آن افزایش میزان سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در صنعت گاز و نفت و نیاز بیشتر به لوله‌های انتقال بیان کردند. قنبری و همکاران (۱۳۹۳) پس از محاسبه بهره‌وری انرژی در بخش کشاورزی ایران با شاخص بهره‌وری جزیی مهمترین عوامل مؤثر بر آن را با استفاده از الگوی ARDL طی سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۵۶ مورد بررسی و نشان دادند که متوسط سرمایه به ازای هر واحد انرژی مصرفی، دستمزد واقعی نیروی‌کار، متوسط نیروی‌کار (به ازای هر واحد انرژی)، قیمت واقعی فراورده‌های نفتی و نسبت برق از کل مصرف انرژی تأثیر مثبت بر بهره‌وری انرژی در کوتاه‌مدت داشته‌اند و در بلندمدت متغیر سهم مصرف برق از کل مصرف انرژی تأثیر مثبت و معنی‌دار بر بهره‌وری انرژی در بخش کشاورزی داشته

است. حقیقت و همکاران (۱۳۹۳) کارایی انرژی بخش خانگی در ۲۸ استان ایران را طی سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۹۰ با استفاده از روش مرزی تصادفی مورد بررسی قرار دادند و هم‌چنین به برر سی عوامل مؤثر بر م صرف انرژی بخش خانگی در ایران پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که استان‌های ایلام، سیستان و بلوچستان و بوشهر کمترین کارایی انرژی بخش خانگی بین استان‌های کشور را دارند و مصرف انرژی نسبت به قیمت بسیار کم‌ک شش و ن سبت به سطح درامد سرانه خانوار و جمعیت باک شش ا ست و با افزایش اندازه خانوار، مصرف انرژی کاهش می‌یابد.

۴- برآورد کارایی

آشکار است که کیفیت داده‌ها در درستی تحلیل‌های اقتصادی نقش تعیین کننده‌ای دارد. میزان مصرف انرژی بخشی به عنوان مهمترین داده این پژوهش توسط وزارت نیرو (ترازنامه انرژی) انتشار می‌یابد و سایر داده‌ها چون ارزش افزوده، موجودی سرمایه، نیروی‌کار شاغل توسط نهادهای دیگری هم چون بانک مرکزی و مرکز آمار ایران منتشر می‌شود. با توجه به متفاوت بودن دسته‌بندی فعالیت‌ها در بخش‌های اقتصادی و نیز تعریف بخش‌ها، هماهنگ ساختن داده‌ها اهمیت ویژه‌ای می‌یابد. در ترازنامه انرژی، م صرف نهایی انرژی به چهار بخش ۱) خانگی، تجاری و عمومی، ۲) صنعت، ۳) حمل و نقل و ۴) کشاورزی تفکیک می‌شود، در حالی که داده‌های ارائه شده توسط بانک مرکزی به ۴ بخش ۱) کشاورزی، ۲) صنایع و معادن (شامل صنعت، معدن، آب و برق و گاز، ساختمان)، ۳) خدمات (شامل بازرگانی، رستوران و هتلداری، حمل و نقل و انبارداری و ارتباطات، خدمات مؤسسات پولی و مالی، خدمات مستغلات و حرفه‌ای و تخصصی، خدمات اجتماعی، شخصی و خانگی) و ۴) نفت تقسیم می‌شود. هم‌چنین داده‌های مربوط به ا شتغال توسط مرکز آمار ایران و به تفکیک کدهای ISIC ارائه می شوند. چون نحوه مصرف انرژی در بخش خانگی و عوامل مؤثر بر کارایی آن با سایر بخش‌های

اقتصـــادی که به عرضـــه کالاها و خدمات می‌پردازند متفاوت اســـت، لذا ابتدا با گرفتن داده‌های مربوط به مصـــرف خانگی انرژی از وزارت نیرو و کســـر نمودن آن از داده‌های بخش خانگی، تجاری و عمومی، بخش جدید خدمات تعریف می‌شـــود تا بتوان بررســـی دقیق‌تری از کارایی انرژی در بخش‌های اقتصـــادی به عمل آورد. هم‌چنین با توجه به نقش متفاوت انرژی در بخش "حمل و نقل و انبارداری و ارتباطات"، این فعالیت در قالب یک بخش مجزا (بخش حمل و نقل) تعریف و بدین ترتیب کل فعالیت‌های تولیدی جامعه به چهار بخش کشاورزی، صنایع، خدمات و حمل و نقل دسته‌بندی شد. داده‌های مورد بررســـی ســـال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۱ را در بر می‌گیرد. برای برآورد کارایی انرژی بخشـــی از روش تحلیل تابع مرزی تصـــادفی و روش حداکثر درســـتنمایی و برای کارایی فنی از نرم افزار فرانتیر ۴,۱[۱] اســـتفاده می‌شـــود. بدین ترتیب که برای هر بخش یک تابع تولید تعریف می‌شود و در آن متغیرهای نیروی‌کار L (تعداد شاغلان)، موجودی سرمایه خالص K (موجودی سرمایه خالص به قیمت ثابت سال ۱۳۸۳) و انرژی مصرفی E (کل انرژی مصرف شده به میلیون بشکه معادل نفت خام) همگی به عنوان نهاده‌های بخشی و ارزش افزوده VA (ارزش افزوده به قیمت ثابت سال ۱۳۸۳) به عنوان ستانده هر بخش مد نظر قرار می‌گیرند.

٤-١- آزمون فرضیه فرم ساختاری

شـــکل توابع مورد اســـتفاده در بیشـــتر مطالعات انجام شـــده در زمینه برآورد کارایی، ترانسلوگ و کاب‌داگلاس هستند. تابع ترانسلوگ به شکل:

$$\begin{aligned}\mathrm{Ln(Y)} = {} & \beta_0 + \beta_1\,\mathrm{Ln(L_{it})} + \beta_2\,\mathrm{Ln(K_{it})} + \beta_3\,\mathrm{Ln(E_{it})} + \beta_4\big(\mathrm{Ln(L_{it})}\big)^2 + \\ & \beta_5\,(\mathrm{Ln(K_{it})})^2 + \beta_6(\mathrm{Ln(E_{it})})^2 + \beta_7(\mathrm{Ln(L_{it})}\,.\,\mathrm{Ln(K_{it})}) + \\ & \beta_8(\mathrm{Ln(L_{it})}\,.\,\mathrm{Ln(E_{it})}) + \beta_9(\mathrm{Ln(K_{it})}.\mathrm{Ln(E_{it})}\big) + v_{\mathrm{it}} \qquad (۶)\end{aligned}$$

و تابع کاب‌داگلاس به صورت زیر تعریف می‌شود:

[۱]. Frontier 4.1

$$\mathrm{Ln(Y)} = \beta_0 + \beta_1 \mathrm{Ln(L_{it})} + \beta_2 \mathrm{Ln(K_{it})} + \beta_3 \mathrm{Ln(E_{it})} + v_{it} \quad (۷)$$

تابع ترانسلوگ در واقع حالت کلی تابع کاب‌داگلاس و تفاوت اصلی بین تابع ترانسلوگ و تابع کاب‌داگلاس در وجود یا نبود متغیرهای حاصل ضرب است. بدین سبب لازم است مشخص شود که کدام شکل، سازگاری بیشتری با داده‌های مورد بررسی دارند. لذا ابتدا و پیش از برآورد تابع، آزمون محدودیت خطی زیر انجام می‌شود:

$$\begin{aligned} &H_0: \quad \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = \beta_7 = \beta_8 = \beta_9 = 0 \\ &H_1: \quad \text{همه ضریب‌های بالا به طور هم زمان صفر نیستند .} \end{aligned} \quad (۸)$$

در صورتی که فرضیه H_0 را نتوان پذیرفت، فرضیه مقابل یعنی H_1 رد نشدنی می‌شود و در نتیجه شکل تابع ترانسلوگ مناسب‌تر و سازگارتر با داده‌ها خواهد بود. برعکس اگر فرضیه H_0 را نتوان رد کرد، در واقع صفر بودن هم‌زمان ضرائب مورد نظر رد نشده و در نتیجه شکل تابع کاب‌داگلاس پذیرفتنی‌تر است. برای آزمون این فرضیه از نسبت درستنمایی استفاده می‌شود. آماره این آزمون، به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\lambda = -2\left[\log\frac{\mathcal{L}(H_0)}{\mathcal{L}(H_1)}\right] = -2[\log \mathcal{L}(H_0) - \log \mathcal{L}(H_1)]$$
$$= -2[59.54 - 95.82] = 72.55 \quad (۹)$$

مقادیر $\mathcal{L}(H_0)$ و $\mathcal{L}(H_1)$ ، مقادیر تابع درستنمایی تحت فرض‌های به ترتیب H_0 و H_1 را نشان می‌دهند. این آماره دارای توزیع χ^2 با درجه آزادی برابر تعداد قیدهای مشخص شده در فرض صفر (در اینجا ۶) خواهد بود. با توجه به مقدار آماره که از مقدار بحرانی (در سطح معناداری ۵ درصد) یعنی ۱۲/۵۹ بزرگتر است، پس فرض H_0 رد می‌شود و نتیجه می‌گیریم که شکل تبعی ترانسلوگ برای برآورد تابع مرزی تصادفی مناسب‌تر است.

۴-۲- برآورد کارایی فنی و کارایی انرژی

حال با مشخص شدن شکل تابع (به صورت ترانسلوگ)، به برآورد ضریب‌ها بر اساس

داده‌های تابلویی سال‌های (۱۳۹۱-۱۳۷۳) و ۴ بخش (کشاورزی، صنایع، حمل و نقل و خدمات) پرداخته که نتایج در جدول (۱) آورده می‌شود.

جدول۱- برآورد پارامترهای معادله ترانسلوگ

متغیرها	پارامترها	برآوردها(ضرایب)	انحراف معیار	آماره t
مقدار ثابت	β_0	۶/۹۰۳۱۱	۰/۹۹۳۹۸	۶/۹۴۴۹۱
Ln(L)	β_1	۲/۱۴۶۸۶	۰/۶۹۸۹۴	۳/۰۷۱۵۷
Ln(K)	β_2	-۱/۱۶۸۴۸	۰/۷۴۸۲۸	-۱/۵۶۱۵۵
Ln(E)	β_3	-۴/۸۰۶۶۱	۰/۸۹۱۸۸	-۵/۳۸۹۲۸
$(Ln(L))^2$	β_4	-۰/۰۷۵۲۳	۰/۰۵۵۳۶	-۱/۳۵۹۰۴
$(Ln(K))^2$	β_5	-۰/۰۰۲۸۶	۰/۰۲۹۶۰	-۰/۰۹۶۷۰
$(Ln(E))^2$	β_6	-۰/۰۷۸۳۷	۰/۰۴۰۷۶	-۱/۹۲۲۷۵
Ln(L). Ln(K)	β_7	۰/۰۲۰۹۱	۰/۰۷۹۶۶	۰/۲۶۲۵۵
Ln(L). Ln(E)	β_8	۰/۰۴۷۰۵	۰/۰۶۰۰۱	۰/۷۸۴۰۲
Ln(K). Ln(E)	β_9	۰/۳۶۴۷۹	۰/۰۵۷۷۱	۶/۳۲۱۱۱
پارامترهای واریانس	σ^2	۰/۰۰۴۶۷	۰/۰۰۰۷۸	۵/۹۷۸۶۲
	γ	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۶	۰/۹۲۴۷۷
	μ	-۰/۰۰۰۹۹	۰/۰۰۵۵۷	-۰/۱۷۷۵۵
	η	۰/۲۷۰۳۷	۰/۳۱۴۸۱	۰/۸۵۸۳۳
تابع حداکثر درستنمایی		۹۵/۸۱۶۰۳		

منبع: یافته‌های پژوهش

کشش‌های تولیدی به ترتیب عبارتند از: (که البته کشش‌ها در نقاط مختلف متفاوتند) :

$$\frac{d \ln Y}{d \ln L} = \beta_1 + 2\beta_4 \ln L + \beta_7 \ln K + \beta_8 \ln E \qquad (۱۰)$$

$$\frac{d \ln Y}{d \ln K} = \beta_2 + 2\beta_5 \ln K + \beta_7 \ln L + \beta_9 \ln E \qquad (۱۱)$$

$$\frac{d \ln Y}{d \ln E} = \beta_3 + 2\beta_6 \ln E + \beta_8 \ln L + \beta_9 \ln K \quad (۱۲)$$

پارامتر Υ در الگو بیانگر ناکارایی فنی است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\gamma = \frac{\sigma_u^2}{\sigma^2}, \sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2 \quad (۱۳)$$

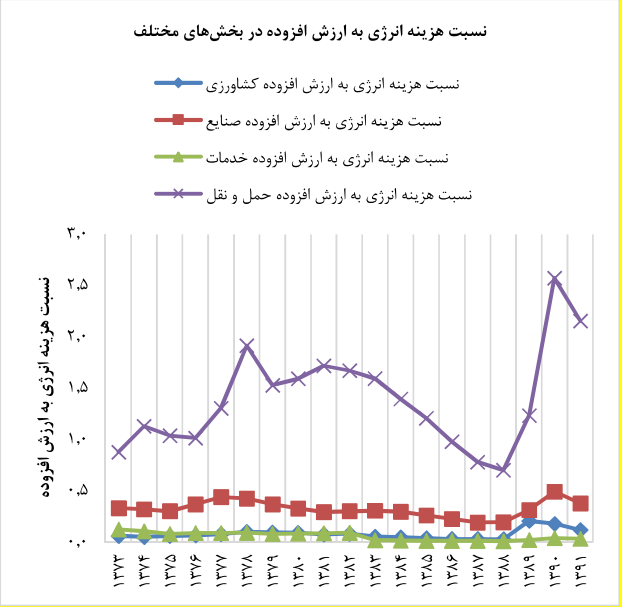
مقدار Υ همواره بین صفر و یک قرار دارد و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد، جزء اختلال معمولی (σ_v^2) سهم بیشتری از کل انحراف از مرز را خواهد داشت و هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد، نشان دهنده این است که جزء ناکارایی فنی، سهم بزرگتری از کل انحراف از مرز را دارا است. مقدار Υ، در حدود ۰/۰۰۰۰۵ به دست آمده که مبین سهم اندک ناکارایی فنی است. این مسأله با توجه به مقدار کوچک آماره t، بی‌معنی بودن این سهم یعنی متفاوت از صفر نبودن آن را تأیید می‌کند، بدین مفهوم که تفاوت چندانی با صفر ندارد و در نتیجه نقش و سهمی از کل انحرافات نداشته است. نکته مهم دیگر تغییر ناکارایی کل عوامل تولید در طول زمان است که مقدار پارامتر η آن را نشان خواهد داد. برای ارزیابی این مسأله از آزمون t با فرضیه‌های زیر استفاده می‌شود (پارامتر η، تغییر در تأثیر زمان بر نا کارایی کل عوامل تولید و نیز وجود تغییرات فنی در تابع تولید را نشان می‌دهد و در واقع نرخ تغییر در کارایی فنی را اندازه‌گیری می‌کند.)

$$H_0: \eta = 0$$
$$H_1: \eta \neq 0 \quad (۱۴)$$

پارامتر η، برابر با ۰/۲۷۰۳۷ به دست آمده و مقدار آماره t ، یعنی ادعای صفر بودن پارامتر را نمی‌توان مردود شمرد.

کارایی فنی و کارایی انرژی حاصل از برآورد برای بخش‌های مختلف اقتصادی طی سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۷۳ محاسبه و در جدول ۴ پیوست آورده شده است. بر اساس اطلاعات به دست آمده، کارایی انرژی بخش‌ها در طول زمان کاهش یافته که می‌تواند تأییدی بر افزایش جزء ناکارایی در طول زمان باشد. به علاوه، میانگین کارایی انرژی کل بخش‌ها از سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۱ نیز کاهش یافته است. کمترین کارایی انرژی مربوط به

بخش خدمات اســت. این کارایی نازل در بخش خدمات را می‌توان با توجه به ســهم کم هزینه انرژی (از کل هزینه‌های تولید) توضــیح داد که در نتیجه بنگاه‌های فعال در این بخش، حساسیت زیادی روی مصرف انرژی ندارند و بنابراین اتلاف انرژی بالایی دارند. در واقع هر قدر هم که هزینه انرژی به طور مطلق بالا باشد، اما اهمیت این هزینه برای این بخش به طور نســبی کم اســت و تأثیر چندانی بر ســود بنگاه‌ها و در کل بخش خدمات نمی‌گذارد. پس به دلیل نبود انگیزه لازم در ســرمایه‌گذاری برای صــرفه‌جویی انرژی، کارایی انرژی پایین اســت، این نکته در نمودار زیر که نســبت هزینه انرژی هر بخش به ارزش افزوده آن را نشان می‌دهد، می‌توان ملاحظه نمود:



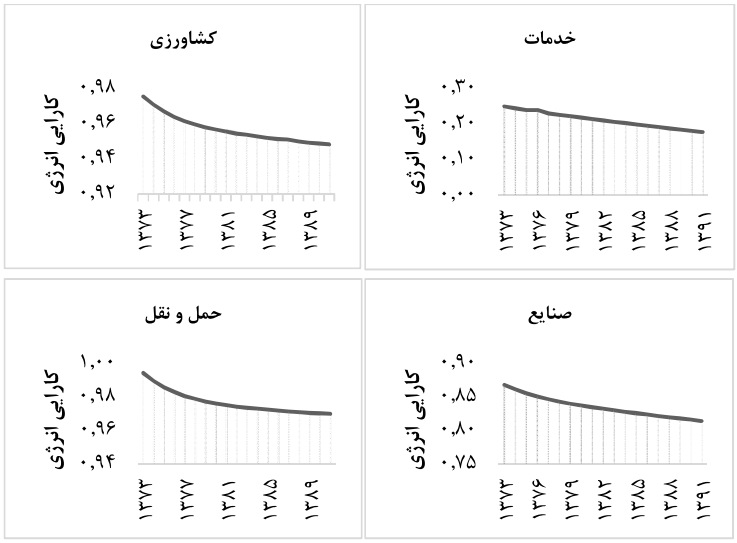
نمودار ۳- نسبت هزینه انرژی به ارزش افزوده در بخش‌های مختلف اقتصادی طی سال‌های ۱۳۷۳-۱۳۹۱

منبع: یافته‌های پژوهش

هم‌چنین با توجه به این که در دسته‌بندی فعالیت‌ها در اینجا، به ناچار بخش عمومی نیز در بخش خدمات لحاظ شده (نبود اطلاعات تفکیکی)، و هزینه‌های بخش عمومی نیز توسط دولت و از محل بودجه دولتی تأمین می‌شود (که در این بخش نیز حساسیت چندانی به هزینه‌ها از جمله هزینه‌های انرژی وجود ندارد و البته تغییر در ساختار مصرف بسیار کند است و اتلاف بیشتر است)، کارایی انرژی این بخش پایین است. مشاهده می‌شود که کارایی فنی در تمام بخش‌های اقتصادی همواره در حال صعود (البته با آهنگی کند) است. باید یادآوری نمود که در روش تابع مرزی تصادفی، کارایی به طور نسبی (نسبت به کاراترین واحد) و نه مطلق سنجیده می‌شود و بدین ترتیب ممکن است که کارایی بهترین و کاراترین بنگاه هم، به طور مطلق چندان زیاد نباشد. روند تحول کارایی انرژی به طور کامل، عکس کارایی فنی و مبین آن است که در طی این سال‌ها نه تنها افزایش نیافته بلکه با نرخ اندکی کاهش یافته است. این کاهش در هر چهار بخش مشاهده می‌شود. با توجه به افزایش قیمت انرژی (به طور مطلق و نیز نسبت به قیمت محصول بخش) به خصوص در سال‌های اخیر، کم تأثیری سیاست افزایش قیمت برای ارتقای کارایی انرژی آشکارتر می‌شود. به بیان دیگر حتی حذف قیمت‌های یارانه‌ای و چند برابر شدن قیمت‌های ا سمی نیز تغییری را در این روند به وجود نیاورده است. همان طوری که در قبل نیز بیان شد، این مسأله، ناتوانی بخش‌های اقتصادی را در واکنش سریع نیز نشان می‌دهد. زیرا ا ستفاده کاراتر از انرژی، مستلزم دا شتن تجهیزات انرژی‌اندوز است و می‌دانیم که در زمینه جایگزینی تجهیزات، به دلایل متعددی از جمله هزینه زیاد، سرمایه‌گذاری بسیار کند صورت می‌گیرد. این نتیجه با یافته آدتوتو (۲۰۱۴) برای دوره ۲۰۱۰-۱۹۷۲ نیز سازگاری کامل دارد. در مجموع معلوم می‌شود که کارایی انرژی در ایران در دوره مورد بررسی روندی نزولی به جای افزایشی داشته و اتلاف منابع بیشتر شده است.

برای بررسی دقیق‌تر موضوع، کارایی فنی و کارایی انرژی برای هر چهار بخش

اقتصـادی و برای تمام سـال‌ها به طور مجزا نیز برآورد و با توجه به تعداد زیاد سـال‌های مورد بررســـی و برای ارائه گویاتر روند تغییر میزان کارایی انرژی بخش‌های چهارگانه اقتصادی، از نمودار استفاده شد. به طور کلی چنین می‌توان دریافت که هر چند میزان کارایی فنی در طول زمان افزایش یافته (هر چند اندک)، کارایی انرژی در طی زمان برای هر ۴ بخش و در کل (میانگین) تنزل (باز هم اندکی) داشته است.



نمودار ۴- کارایی انرژی در بخش‌های مختلف اقتصادی طی سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۷۳

منبع: یافته‌های پژوهش

بدین ترتیب می‌توان کاهش اندک کارایی فنی در طول زمان را به مفهوم کم تأثیری شرایط متفاوت اقتصادی سال‌های مختلف بر کارایی فنی دانست. بر این اساس دیگر نیازی به تعریف زمان و در نتیجه متغیر دانســتن کارایی فنی هر بخش در طول زمان در الگو نیســت، گویی مشــاهدات در شــرایط ثابت دســت آمده‌اند که با اعمال محدودیت $\mu = 0$، توزیع u از نیم‌نرمال تعمیم‌یافته به نیم‌نرمال مبدل می‌شـــود. پس از اعمال

شرایط فوق، الگو (تابع تولید ترانسلوگ) دوباره برآورد شد که نتایج در جدول شماره ۲ ارائه می‌شود.

جدول ۲- برآورد متغیرها با فرض ثابت بودن جزء ناکارایی فنی در طول زمان (۱۳۹۱-۱۳۷۳)

متغیرها	پارامترها	برآوردها(ضرایب)	انحراف معیار	آماره t
مقدار ثابت	β_0	۶/۸۵۱۶۳	۱/۰۲۴۳۹	۶/۶۸۸۵۰
Ln(L)	β_1	۲/۱۹۴۱۲	۰/۷۲۵۸۰	۳/۰۲۳۰۳
Ln(K)	β_2	-۱/۱۴۹۵۰	۰/۷۹۵۶۰	-۱/۴۴۴۸۲
Ln(E)	β_3	-۴/۹۷۲۹۲	۱/۰۵۱۲۷	-۴/۷۳۰۴۰
$(Ln(L))^2$	β_4	-۰/۰۷۸۴۰	۰/۰۵۷۷۷	-۱/۳۵۷۱۸
$(Ln(K))^2$	β_5	-۰/۰۰۴۰۸	۰/۰۳۰۶۱	-۰/۱۳۳۳۲
$(Ln(E))^2$	β_6	-۰/۰۸۰۶۸	۰/۰۴۱۵۶	-۱/۹۴۱۳۷
Ln(L). Ln(K)	β_7	۰/۰۲۰۹۲	۰/۰۸۲۷۱	۰/۲۵۲۸۹
Ln(L). Ln(E)	β_8	۰/۰۵۵۳۴	۰/۰۶۶۸۷	۰/۸۲۷۶۴
Ln(K). Ln(E)	β_9	۰/۳۶۹۱۱	۰/۰۶۱۵۰	۶/۰۰۲۱۹
پارامترهای واریانس	σ^2	۰/۰۰۴۷۶	۰/۰۰۰۷۵	۶/۳۸۵۶۳
	γ	۰/۰۰۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۲۳
تابع حداکثر درستنمایی	۹۵/۳۴۴۷۸			

منبع: یافته‌های پژوهش

با توجه به آماره t مربوط به پارامتر γ، این جزء بی‌معنی ا ست و تفاوت معنی‌داری با صـــفر ندارد. بنابراین جزء ناکارایی فنی ســـهم زیادی از کل انحراف از مرز ندارد. بدین ترتیب کارایی فنی عوامل تولید و کارایی انرژی بخشی محاسبه و در جدول ۳ آورده شد.

جدول۳- برآورد کارایی‌های فنی و انرژی با فرض ثبات جزء ناکارایی فنی در طول زمان

بخش	کارایی فنی	کارایی انرژی
کشاورزی	۰/۹۹۹۹۹۴۴۹	۰/۹۲۴۸۳
صنایع	۰/۹۹۹۹۹۴۴۹	۰/۸۹۲۷۴
حمل و نقل	۰/۹۹۹۹۹۴۴۹	۰/۹۶۶۸۲
خدمات	۰/۹۹۹۹۹۴۴۹	۰/۳۳۱۸۳
میانگین	۰/۹۹۹۹۹۴۴۹	۰/۷۷۴۰۶

منبع: یافته‌های پژوهش

این جدول بیانگر آن است که گرچه تفاوتی بین کارایی فنی عوامل تولید بخش‌ها مشاهده نمی‌شود ولی اختلاف شدیدی بین کارایی انرژی بخش‌های اقتصادی کشور وجود دارد (دامنه آن وسیع است). در این میان بخش خدمات، کمترین کارایی انرژی (۳۳ درصد) و بخش حمل و نقل بیشترین کارایی انرژی (حدود ۹۷ درصد) را دارند. میانگین ۷۷ در صدی کارایی انرژی بخ شی و دامنه ۶۳/۵ در صدی آن تأکیدی بر همین مسأله است. شاید بتوان علت این تفاوت درخور تأمل را کم بودن سهم هزینه‌های انرژی از کل هزینه‌های فعالیت بخش خدمات و در نتیجه کم یا بی‌تأثیری صرفه‌جویی انرژی در این بخش دانست.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش کارایی نهاده انرژی به تفکیک بخش‌های اقتصادی مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا تمام فعالیت‌های اقتصادی (تولیدی و خدماتی) کشور، به چند بخش تقسیم که پس از بررسی و با توجه به داده‌های در دسترس چهار بخش کشاورزی، صنایع، خدمات و حمل ونقل از هم تفکیک شدند. بدین سبب ابتدا شکل ساختاری تابع تولید با استفاده از آزمون نسبت درستنمایی تعیین و سپس کارایی انرژی در هر بخش با

داده‌های همان بخش برای سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۷۳ با برآورد تابع تولید به روش مرزی تصادفی محاسبه شد. از آنجایی که تابع مرزی هیچ‌گاه در عمل قابل دسترس نیست، به پیشنهاد فارل (۱۹۵۷) این تابع به عنوان مکان هندسی حداکثر محصول قابل تولید بر اساس اطلاعات نمونه‌ای (بنگاه‌ها) تخمین زده و کارایی نسبت به کاراترین واحد موجود و نه مطلق (در واقع شاخص کارایی هر بنگاه به صورت نسبی) سنجیده می‌شود، بنابراین ممکن است کارایی بهترین (کاراترین) بنگاه هم، به طور مطلق چندان زیاد نباشد. در ضمن استفاده کاراتر از انرژی، مستلزم داشتن تجهیزات انرژی‌اندوز است و جایگزینی تجهیزات، به دلایل متعددی از جمله هزینه زیاد سرمایه‌گذاری، بسیار کند صورت می‌گیرد. نتایج و پیشنهادها حاصل از این پژوهش را می‌توان به شکل زیر بیان کرد:

الف) تابع تولید ترانسلوگ بهتر می‌تواند فرآیند تولید را در بخش‌های اقتصادی نشان دهد.

ب) گرچه کارایی فنی بخش‌های چهارگانه اقتصادی کشور بالاست (حدود ۹۹ درصد به طور متوسط) ولی کارایی انرژی آن‌ها به طور نسبی پایین‌تر است. در نتیجه به نظر می‌رسد سیاستگذاران و مجریان در سطوح مختلف کلان و بخشی می‌توانند با اتخاذ تصمیمات مناسب، کمک شایانی به استفاده کاراتر از این نهاده تولید داشته باشند.

پ) مقایسه کارایی انرژی بخش‌های مختلف حاکی از بالاتر بودن آن در بخش حمل و نقل و پایین‌تر بودن آن در بخش خدمات نسبت به بقیه بخش‌ها است. بنابراین برای ارتقای کارایی انرژی دولت باید سیاست‌های متفاوتی را برای بخش‌های مختلف اعمال کند.

ت) کارایی انرژی در سالهای مورد بررسی نزولی است. لذا شناسایی و توجه به عوامل مؤثر بر کارایی انرژی در بخش‌های مختلف اقتصادی امری ضروری است.

پیوست

جدول ۴- برآورد کارایی‌های فنی و انرژی در بخش‌های مختلف اقتصادی سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۷۳

بخش	کشاورزی		صنایع		حمل و نقل		خدمات		میانگین	
سال	کارایی فنی	کارایی انرژی	کارایی فنی	کارایی انرژی	کارایی فنی	کارایی انرژی	کارایی فنی	کارایی انرژی	کارایی فنی	کارایی انرژی
۱۳۷۳	۰/۹۸۱۳	۰/۹۷۵۴	۰/۹۷۳۷	۰/۸۶۷۷	۰/۹۸۰۷	۰/۹۹۴۲	۰/۹۷۴۵	۰/۲۴۹۱	۰/۹۷۷۵	۰/۷۷۲۳
۱۳۷۴	۰/۹۸۵۷	۰/۹۷۰۶	۰/۹۷۹۸	۰/۸۶۰۶	۰/۹۸۵۲	۰/۹۸۹۳	۰/۹۸۰۵	۰/۲۴۳۷	۰/۹۸۲۸	۰/۷۶۶۶
۱۳۷۵	۰/۹۸۹	۰/۹۶۶۸	۰/۹۸۴۵	۰/۸۵۴۹	۰/۹۸۸۷	۰/۹۸۵۶	۰/۹۸۵۰	۰/۲۳۸۶	۰/۹۸۶۸	۰/۷۶۱۹
۱۳۷۶	۰/۹۹۱۶	۰/۹۶۳۸	۰/۹۸۸۲	۰/۸۵۰۱	۰/۹۹۱۳	۰/۹۸۲۶	۰/۹۸۸۵	۰/۲۳۸۶	۰/۹۸۹۹	۰/۷۵۷۹
۱۳۷۷	۰/۹۹۳۶	۰/۹۶۱۴	۰/۹۹۰۹	۰/۸۴۶۰	۰/۹۹۳۴	۰/۹۸۰۳	۰/۹۹۱۲	۰/۲۲۹۴	۰/۹۹۲۳	۰/۷۵۴۵
۱۳۷۸	۰/۹۹۵۱	۰/۹۵۹۴	۰/۹۹۳۱	۰/۸۴۲۵	۰/۹۹۴۹	۰/۹۷۸۵	۰/۹۹۳۳	۰/۲۲۵۱	۰/۹۹۴۱	۰/۷۵۱۶
۱۳۷۹	۰/۹۹۶۳	۰/۹۵۷۸	۰/۹۹۴۷	۰/۸۳۹۴	۰/۹۹۶۱	۰/۹۷۷۰	۰/۹۹۴۹	۰/۲۲۱۰	۰/۹۹۵۵	۰/۷۴۸۹
۱۳۸۰	۰/۹۹۷۱	۰/۹۵۶۴	۰/۹۹۶۰	۰/۸۳۶۶	۰/۹۹۷۱	۰/۹۷۵۸	۰/۹۹۶۱	۰/۲۱۶۹	۰/۹۹۶۶	۰/۷۴۶۶
۱۳۸۱	۰/۹۹۷۸	۰/۹۵۵۳	۰/۹۹۶۹	۰/۸۳۴۱	۰/۹۹۷۷	۰/۹۷۴۹	۰/۹۹۷۰	۰/۲۱۳۰	۰/۹۹۷۴	۰/۷۴۴۴
۱۳۸۲	۰/۹۹۸۳	۰/۹۵۴۳	۰/۹۹۷۶	۰/۸۳۱۸	۰/۹۹۸۳	۰/۹۷۴۰	۰/۹۹۷۷	۰/۲۰۹۲	۰/۹۹۸۰	۰/۷۴۲۴
۱۳۸۳	۰/۹۹۸۷	۰/۹۵۳۴	۰/۹۹۸۲	۰/۸۲۹۵	۰/۹۹۸۷	۰/۹۷۳۳	۰/۹۹۸۳	۰/۲۰۵۴	۰/۹۹۸۵	۰/۷۴۰۴
۱۳۸۴	۰/۹۹۹	۰/۹۵۲۶	۰/۹۹۸۶	۰/۸۲۷۴	۰/۹۹۹۰	۰/۹۷۲۷	۰/۹۹۸۷	۰/۲۰۱۶	۰/۹۹۸۸	۰/۷۳۸۶
۱۳۸۵	۰/۹۹۹۳	۰/۹۵۱۸	۰/۹۹۹۰	۰/۸۲۵۴	۰/۹۹۹۲	۰/۹۷۲۲	۰/۹۹۹۰	۰/۱۹۷۹	۰/۹۹۹۱	۰/۷۳۶۸
۱۳۸۶	۰/۹۹۹۴	۰/۹۵۱۱	۰/۹۹۹۲	۰/۸۲۳۳	۰/۹۹۹۴	۰/۹۷۱۷	۰/۹۹۹۲	۰/۱۹۴۳	۰/۹۹۹۳	۰/۷۳۵۱
۱۳۸۷	۰/۹۹۹۶	۰/۹۵۰۷	۰/۹۹۹۴	۰/۸۲۱۴	۰/۹۹۹۶	۰/۹۷۱۲	۰/۹۹۹۴	۰/۱۹۰۶	۰/۹۹۹۵	۰/۷۳۳۴
۱۳۸۸	۰/۹۹۹۷	۰/۹۴۹۸	۰/۹۹۹۵	۰/۸۱۹۴	۰/۹۹۹۷	۰/۹۷۰۸	۰/۹۹۹۵	۰/۱۸۷۱	۰/۹۹۹۶	۰/۷۳۱۸
۱۳۸۹	۰/۹۹۹۷	۰/۹۴۹۱	۰/۹۹۹۶	۰/۸۱۷۵	۰/۹۹۹۷	۰/۹۷۰۴	۰/۹۹۹۷	۰/۱۸۳۵	۰/۹۹۹۷	۰/۷۳۰۱
۱۳۹۰	۰/۹۹۹۸	۰/۹۴۸۵	۰/۹۹۹۷	۰/۸۱۵۵	۰/۹۹۹۸	۰/۹۷۰۰	۰/۹۹۹۷	۰/۱۸۰۰	۰/۹۹۹۸	۰/۷۲۸۵
۱۳۹۱	۰/۹۹۹۹	۰/۹۴۷۹	۰/۹۹۹۸	۰/۸۱۳۶	۰/۹۹۹۸	۰/۹۶۹۶	۰/۹۹۹۸	۰/۱۷۶۵	۰/۹۹۹۸	۰/۷۲۶۹

منبع: یافته‌های پژوهش

منابع

- Abbasinejad, H., & Vafinajjar, D. (2005). Investigating Energy Efficiency and Productivity in the Iranian Economic Sectors and Estimation of Energy Input and Price Elasticities in Industrial and Transportation Sectors by TSLS Method. *Economic Research,* 39(3), 113-137, (In Persian).
- Abrishami, H., & Niakan, L. (2010). Measuring the Technical Efficiency of

Iranian Power Plants Using Stochastic Frontier Analysis (SFA) and Comparison with Selected Developing Countries. *Quarterly Energy Economics Review,* 26(7), 153-175, (In Persian).
- Adetutu, M. (2014). Energy Efficiency and Capital-Energy Substitutability: Evidence from Four OPEC Countries. *Applied Energy*, 119 ,363-370.
- Aigner, D. & Chu, S. (1968). On the Estimating the Industry Production Function. *American Economic Review*, 58, 826-839.
- Aigner, D., Knox Lovell, C. & Schmidt, P. (1977). Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models. *Journal of Econometrics (North-Holland publishing Company)*, 6, 21-37.
- Andrews-Speed, P. (2009). China's Ongoing Energy Efficiency Drive: Origins, Progress and Prospects. *Energy Policy*, 37(4), 1331-1344.
- Battese, G. & Coelli, T. (1993). A Stochastic Frontier Production Function Incorporating a Model for Technical Inefficiency Effects. Department of Econometrics, University of New England, WP 69..
- Battese, G., & Coelli, T. (1988). Prediction of Firm-Level Technical Efficiencies with a Generalized Frontier Production Function and Panel Data. *Journal of Econometrics*, 38(3), 387-399.
- BP Statistical Review of World Energy, June 2015, bp.com/statisticalreview.
- Broadstock, D.C., Jiajia, L. & Dayong, Z. (2016). Energy Snakes and Energy Ladders: A (meta-) Frontier Demand Analyses of Electricity Consumption Efficiency in Chinese Households. *Energy Policy*, 91, 383-396.
- Farrell, M. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical society, Series A (General)*, 120(3),253-290.
- Filippini, M., & Orea, L. (2014). Applications of The Stochastic Frontier Approach in Energy Economics. *Economics & Business Letters*, (3)1, 35-42.
- Ghanbari, A., Khaksari, S. & Khaksari, H. (2014). Factors Affecting Energy Productivity in Agricultural Sector of Iran. *Agriculture Economic Research,* 6(21), 1-21, (In Persian).
- Haghighat, J., Ansarilary, M.S. & Kiani, P. (2015). Evaluation of Energy Efficiency in Dwelling Sector of Iran's Provinces. *Iranian Energy Economics,* 4(13), 89-116, (In Persian).
- Heidari, E. & Sadeghi, H. (2005). Estimation of Energy Efficiency in Industrial Sector of Iran by a Partial Demand Adjustment Function. *Economic Research,* 40(1), 179-200, (In Persian).
- Iran's Energy Balance Sheets (1994–2012). Office of Electricity and Energy

Macro Planning, Ministry of Energy, (In Persian).
- Jondrow, J., Knox Lovell, C., Materov, S.I., & Schmidt, P. (1982). On the Estimation of Technical inEfficiency in The Stochastic Frontier Production Function Model. *Journal of Econometrics (North-Holland Publishing Company),* 19(2), 233-238.
- Meeusen, W. & Van Den Broeck, J. (1977). Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error. *International Economic Review*, 18(2), 435-444.
- Miao, R., & Jin, Y. (2014). The Measurement and Analysis of Regional Energy Efficiency in China. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 6(3), 729-734.
- Mukherjee, K. (2008). Energy Use Efficiency in The Indian Manufacturing Sector: An Interstate Analysis. *Energy Policy*, 36(2), 662-672.
- Pitt, M. & Lung-Fei, L. (1981). The Measurement and Sources of Technical Efficiency in the Indonesian Weaving Industry. *Journal of Development Economics*, 9(1), 43-64.
- Schmidt, P. & Sickles, R. (1984). Production Frontier and Panel Data. *Journal of Business & Economic Statistics*, 2(4), 367-374.
- Sharifazadeh, M.R. & Basirat, M. (2013). Estimating Technical Efficiency of Iranian Oil and Gas Pipe Manufacturing Industry Using Stochastic Frontier Function Estimation. *Economic Policies (Nameyemofid), Mofid University,* 99, 181-200, (In Persian).
- Simar, L. (1992). Estimating Efficiencies from Frontier Models with Panel Data: A Comparison of Parametric, Non-parametric and Semi-parametric Methods with Bootstrapping. *Journal of Productivity Analysis*, 6, 63-76.
- Stern, D. (2012). Modeling International Trends in Energy Efficiency. *Energy Economics*, 34(6), 2200-2208.
- Zhou, P., Ang, B., & Zhou, D. (2012). Measuring Economy-wide Energy Efficiency Performance: A Parametric Frontier Approach. *Applied Energy*, 90(1), 196-200.
- Zou, G., Chen, L., Liu, W., Hong, X., Zhang, G., & Zhang, Z. (2013). Measurement and Evaluation of Chinese Regional Energy Efficiency Based on Provincial Panel Data. *Mathematical and Computer Modelling*, 58(5), 1000-1009.