علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره هفدهم، شماره چهار، زمستان ۹۴

محاسبه شاخص بهره‌وری نیروگاه‌های کشور با ملاحظات زیست‌محیطی

عبدالکریم اسماعیلی [۱]

رباب محسن‌پور [۲*]

rmohsenpour@gmail.com

تاریخ دریافت:۸۷/۸/۲۰ **تاریخ پذیرش:۸۷/۱۱/۱۷**

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به اهمیت محیط‌زیست و با توجه به کمبودهایی که در رابطه با روش‌های تحلیلی برای سیاست‌گذاری زیست‌محیطی وجود دارد، ارایه الگوهایی جهت بررسی ارتباط بین فعالیت‌های اقتصادی و متغیرهای زیست‌محیطی امری لازم و ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین در مطالعه حاضر به برآورد شاخص بهره‌وری نیروگاه‌های کشور با ملاحظات زیست‌محیطی اقدام شده‌است.

روش بررسی: در مطالعه حاضر با جمع‌آوری اطلاعات تولیدی نیروگاه‌های کشور طی سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۶۰ به برآورد شاخص بهره‌وری مالم‌کوییست [۳] با ملاحظات زیست‌محیطی اقدام شده است.

یافته ها: نتایج نشان داد که میانگین شاخص بهره‌وری مالم‌کوییست با و بدون احتساب آلاینده‌ها به ترتیب برابر با ۰/۹۷۱ و ۱/۰۲۵ می‌باشد. مقایسه مقادیر شاخص بهره‌وری با و بدون احتساب آلاینده با استفاده از آزمون من‌ویتنی [۴] نشان می‌دهد که از نظر آماری اختلاف مذکور معنی‌دار می‌باشد.

بحث و نتیجه گیری: بر اساس این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که احتساب ملاحظات زیست محیطی در محاسبات بهره‌وری امری لازم و ضروری می‌باشد.

واژه های کلیدی: آلودگی، محیط‌زیست، شاخص بهره‌وری مالم کوییست، ستانده نامطلوب، نیروگاه.

۱- استاد بخش اقتصاد کشاورزی، دانشگاه شیراز

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز*(مسوول مکاتبات)

3- Malmquist Index

4- Mann-Whitney

J.Env. Sci. Tech., Vol 17, No.4, winter 2016

Productivity Analyses of Iranian Power Plant with Environmental Criterion

Abdoulkarim Esmaeili[1]
Robab Mohsenpoor[2]*(Corresponding Author)*
rmohsenpour@gmail.com

Abstract

Background and Objective: Productivity of Iranian electric industry with environmental criterion is measured in this study.

Methods: Adjusted total factor productivity growth rate using Malmquist Index are calculated for 1981-2005.

Findings: The result indicates that including the pollution abatement activities has a measurable effect on the productivity. Comparison of the productivity shows that the mean productivity with and without environmental criterion were 0.971 and 1.025, respectively. Statistical comparison of the mentioned productivity using Mann-Whitney test reveals that this difference is significant.

Discussion and Conclusion: So it is necessary to use environmental criteria for measuring efficiency and productivity in pollutant industries.

Keywords: Productivity Analysis, Iranian Power Plant, Environmental Criterion, Pollution, Malmquist Index

1- Professor of Agricultural Economics, College of agriculture, Shiraz University
2- M.Sc of Agricultural Economics, Collage of agriculture, Shiraz University

مقدمه

بسیاری از تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی بر توضیح علل کاهش تدریجی نرخ رشد بهره‌وری متمرکز شده‌اند و تعدادی از این تجزیه و تحلیل‌ها بر این فرض تکیه دارند که قوانین زیست محیطی یک سری شرایط دشوار را بر تولیدکنندگان تحمیل کرده‌اند، که باعث کاهش بهره وری شده‌است. در واقع ضرورت بحث در اندازه گیری‌های کنترل آلودگی بدین دلیل است که در صورت کنترل آلودگی بنگاه‌ها نیاز به استفاده بیشتر نهاده برای تولید سطح مشابهی از ستانده دارند و بنابراین با این تعریف بهره‌وری اندازه‌گیری شده باید کاهش یابد(جاف و همکاران[1]، ۱۹۹۵)(۱). از طرفی طرفداران محیط‌زیست بر این باورند که کاهش در بهره‌وری گزارش شده در این مطالعات یک محاسبه سنتی و تصنعی از بهره‌وری است. مخصوصاً این آنالیزها گرایش به بیش از حد نشان دادن اثرات معکوس قوانین زیست محیطی بر روی بهره‌وری دارند، زیرا آنها به طور کافی این حقیقت را که نهاده‌ها برای تولید یک محیط زیست پاک و سالم و نه فقط برای ستانده‌های بازاری سنتی تخصیص می‌یابند، منعکس نمی‌کنند .نرخ رشد بهره‌وری اصلاح شده به تولیدکننده برای افزایش تولید ستانده مطلوب و کاهش تولید ستانده نامطلوب اعتبار و اهمیت می‌دهد.

مسأله اصلی و مشکل ترکیب محیط‌زیست در اندازه‌گیری های سنتی بهره‌وری، تخصیص وزن‌هایی به ستانده‌های آلاینده می‌باشد. بر اساس محاسبات جمعی اقتصادی و زیست‌محیطی (سازمان ملل متحد،۱۹۹۳) تعیین وزن و یا هزینه آلاینده‌ها می‌تواند به وسیله روش هزینه تحمیل شده یا هزینه ایجادشده، انجام شود. محاسبات هزینه تحمیل‌شده یا وزن مربوطه بر اساس صدمات زیست‌محیطی معین می‌شود. محاسبات هزینه‌های که امروزه به عنوان هزینه‌های نگهداری یا هزینه‌های جلوگیری شناخته شده‌اند، وزن‌هایی را که بر اساس هزینه‌های نگهداری کیفیت زیست محیطی یا اجتناب از زوال کیفیت زیست محیطی هستند، را مشخص می‌سازند(۲). (بارتلماز[2]، ۱۹۹۸).

در این مطالعه رهیافت هزینه‌های ایجاد شده برای تخصیص وزن‌هایی برای آلودگی در نیروگاه‌های کشور به‌کار گرفته شده‌است. تابع مسافت - تکنولوژی تولید چند ستانده‌ای که ارتباط تکنیکی بین ستانده‌های مطلوب و نامطلوب را تعیین می‌کند- برای اندازه‌گیری بهره‌وری استفاده شده‌است. هر دو توابع مسافت نهاده و ستانده قابلیت بررسی تکنولوژی‌های چند ستانده‌ای را دارند و هر دو آنها تنها نیاز به داده‌های کمی نهاده‌ها و ستانده‌ها دارند. ارزش تابع در هر دو مورد اندازه‌گیری شعاعی از کارایی تکنیکی را فراهم می‌کند. بر اساس مطالعات انجام شده (۳- ۷).(هیلا و ویمن[3]،۲۰۰۰؛ مارتی و کومار[4]،۲۰۰۱؛ آیکن و پاسورکا[5]، ۲۰۰۳؛ مارتی، کومار و پل[6]، ۲۰۰۶؛ واردانیان و نوح[7]، ۲۰۰۶؛ فار، گروسکوپف و وبر[8]،۲۰۰۶ و دریجانی و همکاران،۱۳۸۴) رشد بهره‌وری در هر دو حالت، شرایط افزایش متناسب در ستانده و صرفه‌جویی متناسب در نهاده تعریف و محاسبه می‌گردد. اندازه‌گیری بهره‌وری سنتی بر اساس ستانده، کارایی تکنیکی و تغییرات تکنیکی را در شرایط توسعه متناسب در ستانده در شرایط ثابت بودن بردار نهاده‌ها محاسبه می‌کند. در اندازه‌گیری بر اساس نهاده، کارایی تکنیکی و تغییرات تکنیکی در شرایط صرفه‌جویی متناسب در نهاده ها با ثابت در نظرگرفتن بردار ستانده‌ها محاسبه می‌شود. این دو (روش ستانده و نهاده) که به طور معمول جهت اندازه‌گیری هزینه یا وزن آلودگی استفاده می‌شوند، به ترتیب تفسیری روشن در مورد شرایط افزایش درآمد و صرفه‌جویی هزینه ارائه می‌دهند.

زمانیکه ستانده‌های نامطلوب در محاسبات بهره‌وری وارد می‌شوند، مقیاس‌های سنتی مبنی بر ستانده‌های رشد بهره‌وری دیگر شاخص‌های مناسبی نخواهندبود. این بدین دلیل است که زمانی افزایش متناسب در ستانده‌ها (شامل ستانده های نامطلوب) از نظر اجتماعی سودمند است که منافع افزایش

1- Jaffe et al.
2 - Bartelmus

3 - Hailu & Veeman
4 - Murty & Kumar
5 - Aiken & Pasurka
6 - Murty, Kumar & Paul
7 - Vardanyan & Noh
8 - Fare, Grosskopf & Weber

ستانده‌های مرغوب بر ضررهای ستانده‌های نامطلوب غلبه کند. اندازه‌گیری تغییرات بهره‌وری بر اساس نهاده از طرف دیگر به عنوان یک مقیاس معنی دار از رشد بهره‌وری به کار می‌رود زیراصرفه‌جویی متناسب در نهاده‌ها و یا هزینه‌ها- با ثابت در نظر گرفتن ستانده مطلوب و نامطلوب - یک شاخص روشن از تغییرات در منافع اجتماعی است (یاساوارانگ و کلین[1]، ۱۹۹۴). بنابراین در این مطالعه از روش اندازه‌گیری تغییرات بهره‌وری بر اساس نهاده که از تابع مسافت نهاده به دست می‌آید، استفاده شده‌است.

روش تحقیق

برای یک تکنولوژی تولید با N نهاده جهت تولید M ستانده مطلوب و غیرمطلوب، تابع مسافت نهاده بر اساس دیدگاه شفرد[2](۱۹۵۳ و ۱۹۷۰) و فار و پریمونت[3](۱۹۹۵) به صورت زیر زیر تعریف می شود.

$$D(u,x,t)=\sup_{\theta}\{\theta:(u,\frac{x}{\theta})\in Y(t),\theta\in R_{+}\} \quad (۱)$$

که در آن x و u به ترتیب بردارهای نهاده و ستانده، t متغیر روند زمانی است. و $Y(t)$ تکنولوژی تولید (امکانات تولید) در زمان t است.

به عبارت دیگر ارزش تابع مسافت نهاده مقدار ماکزیممی را اندازه می‌گیرد که بردار نهاده می‌تواند با ثابت درنظرگرفتن بردار ستانده اندازه‌گیری نماید. این ارزش کاهش متناسب کمینه بردار نهاده را برای رسیدن به یک بردار ستانده، به یک مرز مشخص تعریف می‌کند.

با این تعریف، تابع مسافت نهاده در شاخص مالم‌کوئیست معکوس مقادیر کارایی فارل (۱۹۵۷) می‌باشد.

$$TE_x(u,x,t)=\frac{1}{D(u,x,t)} \quad (۲)$$

به عبارت دیگر $(1-TE_x)$ تناسبی را اندازه‌گیری می‌کند که در آن هزینه باید با افزایش کارایی تکنیکی، هزینه (بدون کاهش ستانده) کاهش یابد. ارزش بزرگتر از یک در مورد این تابع نشان می‌دهد که بردار نهاده-ستانده از نظرتکنیکی غیرکارا است. وقتی که تولیدکننده در مرز کارایی تکنیکی عمل می‌کند یا روی منحنی مقدار همسان است، تابع مسافت نهاده به ارزشی برابر یک می‌رسد.

تابع مسافت نهاده مشخصات زیر را دارد. یک ارزش متناهی برای $u\in R_{+}^{M}$ دارد غیر افزایشی و تابعی پیوسته از x برای $u\geq 0$ است و نیز مقعر و همگن از درجه ۱ در x است، همچنین یک تابع شبه مقعر و نیمه پیوسته فوقانی از u است. درصورتیکه نهاده ها کاملاً آزاد هستند، تابع مسافت نهاده، یکسری مشخصات کامل از نهاده را فراهم می کند (شفرد، ۱۹۷۰ و فار و پریمونت، ۱۹۹۵).

اندازه گیری تغییرات بهره وری بر اساس نهاده

سابقاً پذیرش تکنولوژی جهت تشخیص اینکه فعالیت های کنترل آلودگی هزینه بر است، مشخص شده است. اندازه‌گیری تغییرات تکنیکی نهاده‌ای حساس زیست‌محیطی[4] به تغییرات در ستانده‌های نامطلوب حساس بوده و به صورت استفاده صحیح از منابع به منظور کنترل آلودگی درنظر گرفته می‌شود. از آنجایی که اندازه‌گیری بر اساس نهاده بر مبنای صرفه‌جویی نهاده است که در صورت ثابت درنظرگرفتن ستانده‌ها (مطلوب و نامطلوب) به‌دست می‌آید، اندازه‌گیری نهاده‌ای حساس زیست‌محیطی به تولیدکننده نه فقط جهت استفاده نهاده برای افزایش تولید ستانده‌های بازاری بلکه همچنین برای نهاده‌های استفاده شده به منظور کنترل آلودگی اعتبار و اهمیت می‌دهد. این مسأله می‌تواند با وضوح بیشتر با استفاده از ارتباط بین تغییرات تکنیکی بر اساس نهاده و اندازه‌گیری کارایی برای تغییر در ستانده‌های مطلوب و نامطلوب که در بالا توضیح داده شد، با استفاده از روابط ۲ و۵ توضیح داده‌شود.

اندازه‌گیری تغییرات تکنیکی بر اساس نهاده به صورت نرخی که نهاده‌ها در طول زمان با ثابت درنظرگرفتن ستانده‌ها کاهش یابند، تعریف می‌شود. این نرخ برابر است با:

1 - Yaisawarng & Klein
2 - Shephard
3 - Fare & Primont

4 - environmentally sensitive input-based measures of productivity change

$$TC_x(u,x,t)=\frac{\partial \ln \zeta}{\partial t}\Big|_{D(u,x/\zeta,t)=\zeta=1} \qquad (۳)$$

که در آن ζ مقداری است که کاهش متناسب چند جانبه را در بردار نهاده x نشان می‌دهد. مشتق تابع مسافت با توجه به زمان به‌صورت زیر است.

$$TC_x(u,x,t)=\frac{\partial D(u,x,t)}{\partial t} \qquad (۴)$$

اندازه‌گیری تغییرات تکنیکی بر ستانده‌های مطلوب و نامطلوب تأثیر دارد و این تأثیر نامتقارن است. برای آشکار شدن این عدم تقارن مشتق کلی تابع مسافت نهاده $D(u,x,t)=1$ نسبت به متغیر زمان محاسبه می‌شود. البته باید این موضوع را درنظر گرفت که تابع مسافت نهاده در مورد ستانده مطلوب غیرافزایشی، (به عنوان مثال $\partial D(.)/\partial u_j \le 0$ برای ستانده مطلوب u_j) و در مورد ستانده نامطلوب غیرکاهشی، (به عنوان مثال $\partial D(.)/\partial u_i \ge 0$ برای ستانده نامطلوب u_i) و در نهاده‌ها نیز غیرکاهشی است، ($\partial D(.)/\partial x_n \ge 0$ برای همه نهاده‌ها x_n).

$$TC_x=\frac{\partial D(u,x,t)}{\partial t}=\sum_j\left|\frac{\partial D(.)}{\partial u_j}\right|.\frac{du_j}{dt} -\sum_i\left|\frac{\partial D(.)}{\partial u_i}\right|\frac{du_i}{dt}-\sum_n\left|\frac{\partial D(.)}{\partial x_n}\right|.\left(\frac{dx_n}{dt}\right) \qquad (۵)$$

رابطه ۵ نشان می‌دهد که TC_x تغییرات در نهاده‌ها (به عنوان مثال آخرین قسمت در سمت راست) را که به وسیله تغییرات در ستانده‌های مطلوب (قسمت اول) و نیز تغییرات در ستانده‌های نامطلوب (قسمت دوم) محاسبه نشده‌است، اندازه گیری می‌کند. قسمت اول در رابطه ۵ صرفه‌جویی در نهاده‌ها را که درصورت عدم تغییر در ستانده‌های مطلوب می‌تواند اتفاق افتد، اندازه گیری می‌کند و قسمت دوم به طور مشابه صرفه جویی در نهاده را که درصورت عدم تغییر در ستانده‌های نامطلوب اتفاق می‌افتد، اندازه‌گیری می‌کند. TC_x دارای ارتباط مثبت با تغییرات در ستانده‌های مطلوب و دارای ارتباط منفی با تغییرات در ستانده‌های نامطلوب است. اگر تولیدکننده در حال کاهش تولید ستانده‌های نامطلوب در طی زمان باشد، قسمت دوم در رابطه ۵ مثبت است. بنابراین اندازه گیری تغییرات تکنیکی نهاده‌ای حساس زیست محیطی استفاده شده در این مطالعه به تولیدکننده برای افزایش در ستانده‌های مطلوب و برای کاهش در ستانده‌های نامطلوب اعتبار و اهمیت می‌دهد.

همچنین می‌توان دید که اندازه‌گیری کارایی تکنیکی نهاده‌ای زیست محیطی(TE_x) که در رابطه ۲ تعریف شده‌است، مانند معکوس تابع مسافت نهاده به تولیدکننده برای افزایش در ستانده مطلوب (چون $D(u,x,t)$ در ستانده مطلوب غیرافزایشی است) و برای کاهش در ستانده نامطلوب (چون $D(u,x,t)$ درستانده نامطلوب غیرکاهشی است)، اعتبار می‌دهد. بنابراین شاخص مالم‌کوئیست نهاده‌ای به صورت ترکیبی از کارایی تکنیکی و اندازه‌گیری تغییرات تکنیکی در زیر تعریف شده است و همچنین به تولیدکننده برای افزایش در ستانده‌های مطلوب و نیز کاهش در ستانده‌های نامطلوب اعتبار می‌دهد. به طور خلاصه همه اندازه‌گیریها بر اساس نهاده استفاده شده در این مطالعه به طور متناسب به تولیدکننده برای هردوی افزایش در تولید ستانده بازاری (مطلوب) و برای تولیدی که کیفیت محیط‌زیست را از طریق کنترل آلودگی افزایش دهد، اعتبار و اهمیت می‌دهد.

کیو و همکاران[1] (۱۹۸۲)، مفاهیم بهره وری را پیشنهاد کردند که برای اندازه‌گیری رشد بهره‌وری در نتیجه تغییرات تکنولوژیکی و تغییر در درجه کارایی تکنیکی آسان و راحت می‌باشد. برای یک بنگاه در طی دو دوره زمانی t و $t+1$ به ترتیب با بردارهای ستانده – نهاده (u^t,x^t) و (u^{t+1},x^{t+1}) و تکنولوژی های تولید ثابت با توابع مسافت نهاده $D^t(.)$ و $D^{t+1}(.)$ شاخص

1 - Caves et al.

بهره‌وری مالم‌کوئیست بر اساس نهاده برای مقایسه بهره‌وری M میانگین هندسی دو شاخص بهره‌وری مالم کوئیست بر اساس نهاده، که هر یک با تکنولوژی‌های متفاوت تعریف شده‌اند، می‌باشد. چنانچه اندازه شاخص بهره‌وری و اجزای آن کوچکتر از یک باشد، دلالت بر بهبود بهره‌وری و اگر بزرگتر از یک باشد، می‌تواند به صورت زیر تعریف شود.

دلالت بر کاهش بهره‌وری طی دوره مورد مطالعه دارد. شاخص مالم‌کوئیست در رابطه ۶ می‌تواند به اجزای کارایی و تغییرات تکنیکی به صورت رابطه ۷ تجزیه می‌شود.

$$M^{t+1}(x^t, x^{t+1}, u^t, u^{t+1}) = \frac{D^{t+1}(u^{t+1}, x^{t+1})}{D^t(u^t, u^t)} \cdot \left\{ \frac{D^t(u^t, x^t)}{D^{t+1}(u^t, x^t)} \cdot \frac{D^t(u^{t+1}, x^{t+1})}{D^{t+1}(u^{t+1}, x^{t+1})} \right\} \qquad (۷)$$

جزء تغییرات تکنیکی در رابطه ۷ با محاسبه میانگین هندسی انتقال در تکنولوژی که در دو مشاهده به جای یک مشاهده اندازه گیری شده است، به دست می آید.

بدیهی است که شاخص مالم کوئیست شامل تغییرات بهره وری کل عوامل یعنی تغییرات کارایی فنی و تغییرات کارایی تکنولوژیکی یعنی انتقال تابع مرزی بین دو دوره t و $t+1$ می باشد. شاخص مالم کوئیست می تواند از معرفی تکنولوژی غیرپارامتریک مانند تجزیه و تحلیل داده ها (DEA) به عنوان مثال فار و همکاران[1] (۱۹۹۴) و یاساوارانگ و کلین (۱۹۹۴) و یا از طریق تکنولوژی های مشخص پارامتری به عنوان مثال نیشیموزی و پاگ[2] (۱۹۸۲) و پرلمان[3] (۱۹۹۵) محاسبه شود.

محاسبه نرخ رشد شاخص مالم‌کوئیست در رابطه ۷ به صورت زیر انجام شده‌است.

1 - Fare et al.
2 - Nishimuzi & page
3 - Perelman

$$\ln M(x^{t+1},x^{t},u^{t+1},u^{t}) = \left\{\ln D(u^{t},x^{t},t) - \ln D(u^{t+1},x^{t+1},t+1)\right\} \quad (۸)$$
$$+ \left\{TC_x(u^{t+1},x^{t+1},t+1) + TC_x(u^{t},x^{t},t)\right\}/2$$

قسمت اول در براکت‌ها نرخ پیشرفت (توسعه) کارایی تکنولوژیکی را بین دوره t و $t+1$اندازه‌گیری می‌کند. قسمت دوم نرخ برآورد تغییرات تکنیکی را که در طی دوره‌ای که با میانگین‌گیری نرخ رشد تغییرات تکنیکی برای دوره t و $t+1$ به دست آمده‌است، اندازه‌گیری می‌کند. این فرمول توسط نیشیموزی و پاگ (۱۹۸۲) برای تقریب نرخ رشد شاخص مالم کوئیست بر اساس نتایج برآورد آنها برای یک مرز ترانسلوگ قطعی به کار برده شده‌است. پرلمان (۱۹۹۵) از یک فرمول برای محاسبه شاخص مالم‌کوئیست بر اساس نتایج براورد برای یک مرز کاب داگلاس تصادفی استفاده کرده‌است.

در مطالعه حاضر تابع مسافت ترانسلوگ به فرم زیر استفاده شده‌است.

$$\ln D(u,x,t) = \alpha_0 + \sum_{n=1}^{N}\alpha_n \ln x_n + \sum_{m=1}^{M}\beta_m \ln u_m + (0.5)\sum_{n=1}^{N}\sum_{n'=1}^{N}\alpha_{nn'} \ln x_n \ln x_{n'} \quad (۹)$$
$$+ (0.5)\sum_{m=1}^{M}\sum_{m'=1}^{M}\beta_{mm'} \ln u_m \ln u_{m'} + \sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{M}\gamma_{nm} \ln x_n \ln u_m + \alpha_t.t + (0.5).\alpha_{tt'}.t^2$$
$$+ \sum_{n=1}^{N}\alpha_{nt}.t.\ln x_n + \sum_{m=1}^{M}\beta_{mt}.t.\ln u_m$$

که در آن x بردار نهاده‌ها را به صورت زیرنویس ۱،۲،۳ نشان می‌دهد که به ترتیب نیروی کار شاغل، سوخت مصرفی و ظرفیت تولید هستند و U بردار ستانده بنگاه را به صورت ۱،۲،۳ نشان می‌دهد که به ترتیب ستانده مطلوب، تولید برق و ستانده نامطلوب، آلاینده هوا NO_x و SO_x می‌باشند و t متغیر روند زمانی را نشان می‌دهد.

داده های مورد استفاده

داده‌های مورد نیاز در این مطالعه از منابع مختلف جمع آوری شد. داده های مربوط به آلودگی نیروگاه ها از ترازنامه های انرژی کشور و سایر داده های مربوط به تولید و میزان مصرف نهاده ها و نیز قیمت برق از سایت انرژی ایران www.iranenergy.org.ir برای دوره زمانی ۱۳۶۰-۱۳۸۴ جمع آوری گردید. لازم به ذکر است که قیمت برق به صورت ثابت (سال۱۳۷۶) در محاسبات وارد شده است. اطلاعات جدول ۱ برخی آماره‌های توصیفی متغیرهای الگو را نشان می‌دهد.

جدول۱- آمار توصیفی سالیانه متغیرهای تحقیق در نیروگاه‌ها

	ستانده‌ها			نهاده‌ها			قیمت برق (کیلو واتساعت/ریال)
	تولید برق (میلیون‌کیلو وات ساعت)	**آلاینده SO_x (تن)**	**آلاینده NO_x (تن)**	**سوخت مصرفی (میلیاردکیلوکالری)**	**نیروی‌کار (نفر)**	**ظرفیت تولید (مگا وات)**	
میانگین	۷۹۵۳۸	۲۴۹۹۳۸	۱۱۹۶۳۶	۱۷۵۲۹۹	۵۴۴۸۱	۱۸۷۹۷	۵۱
انحراف‌معیار	۴۵۱۸۷	۷۲۸۴۳	۲۹۵۸۶	۱۰۳۹۱۴	۷۳۹۷	۸۲۵۹	۱۰
حداکثر	۱۷۸۰۷۲	۳۹۳۶۹۱	۱۷۲۰۰۴	۳۹۰۱۱۱	۶۹۱۳۹	۳۷۱۵۴	۷۴
حداقل	۲۲۴۰۶	۱۲۶۰۳۶	۶۲۶۷۳	۲۴۱۲۸	۳۷۷۱۵	۹۰۰۶	۲۹

مأخذ: نتایج تحقیق

نتایج و بحث

میانگین سطح کارایی تکنیکی در هر دو مورد با و بدون در نظر گرفتن آلاینده ها تقریباً ۹۸/۸٪ با استفاده از بسته نرم افزاری DEAP2.1 محاسبه گردید. ایـن کارایی بدون احتساب آلاینده ها در سال ۱۳۷۹ در کمترین میزان خود یعنی۹۳/۲٪ بوده‌است و با در نظر گرفتن آلاینده‌ها در سال ۱۳۶۶ در کمترین مقدار خود برابر با ۹۲/۳٪ محاسبه گردیده‌است. البته باید متذکر شد که برآوردهای بالایی از کارایی تکنیکی برای تجزیه و تحلیل‌ها (با و بدون آلاینده ها) با توجه به ماهیت داده‌ها یعنی در نظر گرفتن یک بنگاه در طی دوره‌های زمانی دور از انتظار نمی‌باشد. و اگر به جای آن از داده‌های پانل استفاده می‌شد، سطح کارایی تخمین زده‌شده در بین بنگاه‌ها در یک دوره زمانی نتیجه بهتری را ارائه می‌داد. از آنجایی که کارایی تکنیکی در طی دوره مورد بررسی بالا بوده‌است، رشد بهره‌وری شاخص مالم‌کوئیست به طور عمده تنها اثرات تغییرات تکنولوژیکی را منعکس می‌کند. شایان ذکر است که اندازه شاخص بهره‌وری و اجزای آن بر مبنای حداقل سازی عوامل تولید، چنانچه کوچکتر از یک باشد، دلالت بر بهبود بهره‌وری و اگر بزرگتر از یک باشد، اشاره به کاهش بهره‌وری طی دوره زمانی مورد مطالعه می‌نماید. نرخ رشد شاخص بهره‌وری مالم کوئیست بدون احتساب آلاینده ها برای دوره ۸۴-۶۰ ، ۸/۷٪ در سال بوده است و بیشترین رشد این بهره‌وری در طی دهه ۷۰ برابر با ۱۹/۵٪ بوده‌است. ارزش متوسط شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست برای دوره مورد بررسی برابر با ۱/۰۲۴ برآورد شده‌است. (جدول۲)

با وجود این برآوردهای رشد بهره‌وری زمانیکه آلاینده‌ها به مدل اضافه می‌شوند، به طور قابل توجهی تغییر می‌کنند. متوسط نرخ رشد سالانه شاخص مالم کوئیست برابر با ۱۵/۶٪ می‌باشد. که این برآورد بالاتر از ۸/۷٪ به دست‌آمده بدون احتساب آلاینده‌ها می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که بیشترین رشد بهره‌وری در نیروگاه‌ها در طی دهه ۷۰ اتفاق افتاده‌است (جدول ۳). همچنین ارزش متوسط شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست برابر با ۰/۹۷ بوده (کمتر از یک) که دلالت بر بهبود بهره‌وری در طی زمان دارد. به عبارت دیگر هزینه‌های بیشتری جهت کاهش و یا کنترل آلودگی مصرف شده‌است.

به وضوح می توان تفاوت‌هایی را بین برآوردهای رشد بهره‌وری با و بدون درنظر گرفتن آلاینده‌ها مشاهده کرد. زیرا برآورد با در نظر گرفتن آلاینده‌ها، نسبت به تغییرات در ستانده‌های نامطلوب حساس می‌باشد و به نیروگاه ها برای فعالیت‌های

کاهش آلودگی اعتبار می‌دهد در حالی که در اندازه‌گیری بدون احتساب آلاینده‌ها این مطلب دیده نمی‌شود. همچنین اندازه‌گیری بهره‌وری با احتساب آلاینده‌ها منجر به برآوردهای بالاتری از رشد بهره‌وری می‌شود زیرا به نیروگاه‌ها نه تنها برای تولید برق بلکه همچنین برای حفظ بهتر کیفیت محیط زیست اهمیت می‌دهد. بنابراین محاسبه بهره‌وری با احتساب آلاینده‌ها نتایج بهتری از رشد بهره‌وری را ارائه خواهد داد. مقایسه روند تغییرات شاخص بهره‌وری با و بدون لحاظ آلاینده‌ها نشان می‌دهد که، با درنظر گرفتن آلاینده‌ها محاسبات مربوط به بهره‌وری واقعی‌تر شده و لذا امکان مقایسه شاخص بهره‌وری طی سال‌های مختلف به‌طور مناسب‌تر فراهم می‌گردد. مقایسه شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست دو حالت با و بدون احتساب آلاینده‌ها به‌ترتیب برابر با ۰/۹۷۱ و ۱/۰۲۵ می‌باشد. مقایسه مقادیر شاخص بهره‌وری با و بدون احتساب آلاینده با استفاده از آزمون

جدول ۲- نتایج برآورد کارایی تکنیکی، تغییرات تکنولوژیکی و شاخص بهره وری مالم کوئیست از تجزیه و تحلیل تابع مسافت نهاده بدون در نظر گرفتن آلاینده ها

سال	درجه کارایی تکنیکی	تحولات تکنولوژیکی	شاخص بهره وری مالم کوئیست	نرخ رشد شاخص بهره وری مالم کوئیست
۱۳۶۱	۱	۱/۰۷۶	۱/۰۷۶	
۱۳۶۲	۱	۱/۰۱۴	۱/۰۱۴	-۰/۰۵۸
۱۳۶۳	۰/۹۹۴	۱/۰۰۵	۰/۹۴۹	-۰/۰۶۴
۱۳۶۴	۱	۰/۹۷۹	۰/۹۷۹	۰/۰۳۱
۱۳۶۵	۰/۹۶۵	۱/۰۶۱	۱/۰۲۴	۰/۰۴۶
۱۳۶۶	۰/۹۷۳	۱/۰۴۴	۱/۰۱۶	-۰/۰۰۸
۱۳۶۷	۱	۰/۹۹۷	۰/۹۹۷	-۰/۰۱۸
۱۳۶۸	۰/۹۶۱	۱/۰۱۸	۰/۹۷۸	-۰/۰۱۹
۱۳۶۹	۱	۱/۰۲۵	۱/۰۲۵	۰/۰۴۸
۱۳۷۰	۱	۱/۰۵۱	۱/۰۵۱	۰/۰۲۵
۱۳۷۱	۰/۹۶۳	۱/۰۱	۰/۹۷۳	-۰/۰۷۴
۱۳۷۲	۱	۱/۱۰۲	۱/۱۰۲	۰/۱۳۳
۱۳۷۳	۰/۹۶۵	۱/۰۳۹	۱/۰۰۳	-۰/۰۹۰
۱۳۷۴	۰/۹۸۴	۱/۰۱۸	۱/۰۰۲	-۰/۰۰۱
۱۳۷۵	۱	۱/۰۶۳	۱/۰۶۳	۰/۰۶۱
۱۳۷۶	۱	۲/۰۷۴	۲/۰۴۷	۰/۹۵۱
۱۳۷۷	۰/۹۴۲	۰/۳۴۷	۰/۳۲۳	-۰/۸۴۲
۱۳۷۸	۱	۰/۸۷۵	۰/۸۷۵	۱/۶۷۷
۱۳۷۹	۰/۹۳۲	۱/۱۴۹	۰/۹۷۸	۰/۱۱۷
۱۳۸۰	۰/۹۳۴	۱/۰۴۴	۰/۹۷۵	-۰/۰۰۳

۱۳۸۱	۱	۱/۰۲۷	۱/۰۲۷	۰/۰۵۳
۱۳۸۲	۰/۹۳۶	۱/۰۴۵	۰/۹۷۸	-۰/۰۴۷
۱۳۸۳	۱	۱/۰۴۵	۱/۰۴۵	۰/۰۶۸
۱۳۸۴	۱	۱/۰۶۵	۱/۰۶۵	۰/۰۱۹
میانگین				
۱۳۶۰-۱۳۸۴	۰/۹۷۹	۱/۰۴۴	۱/۰۲۵	۰/۰۸۷
۱۳۶۰-۱۳۶۹	۰/۹۸۲	۱/۰۲۴	۱/۰۰۶	-۰/۰۰۵
۱۳۷۰-۱۳۷۹	۰/۹۷۸	۱/۰۶۳	۱/۰۴۴	۰/۰۱۹۶
۱۳۸۰-۱۳۸۴	۰/۹۷۴	۱/۰۴۵	۱/۰۱۸	۰/۰۱۸

مأخذ: یافته های تحقیق

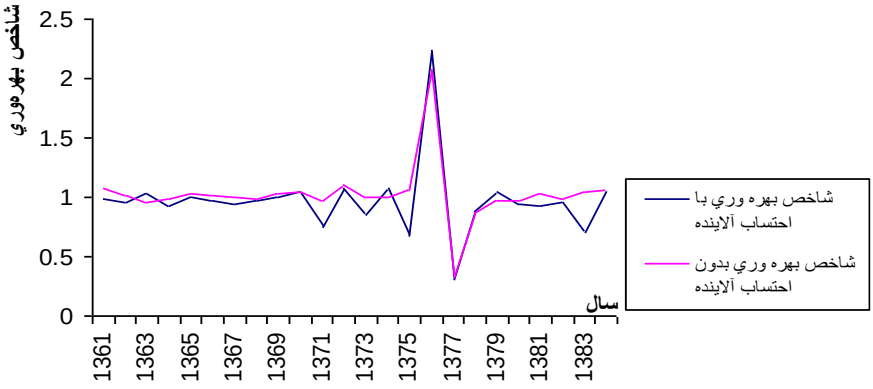
جدول ۳- نتایج برآورد کارایی تکنیکی، تغییرات تکنولوژیکی و شاخص بهره وری مالم کوئیست از تجزیه و تحلیل تابع مسافت نهاده با در نظر گرفتن آلاینده ها

سال	درجه کارایی تکنیکی	تحولات تکنولوژیکی	شاخص بهره وری مالم کوئیست	نرخ رشد شاخص بهره وری مالم کوئیست
۱۳۶۱	۱	۰/۹۸۲	۰/۹۸۲	
۱۳۶۲	۰/۹۳۶	۱/۰۱۹	۰/۹۵۴	-۰/۰۲۹
۱۳۶۳	۱	۱/۰۳۴	۱/۰۳۴	۰/۰۸۴
۱۳۶۴	۱	۰/۹۲۶	۰/۹۲۶	-۰/۱۰۴
۱۳۶۵	۰/۹۴۵	۱/۰۶۱	۱/۰۰۳	۰/۰۸۳
۱۳۶۶	۰/۹۲۳	۱/۰۴۴	۰/۹۶۴	-۰/۰۳۹
۱۳۶۷	۱	۰/۹۴۸	۰/۹۴۸	-۰/۰۱۶
۱۳۶۸	۱	۰/۹۷۳	۰/۹۷۳	۰/۰۲۶
۱۳۶۹	۰/۹۶۱	۱/۰۳۷	۰/۹۹۷	۰/۰۲۴
۱۳۷۰	۰/۹۶۵	۱/۰۷۷	۱/۰۳۹	۰/۰۴۳
۱۳۷۱	۰/۹۶۳	۰/۷۷۲	۰/۷۴۳	-۰/۲۸۵
۱۳۷۲	۱	۱/۰۶۷	۱/۰۶۷	۰/۴۳۵
۱۳۷۳	۰/۹۸۵	۰/۸۶۷	۰/۸۵۴	-۰/۲۰۰
۱۳۷۴	۱	۱/۰۷۶	۱/۰۷۶	۰/۲۶۰
۱۳۷۵	۱	۰/۶۷۵	۰/۶۷۵	-۰/۳۷۳
۱۳۷۶	۰/۹۳۱	۲/۴۰۴	۲/۲۳۸	۲/۳۱۶
۱۳۷۷	۰/۹۵۲	۰/۳۲۱	۰/۳۰۵	-۰/۸۶۳

۱۳۷۸	۰/۹۸۳	۰/۸۹۴	۰/۸۷۸	۱/۸۷۵
۱۳۷۹	۱	۱/۰۴۷	۱/۰۴۷	۰/۱۹۱
۱۳۸۰	۰/۹۴۳	۰/۹۹۶	۰/۹۳۹	-۰/۱۰۳
۱۳۸۱	۱	۰/۹۲۸	۰/۹۲۸	-۰/۰۱۲
۱۳۸۲	۱	۰/۹۶۱	۰/۹۶۱	۰/۰۳۵
۱۳۸۳	۱	۰/۷۱۱	۰/۷۱۱	-۰/۲۶
۱۳۸۴	۱	۱/۰۶۶	۱/۰۶۶	/۴۹۹۰
میانگین				
۱۳۶۰-۱۳۸۴	۰/۹۷۷	۰/۹۹۵	۰/۹۷۱	۰/۱۵۶
۱۳۶۰-۱۳۶۹	۰/۹۷۴	۱/۰۰۲	۰/۹۷۵	۰/۰۰۳
۱۳۷۰-۱۳۷۹	۰/۹۷۸	۱/۰۲	۰/۹۹۲	۰/۳۴۰
۱۳۸۰-۱۳۸۴	۰/۹۸۸	۰/۹۳۲	۰/۹۲۱	۰/۰۳۲

مأخذ: یافته های تحقیق

من‌ویتنی نشان می‌دهد که از نظر آماری اختلاف مذکور معنی‌دار می‌باشد (جدول ۴). دلیل استفاده از آزمون من‌ویتنی آن است که بهره‌وری محاسباتی از روش DEA دارای توزیع نرمال نبوده و لذا لازم است از آزمون‌های غیرپارامتریک استفاده شود. آماره من‌ویتنی نیز یکی از روش‌های مقایسه میانگین غیرپارامتریک است که در نرم‌افزار SPSS تعریف شده‌است. همچنین در نمودار ۱ روند تغییرات شاخص بهره‌وری را با و بدون احتساب آلاینده‌ها را طی زمان نشان می‌دهد.



نمودار۱- مقایسه شاخص بهره‌وری مالم کوئیست با و بدون احتساب آلاینده‌ها

جدول ۴- مقایسه آماری شاخص بهره‌وری مالم کوئیست با و بدون احتساب آلاینده‌ها

	میانگین‌شاخص‌بهره‌وری مالم‌کوئیست	میانگین رتبه‌بندی	آزمون من‌ویتنی	سطح معنی‌داری
با احتساب آلاینده	۰/۹۷۱	۲۰/۶۹	۱۹۶/۵	۰/۰۵۹*
بدون احتساب آلاینده	۱/۰۲۵	۲۸/۳۱		

* معنی‌داری در سطح ۵٪

مأخذ: یافته‌های تحقیق

منابع

۱. دریجانی، ع و همکاران. (۱۳۸۴). برآورد کارایی زیست محیطی با استفاده از تحلیل مرز تصادفی: مطالعه موردی کشتارگاه های دام استان تهران. اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۵۱، ص۱۴۵-۱۱۳.

۲. وزارت نیرو. (۱۳۸۴). ترازنامه انرژی. تهران. شرکت چاپ و نشر بازرگانی، ، معاونت امور انرژی.

3. Aiken, D.V. and C.A. Pasurka Jr. (2003). Adjusting the measurement of US manufacturing productivity for air pollution emissions control. Resource and Energy Economics, 25: 329–351.
4. Bartelmus, P. (1998). The value of nature-valuation and evaluation in environmental accounting. Kluwer Academic Press, Boston. 263-307.
5. Caves, D.W., L. R. Christensen and W. E. Diewert. (1982). The economic theory of index numbers and the measurement of input, output and productivity. Econometrica, 50: 1393-1414.
6. Fare, R., S. Grosskopf., M. Norris, and Z. Zhang. (1994). Productivity growth, technical progress and efficiency change in industrialized countries. Amer. Econom. Rev, 84: 66-83.
7. Fare, R. and D. Primont. (1995). Multi-Output Production and Duality: Theory and Applications. Kluwer Academic, Boston.
8. Fare, R., S. Grosskopf and W.L. Weber. (2006). Shadow prices and pollution costs in U.S. agriculture. Ecological Economics, 56: 89-103.
9. Hailu, A. and T. S.Veeman. (2000). Environmentally Sensitive Productivity Analysis of theCanadian Pulp and Paper Industry, 1959_1994: An Input Distance Function Approach. Journal of Environmental Economics and Management, 40: 251-274.
10. Farrell, M.J. (1975). The measurement of productive efficiency. J. Roy. Statist. Soc, 120: 253-290.
11. Jaffe, A.B., Peterson, S.R., Portney, P.R., Stavins, R.N. (1995). Environmental regulation and the competitivenessof US manufacturing: what does the evidence tell us? Journal of Economic Literature, 33: 132–163.
12. Murty, M. N and S. Kumar. (2001). Environmental and Economic Accounting for Indian Industry. Institute of Economic Growth.Delhi University Enclave.
13. Murty, M. N., S. Kumar. and M. Paul. (2006). Environmental regulation, productive efficiency and cost of pollution abatement: a case study of the sugar industry in India.

Journal of Environmental Management, 79: 1-9.

14. Nishimuzi, M. and J.M. page. (1982). Total factor productivity growth, technical progress and technical efficiency change in Yugoslavia, 1965-78. Econom Journal, 92:920-936.
15. Perelman, S. (1995). R & D, technological progress and efficiency change in industrial activities. Rev. Incom Wealth, 41: 349-366.
16. Shephard, R.W. 1953. Cost and Production Functions. Princeton Univ. Press, Princeton, NJ.
17. Shephard, R.W. (1970). Theory of Cost and Production Function. Princeton Univ. Press, Princeton, NJ.
18. United Nations. (1993). Integrated environmental and economic accounting. Sale No.E.93.XVII.12. United Nations Statistical Division, New Yourk.
19. Vardanyan, M. and D.W. Noh. (2006). Approximating pollution abatement costs via alternative specifications of a multi-output production technology: A case of the US electric utility industry. Journal of Environmental Management, 80: 177-190.
20. Yaisawarng, S. and J.D. Klein. (1994). The effects of sulfur dioxide controls on productivity change in US electric power industry. Review of Economics and Statistics.