

## تعیین قیمت سایه‌ای آلاینده‌های هوا در نیروگاه‌های کشور

عبدالکریم اسماعیلی<sup>۱</sup>  
رباب محسن پور<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۸۹/۸/۱۶

تاریخ دریافت: ۸۷/۳/۲۹

### چکیده

با توجه به اهمیت محیط‌زیست و با توجه به کمبودها در زمینه روش‌های تحلیلی برای سیاست‌گذاری‌های زیست‌محیطی، در این مطالعه به برآورد قیمت‌های سایه‌ای آلاینده‌های هوا در نیروگاه‌های کشور پرداخته شده و محاسبه قیمت‌های سایه‌ای با استفاده از روش تابع مسافت نهاد انجام گرفته است. متوسط قیمت سایه‌ای آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن<sup>۳</sup> و اکسیدهای گوگرد<sup>۴</sup> به ترتیب برابر با ۱۴۹۹۰/۹ و ۱۷۶۸۷/۳ ریال به ازاء هر یک کیلوگرم آلاینده اکسیدهای نیتروژن و اکسیدهای گوگرد منتشرشده به محیط‌زیست به دست آمد.

قیمت سایه‌ای آلاینده‌ها در این مطالعه، بیش از آنچه توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست و بانک جهانی ارائه شده، می‌باشد. لذا پیشنهاد می‌شود که خسارت اخذ شده بر اساس قیمت سایه‌ای آلاینده‌ها تعیین گردد تا خسارت با میزان زیان وارده تطابق داشته باشد.

واژگان کلیدی: قیمت سایه‌ای، آلودگی، نیروگاه‌ها، تابع مسافت نهاد

طبقه‌بندی JEL: Q53, C63, D24

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
رتال جامع علوم انسانی

۱. دانشیار بخش اقتصاد کشاورزی دانشگاه شیراز

۲. کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی دانشگاه شیراز

3. NOx

4. SOx

## ۱. مقدمه

با توجه به اهمیت محیط‌زیست و با توجه به کمبودهایی که در رابطه با روشهای تحلیلی برای سیاست‌گذاری زیست‌محیطی وجود دارد، ارائه الگوهایی جهت بررسی ارتباط بین فعالیت‌های اقتصادی و زیست‌محیطی امری لازم و ضروری به نظر می‌رسد (آسافو- آجایی، ۱۳۷۹).

امروزه زندگی بشر بدون برق غیرقابل تصور می‌باشد. این انرژی در تمام عرصه‌های زندگی مادی بشر اثر مستقیم و یا غیرمستقیم بسزایی داشته‌است. گزینه‌های متنوعی جهت تأمین نیاز انرژی الکتریکی وجود دارد که در کشور ما عمدتاً از گازوئیل، گاز و نفت کوره استفاده می‌گردد. همچنین یکی از چالش‌های مهم، پیچیده و چندجانبه در جامعه جهانی، از آلودگی ناشی از کاربرد سوخت‌های فسیلی حاصل می‌گردد. این موارد بر تمامی بخشهای اقتصادی، فعالیت‌های اجتماعی، سلامت جوامع بشری و کره زمین در ابعاد محلی، منطقه‌ای و جهانی تأثیر می‌گذارند. در روند حرکت جهانی به‌سوی توسعه پایدار، توجه به آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از بخش انرژی امری ضروری محسوب می‌شود. در این راستا، توجه به میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای ناشی از بخشهای مختلف اقتصادی به لحاظ اثرات محلی، منطقه‌ای و جهانی از اهمیت بسزایی برخوردار است.

به همین منظور، در این مطالعه، به تعیین قیمت سایه‌ای آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن و اکسیدهای گوگرد نیروگاه‌های کشور پرداخته شده است. نیروگاه‌ها از بین بخش‌های مصرف‌کننده انرژی، دومین رتبه را در مورد تولید هر دو آلاینده اکسیدهای نیتروژن و اکسیدهای گوگرد دارند. به‌طوری که به ترتیب ۱۲/۸ درصد و ۲۰/۹ درصد تولید آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن و اکسیدهای گوگرد توسط نیروگاه‌ها حاصل شده که از نظر سهم آلاینده‌ها در کشور، بعد از بخش حمل و نقل قرار می‌گیرد (ترازنامه انرژی، ۱۳۸۴). همچنین اکسیدهای نیتروژن با شاخص انتشار ۰/۸۶۳ گرم بر کیلو وات ساعت و اکسیدهای گوگرد با شاخص انتشار ۰/۸۱۹ گرم بر کیلو وات ساعت، به ترتیب، دومین و سومین رتبه را در شاخص انتشار آلاینده نیروگاه‌ها بعد از دی‌اکسیدکربن، به خود اختصاص داده‌اند (ترازنامه انرژی، ۱۳۸۴).

بر این اساس، در مطالعه حاضر سعی شده تا با استفاده از مدل‌های آماری- اقتصادی به تعیین هزینه ناشی از آلاینده‌های مذکور در نیروگاه‌های کشور پرداخته شود.

تابع مسافت- تکنولوژی<sup>۱</sup> تولید چند ستانده‌ای که ارتباط تکنیکی بین ستانده‌های مطلوب و نامطلوب را تعیین می‌کند، برای محاسبه قیمت‌های سایه‌ای تولیدکننده آلاینده‌ها استفاده شده‌است

ویمین (Hailu & Veeman, 2000)، (Murty & Kumar, 2001)؛ (Aiken & Pasurka, 2003)؛ (Murty, Kumar & Paul, 2006)؛ (Vardanyan & Noh, 2006)؛ (Fare, Grosskopf & Weber, 2006)؛ و دريجانی و همکاران، ۱۳۸۵). قیمت‌های سایه‌ای، هزینه فرصت لازم برای تولیدکننده‌ای که آلودگی را یک واحد کاهش داده، منعکس می‌کند (Fare & Grosskopf, 1998).

برتری استفاده از تابع مسافت به جای نمایش تابع تولید برای تکنولوژی، این است که به آسانی تولیدات توأم چند محصول را مدل‌سازی می‌کند. چندین مزایا در مورد مدل‌سازی توأم کالای مطلوب و نامطلوب وجود دارد. یک مزیت آن این است که به اطلاعات فعالیت‌های کنترل آلودگی نیاز نبوده و همچنین نیاز به تخمین کمیت آلودگی کاهش یافته و در نتیجه، فعالیت‌ها در جهت کنترل آلودگی نمی‌باشد و به جای آن، هزینه فعالیت‌های کنترل آلودگی به وسیله تولید کاهش یافته کالای مطلوب که در نتیجه تخصیص مجدد نهاده در جهت فعالیت‌های کنترل آلودگی است، محاسبه می‌شود.

مزیت دیگر مدل‌سازی توأم کالاهای مطلوب و نامطلوب، این است که از مشکلات ایجاد شده در نمونه‌گیری برای اندازه‌گیری هزینه‌های ناشی شده از تغییر در فرایند تولید و تکنیک‌های کنترل آلودگی، اجتناب می‌کند. در مدل تولیدات توأم، هماهنگی در مورد فرایند کاهش در یک یا چند آلودگی به صورت خودکار مربوط به تکنولوژی، تولید می‌شود.

توابع کنترل آلودگی نیاز به اطلاعاتی در مورد هماهنگی موجود بین فرایند کنترل آلودگی‌های گوناگون دارند و در نهایت روش تابع مسافت قیمت‌های سایه‌ای، تولیدکننده را بر اساس رفتار واقعی تولیدکننده‌ها و نه بر اساس برآوردهای مهندسی، تخمین می‌زند (Coelli, 2000). در این مطالعه، برای اندازه‌گیری قیمت سایه‌ای از تابع مسافت نهاده به دلیل توانایی آن در جهت دادن اعتبار به تولیدکننده برای فعالیت‌های کنترل آلودگی، زمانی که ستانده‌های نامطلوب در تجزیه و تحلیل وارد می‌شوند، استفاده شده است.

### روش تحقیق

برای یک تکنولوژی تولید با  $N$  نهاده جهت تولید  $M$  ستانده مطلوب و غیرمطلوب، تابع مسافت نهاده بر اساس دیدگاه شفرد (Shephard, 1953 & 1970) و فار و پریمونت (Fare & Primont) به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود.

$$D(u, x, t) = \sup_{\theta} \{ \theta : (u, \frac{x}{\theta}) \in Y(t), \theta \in R_+ \} \quad (1)$$

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

به عبارت دیگر، ارزش تابع مسافت نهاده، مقدار حداکثری (ماکزیمم) را اندازه می‌گیرد که بردار نهاده، می‌تواند با ثابت در نظر گرفتن بردار ستانده، اندازه‌گیری شود. این ارزش کاهش متناسب کمینه بردار نهاده را برای رسیدن به یک بردار ستانده، به یک مرز مشخص تعریف می‌کند. تابع مسافت نهاده، یک ارزش متناهی برای  $u \geq 0$  دارد، غیر افزایشی و تابعی پیوسته از  $x$  برای  $u \in R_+^M$  بوده و مقعر و همگن از درجه ۱ در  $x$  است، همچنین یک تابع شبه مقعر و نیمه پیوسته فوقانی از  $u$  است. در صورتی که نهاده‌ها کاملاً آزاد باشند، تابع مسافت نهاده، یک سری مشخصات کامل از نهاده را فراهم می‌کند (Shephard, 1970, Fare & Primont, 1995). همچنین می‌توان مشخصات مشتق تابع فاصله‌ای نهاده را با توجه به ستانده‌های مطلوب و نامطلوب تشخیص داد. اگر نهاده‌ها به صورت ثابت در نظر گرفته شوند، یا از طریق استفاده از نهاده‌های اضافی جهت کنترل آلودگی، سطح ستانده‌های مطلوب حفظ شود، ستانده‌های نامطلوب می‌توانند در مخارج (هزینه‌های) ستانده‌های مطلوب کاهش یابند. از آنجا که ارزش تابع مسافت ماکزیمم تناسبی را که همه نهاده‌ها می‌توانند به طور متناسب با ثابت در نظر گرفتن ستانده کاهش یابند، اندازه‌گیری می‌کند، تابع مسافت نهاده باید غیر کاهش‌ی در نهاده‌ها و نیز غیرافزایشی در محصولات مطلوب باشد.

از طرف دیگر، کاهش در ستانده‌های نامطلوب، نیاز به استفاده نهاده‌هایی برای کنترل آلودگی دارد، در حالی که ستانده‌های دیگر، ثابت باقی می‌مانند. بنابراین، تابع مسافت نهاده باید در مورد ستانده‌های نامطلوب غیرکاهش‌ی باشد. این شرط یکنواختی از طریق محدودیت‌هایی در علامات مشتق تحمیل شده در برآورد پارامترها برای تابع مسافت نهاده که در قسمت برآورد پارامترها ارائه گردیده، انجام شده است.

همچنین قابلیت حذف ضعیف ستانده‌ها برای مدل، نگاه داشته می‌شود. قابلیت حذف ضعیف، معادل با این باور است که اگر  $x$  بتواند  $u$  را تولید کند، پس  $x$  می‌تواند یک درجه پایین‌تر محصول  $u$  را نیز تولید کند. در غیاب ستانده‌های نامطلوب، قابلیت حذف ضعیف، یک فرض قابل اغماض است زیرا ستانده‌های مطلوب به راحتی قابل حذف هستند. به طور عمومی‌تر، قابلیت حذف ضعیف می‌تواند در شرایط مفاهیم شفرد (Shephard, 1970) از تکنولوژی‌های قابل تقسیم، در نتیجه توانایی جهت انجام تکنولوژی یک جزء  $\theta$  از زمان برای به دست آوردن  $\theta u$  تفسیر شود. با وجود قابلیت حذف ضعیف، یک ستانده ضرورتاً دارای قابلیت حذف آزاد نیست حذف یک ستانده نامطلوب، هزینه‌ای را در شکل یک کاهش متناسب از ستانده مطلوب خواهد داشت.

بنابراین، یک بنگاه مجبور به بالاتر بردن قابلیت حذف ضعیف برای تشخیص کامل تری از تکنولوژی تولید است. این مورد از طریق مشخصات تابع مسافت نهاد که در مورد ستاندهای نامطلوب غیرکاهشی است، جهت رسیدن به این حقیقت که کنترل آلودگی می‌تواند از طریق استفاده از نهاده‌های اضافی با ثابت در نظر گرفتن ستاندهای مطلوب به دست‌آید، انجام شده‌است.

### استخراج قیمت سایه ای آلودگی

رهیافت تابع مسافت، نه تنها نیاز به برآورد ارزش صدمات آلودگی ندارد، بلکه همچنین می‌تواند برای به دست‌آوردن قیمت‌های سایه‌ای آلودگی که هزینه‌های نهایی کنترل آلودگی تولیدکننده را نشان می‌دهد، استفاده شود. برآورد هزینه‌های نهایی کنترل آلودگی برای تجزیه تحلیل‌های بیشتر اقتصادی و برای دیگر سیاست‌های زیست محیطی مفید هستند. این قیمت‌های سایه‌ای تحت فرض رفتاری حداقل (مینیمم) کردن هزینه به دست می‌آید.

تابع مسافت، روشی برای مینیمم کردن این مسأله می‌باشد.

$$C(u, p, t) = \min_x \{ p \cdot x : D(u, x, t) \geq 1, x \in R_+^N \} \quad (2)$$

که در آن  $p \in R_+^N$  بردار قیمت نهاد می‌باشد. معادله (۲) یک ارتباط دوگانه بین تابع مسافت نهاد و ستانده بر اساس رابطه شفر (Shephard, 1953 & 1970) می‌باشد. بر اساس کاربرد مستقیمی از شرط مرتبه اول، نتیجه بهینه کردن مسأله بالا، فرمول قیمت سایه ای رابطه (۳) را نتیجه می‌دهد.

$$\nabla_u C(u, p, t) = -\Lambda(u, p, t) \cdot \nabla_u D(u, x, t) = -C(u, p, t) \cdot \nabla_u D(u, x, t). \quad (3)$$

معادله بالا به طور مستقیم از حل شرایط مرتبه اول معادله (۲) به دست آمده است. زیرا ضریب فزاینده لاگرانژ ( $\Lambda$ ) برابر با ارزش تابع هزینه بهینه شده در این مورد می‌باشد. قیمت سایه ای یک ستانده معین، افزایش در هزینه‌هایی است که مستلزم تولید یک واحد اضافی از ستانده می‌شود. قیمت سایه‌ای برای ستانده‌های آلاینده غیرمثبت خواهد بود و در نتیجه تابع مسافت نهاد در ستانده‌های آلاینده، غیرکاهشی است. اگر قیمت نهاده‌ها موجود نباشد و نتوان به درستی هزینه بهینه تولید را برآورد کرد، می‌توان از رابطه (۴) که از رابطه (۳) به دست آمده است، برای محاسبه نسبت قیمت سایه‌ای ستانده  $i$  به ستانده  $j$  استفاده کرد.

$$\frac{r_i^*}{r_j^*} = \frac{\partial D(u, x, t) / \partial u_i}{\partial D(u, x, t) / \partial u_j} \quad (4)$$

بنابراین، نسبت قیمت‌های سایه ای برابر با نرخ جایگزینی بین دو ستانده می‌باشد. به عبارت دیگر، این نسبت می‌تواند به صورت نرخ نهایی انتقال بین کنترل آلودگی و ستانده مطلوب تفسیر شود. اگر فرض شود که قیمت بازاری  $u_j$  برابر با قیمت سایه‌ای آن باشد، می‌توان قیمت سایه‌ای  $(r_i^*)$  ستانده آلاینده  $u_i$  را در ضوابط پولی به صورت رابطه (۵) درآورد.

$$r_i^* = r_j^* \cdot \frac{\partial D(u, x, t) / \partial u_i}{\partial D(u, x, t) / \partial u_j} \quad (5)$$

از رابطه فوق الذکر برای محاسبه قیمت سایه‌ای آلاینده‌ها  $SO_x$  و  $NO_x$  که در برآورد تابع فاصله نهاده دخیل می‌باشد، استفاده شده است. بدیهی است که نسبت قیمت سایه‌ای ستانده خوب (برق) به قیمت سایه‌ای ستانده بد (آلودگی) توسط شیب تابع فاصله مرزی در ستانده ترکیبی مشاهده شده منعکس می‌شود. همچنین قیمت‌های سایه‌ای، رابطه مبادله بین ستانده‌های مطلوب و نامطلوب را در ترکیب عملی ستانده‌ها نشان می‌دهد. با توجه به آنکه قیمت ستانده نامطلوب به دلیل هزینه‌های تصفیه و بازیافت و یا انهدام آنها و یا به دلیل وضع مالیات بر روی ستانده بد منفی است، هر چه ستانده بد مضرتر و خطرناک‌تر باشد، قدر مطلق  $r_i^*$  بزرگتر خواهد بود. فار و همکاران (Fare et al, 1993) و کوگینز و سوینتون (Coggin & Swinton, 1996) روش مشابهی را برای به دست آوردن قیمت‌های سایه‌ای، با استفاده از توابع مسافت ستانده و تحت شرایط ماکزیمم کردن درآمد، به دست آوردند.

### برآورد پارامترها

روش برنامه‌ریزی برای تخمین پارامترهای تابع مسافت نهاده در رابطه (۶) استفاده شده است. رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی (برنامه ریزی هدف) جهت برآورد پارامترها، اولین بار توسط آیکنر و چو (Aigner & Chu, 1968) استفاده شده است. این روش بر مینیمم کردن مجموع انحرافات ارزش‌های تابعی از مرز ناشناخته تأکید دارد. برنامه‌ریزی هدف، مقیاس‌های آماری از مناسب بودن مدل ارائه نمی‌دهد. با وجود این، از آنجایی که این روش بر اساس روشهای برنامه‌ریزی ریاضی است، روشی است بسیار انعطاف‌پذیر که اجازه می‌دهد علاوه بر تساوی معادلات، محدودیت‌های غیر تساوی را نیز به آسانی در آن وارد کرد. توانایی تحمیل محدودیت‌های غیر تساوی، یکی از مهمترین مباحث این مطالعه است زیرا طرزعمل غیرممتقارن ستانده‌های مطلوب و غیرمطلوب در تعیین تکنولوژی، نیاز به وضعیت محدودیت‌های غیر تساوی ضعیف در علامت مشتق اول تابع فاصله‌ای نهاده دارد.

در این زمینه رهیافت برنامه‌ریزی هدف برای برآورد پارامترها به ما اجازه می‌دهد تا با مهارت، در تعیین اجزاء سیستماتیک تابع، بسیار راحت‌تر نسبت به تکنیک‌های اقتصادسنجی عمل کنیم. رهیافت برنامه‌ریزی خطی جهت برآورد پارامترها در بسیاری از مطالعات اخیر به عنوان مثال: کوگینز و سوینتون، فار و گروسکوپف، آیکن و پاسورکا، واردانیان و نوح و فار و همکاران که در صفحات قبلی مرور گردید استفاده شده‌است.

معمولاً شکل تابعی ترانسلوگ انعطاف‌پذیر برای تابع مسافت نهاده انتخاب می‌گردد.

$$\begin{aligned} \ln D(u, x, t) = & \alpha_0 + \sum_{n=1}^N \alpha_n \ln x_n + \sum_{m=1}^M \beta_m \ln u_m + (0.5) \sum_{n=1}^N \sum_{n'=1}^N \alpha_{nn'} \ln x_n \ln x_{n'} \\ & + (0.5) \sum_{m=1}^M \sum_{m'=1}^M \beta_{mm'} \ln u_m \ln u_{m'} + \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \gamma_{nm} \ln x_n \ln u_m + \alpha_t \cdot t + (0.5) \cdot \alpha_{tt} \cdot t^2 \quad (6) \\ & + \sum_{n=1}^N \alpha_n \cdot t \cdot \ln x_n + \sum_{m=1}^M \beta_m \cdot t \cdot \ln u_m \end{aligned}$$

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.

تلاش اصلی در رهیافت برنامه‌ریزی هدف، برآورد پارامترهایی است که مجموع انحرافات ارزش لگاریتمی تابع فاصله‌ای را از صفر، مینیمم می‌کند. شرایط یکنواختی، همگنی و تقارن به عنوان محدودیت وارد می‌شوند. یک محدودیت اضافی دیگر در مسأله، جهت نشان دادن اینکه باید ارزش تابع مسافت نهاده برابر یا بزرگتر از پیوستگی (اشتراک) برای همه ترکیبات مشاهدات نهاده و ستانده لازم می‌باشد، وارد شده و شکل مسأله بهینه‌سازی به صورت زیر است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی

$$\text{Minimize}_{(\alpha, \beta, \gamma)} \sum_{t=1} \ln D(u, x, t) \quad (LP1)$$

.Subject to the following constraints

$$\ln D(u, x, t) \geq 0 \quad t = 1, \dots, \quad (C1)$$

$$\frac{\partial \ln D(u, x, t)}{\partial x_n} \geq 0, \quad t = 1, \dots, \quad n = 1, \dots, \quad (C2)$$

$$\frac{\partial \ln D(u, x, t)}{\partial u_m} \leq 0, \quad t = 1, \dots, \quad m = 1 \quad (C3)$$

$$\frac{\partial \ln D(u, x, t)}{\partial u_m} \geq 0, \quad t = 1, \dots, \quad m = 2 \quad (C4)$$

$$\sum_{n=1} \alpha_n = 1 \quad (C5a)$$

$$\sum_{n=1} \alpha_{n'm'} = 0, \quad n' = 1 \quad (C5b)$$

$$\sum_{n=1} \gamma_{nm} = 0, \quad m = 1, 2 \quad (C5c)$$

$$\sum_{n=1} \alpha_{nt} = 0, \quad (C5d)$$

$$\alpha_{nm'} = \alpha_{n'n}, \quad n, n' = 1, \dots, \quad (C6a)$$

$$\beta_{mm'} = \beta_{m'm} \quad m, m' = 1, 2 \quad (C6b)$$

سری اول محدودیت‌ها (C1) نشان می‌دهد که باید ارزش تابع مسافت نهاده برآوردشده، بزرگتر یا مساوی یک باشد. به عبارت دیگر، مشاهدات را به کاهش به سمت داخل یا روی مرز تولید می‌راند. سری دوم محدودیت‌ها (C2)، شرایط یکنواختی را که باید تابع مسافت در مورد نهاده‌ها غیرکاهشی باشد، تحمیل می‌کند. سری سوم محدودیت‌ها (C3)، نشان می‌دهد که نیاز است تابع، یک تابع غیرافزایشی از ستانده‌های مطلوب باشد؛ در حالی که محدودیت (C4)، تضمین می‌کند که تابع مسافت نهاده در مورد ستانده‌های نامطلوب غیر کاهشی است. بنابراین، محدودیت‌ها در C3 و C4 برای ترکیب عدم تقارن اساسی بین ستانده‌های مطلوب و نامطلوب برای تعیین تکنولوژی تولید نیاز است، به این صورت که ستانده‌های مطلوب به راحتی قابل حذف هستند اما کنترل آلودگی



هزینه بر است. سری باقیمانده محدودیت ها (C5)، همگنی خطی را در نهاده‌های تابع و (C6)، وضعیت تقارن پارامترها را برای شکل تابعی ترانسلوگ تضمین می‌کند. داده‌های مورد نیاز در این مطالعه از منابع مختلف جمع‌آوری شد. داده‌های مربوط به آلودگی نیروگاه‌ها از ترازنامه‌های انرژی جمهوری اسلامی ایران و سایر داده‌های مربوط به تولید و میزان مصرف نهاده‌ها و نیز قیمت برق از سایت انرژی ایران<sup>۱</sup> برای دوره زمانی ۱۳۸۴-۱۳۶۰ جمع‌آوری گردید. لازم به ذکر است که قیمت برق به صورت ثابت سال ۱۳۷۶ در محاسبات وارد شده است. اطلاعات جدول (۱) برخی آماره‌های توصیفی متغیرهای الگو را نشان می‌دهد.

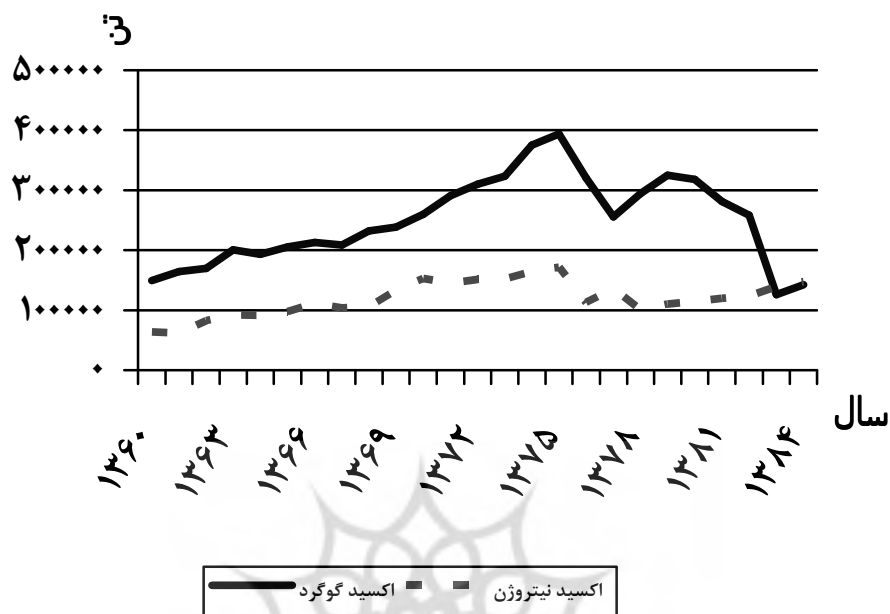
جدول ۱. آمار توصیفی سالیانه متغیرهای تحقیق در نیروگاه‌ها

قیمت برق (کیلووات‌ساعت/ ریال)	نهاده‌ها		ستانده‌ها			
	ظرفیت تولید (مگا وات)	نیروی کار (نفر)	سوخت مصرفی (میلیاردکیلو کالری)	آلاینده NO <sub>x</sub> (تن)	آلاینده SO <sub>x</sub> (تن)	تولید برق (میلیون کیلو وات‌ساعت)
۵۱	۱۸۷۹۷	۵۴۴۸۱	۱۷۵۲۹۹	۱۱۹۶۳۶	۲۴۹۹۳۸	۷۹۵۳۸
۱۰	۸۲۵۹	۷۳۹۷	۱۰۳۹۱۴	۲۹۵۸۶	۷۲۸۴۳	۴۵۱۸۷
۷۴	۳۷۱۵۴	۶۹۱۳۹	۳۹۰۱۱۱	۱۷۲۰۰۴	۳۹۳۶۹۱	۱۷۸۰۷۲
۲۹	۹۰۰۶	۳۷۷۱۵	۲۴۱۲۸	۶۲۶۷۳	۱۲۶۰۳۶	۲۲۴۰۶

مأخذ: نتایج تحقیق

برای بررسی بهتر موضوع، میزان آلودگی گازهای اکسید نیتروژن و گوگرد در نیروگاه‌های کشور طی سالهای مورد بررسی در نمودار (۱) آورده شده است.

نمودار ۱- میزان آلودگی اکسید نیتروژن و اکسید گوگرد نیروگاه‌ها

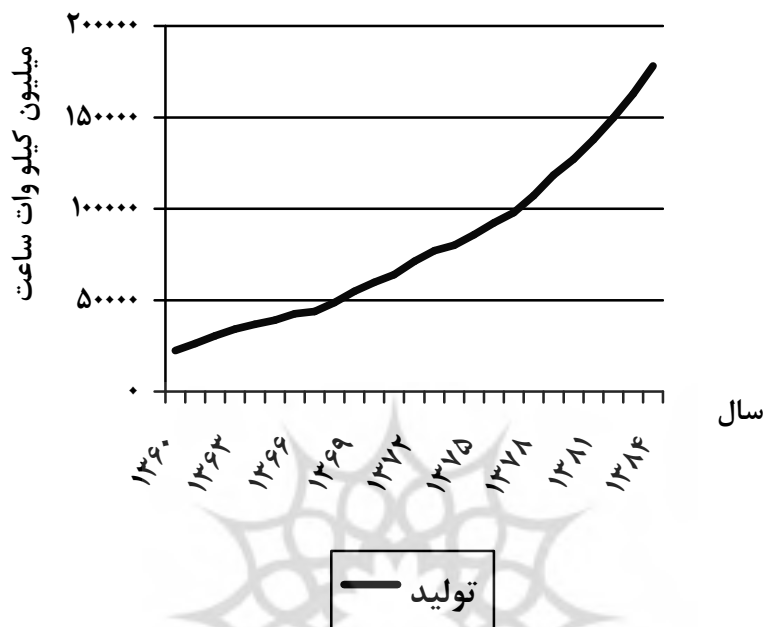


میزان تولید آلاینده‌ها طی سالهای ۶۰ تا ۷۵ افزایش داشته و در این سال به حداکثر میزان خود رسیده است. از سال ۷۵ تا ۷۸ میزان آن کاهش یافته و مجدداً از سال ۷۸ افزایش یافته و این افزایش تا سال ۸۰ ادامه داشته است. مجدداً مقدار آن از سال ۸۱ تا ۸۳ کاهش یافته است. یکی از دلایل این نوسانات را می‌توان در قوانین مربوط به کاهش آلاینده‌ها دانست. در رابطه با میزان تولید برق، همان‌طور که در نمودار (۲) نشان داده شده است میزان تولید برق طی سالهای ۸۴-۱۳۶۰ همواره روند افزایشی داشته و البته ظرفیت نیروگاه‌ها طی سالهای اخیر نیز افزایش یافته است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی

## نمودار ۲- میزان تولید برق نیروگاه های کشور در طی سالهای

۸۴-۱۳۸۰



مقایسه نمودارهای (۱) و (۲) نشان از عدم تناسب آلودگی ایجاد شده با مقدار برق تولیدی در نیروگاه‌های کشور دارد.

## نتایج و بحث

پس از جمع‌آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز، پارامترهای تابع مسافت نهاده، از طریق برنامه‌ریزی خطی برای نیروگاه‌ها و با استفاده از بسته نرم افزاری (GAMS22.3) برآورد گردید که نتایج آن در جدول شماره (۲) گزارش شده است. لازم به توضیح است که این نرم افزار، تحت ویندوز بوده و برای انواع برنامه‌ریزی خطی و غیر خطی کاربرد دارد و در سایت مربوط<sup>۱</sup> قابل دانلود می‌باشد.

1. [www.Gams.com](http://www.Gams.com)

در جدول اخیر  $U_1, U_2$  و  $U_3$  به ترتیب مقدار برق، اکسیدهای نیتروژن و گوگرد تولید شده می‌باشند. همچنین  $X_1, X_2$  و  $X_3$  به ترتیب نیروی کار، سوخت و ظرفیت تولید کارخانه هستند. قیمت‌های سایه‌ای، هزینه نهایی کنترل آلودگی را برای تولیدکننده و البته برای جامعه، اندازه‌گیری می‌کند که در جدول شماره (۳) آورده شده‌است. قیمت‌های سایه‌ای به این صورت تفسیر می‌شود که چنانچه بخواهیم در نیروگاه‌ها انتشار آلودگی اکسیدهای نیتروژن را به میزان یک کیلوگرم کاهش دهیم، این امر مستلزم تولید کمتر ستانده مطلوب و یا افزایش به کارگیری نهاده‌ها در بخش تصفیه آلاینده‌ها به طور متوسط به ارزش  $۱۷۶۸۷/۳$  ریال می‌باشد.

جدول ۲. نتایج برآورد برنامه ریزی خطی تابع ترانسلوگ مرزی مسافت نهاده

متغیر	پارامتر برآوردی	متغیر	پارامتر برآوردی
جزء ثابت	-۴۶/۲۹۴	$.5\text{Ln}X_2\text{Ln}X_3$	-۰/۰۴۱
$\text{Ln}U_1$	۷/۶۷	$\text{Ln}X_1\text{Ln}U_1$	-۰/۰۲۸
$\text{Ln}U_2$	۱/۱۴۲	$\text{Ln}X_1\text{Ln}U_2$	-۰/۲۲۲
$\text{Ln}U_3$	-۰/۷۴۹	$\text{Ln}X_1\text{Ln}U_3$	۰/۲۵
$\text{Ln}X_1$	۰/۴۴۱	$\text{Ln}X_2\text{Ln}U_1$	۰/۰۳۴
$\text{Ln}X_2$	۰/۰۱۸	$\text{Ln}X_2\text{Ln}U_2$	-۰/۰۴۸
$\text{Ln}X_3$	۰/۵۴۲	$\text{Ln}X_2\text{Ln}U_3$	۰/۰۱۵
$.5(\text{Ln}U_1)^2$	-۱/۴۹۸	$\text{Ln}X_3\text{Ln}U_1$	۰/۳۰۲
$.5(\text{Ln}U_2)^2$	۰/۰۵۱	$\text{Ln}X_3\text{Ln}U_2$	-۰/۴۸۷
$.5(\text{Ln}U_3)^2$	-۰/۰۷۹	$\text{Ln}X_3\text{Ln}U_3$	۰/۱۸۵
$.5(\text{Ln}X_1)^2$	-۰/۲۱۶	t	-۰/۵۹۵
$.5(\text{Ln}X_2)^2$	۰/۰۰۲	$.5t^2$	-۰/۰۰۴
$.5(\text{Ln}X_3)^2$	-۰/۱۳۷	$t\text{Ln}X_1$	-۰/۰۰۲
$.5\text{Ln}U_1\text{Ln}U_2$	۰/۵۹۲	$t\text{Ln}X_2$	۰/۰۰۰۳
$.5\text{Ln}U_1\text{Ln}U_3$	-۰/۲۳۶	$t\text{Ln}X_3$	۰/۰۰۱
$.5\text{Ln}U_2\text{Ln}U_3$	-۰/۰۳۴	$t\text{Ln}U_1$	۰/۰۷۱
$.5\text{Ln}X_1\text{Ln}X_2$	۰/۰۳۹	$t\text{Ln}U_2$	-۰/۰۱۵
$.5\text{Ln}X_1\text{Ln}X_3$	۰/۱۷۸	$t\text{Ln}U_3$	۰/۰۰۵

مأخذ: یافته‌های تحقیق

به عبارت دیگر، به منظور انتشار کمتر آلاینده‌ها، یا باید سطح تولید کل کاهش یابد در نتیجه ستانده مطلوب کمتری تولید می‌شود و یا هزینه‌های بیشتری در بخش تصفیه و فیلتر هوا خرج شود. ضمن آنکه، برای کاهش اکسیدهای گوگرد به میزان یک کیلوگرم، هزینه فرصت معادل ۱۴۹۹۰/۹ ریال از کاهش ستانده‌های مطلوب و یا افزایش نهاده‌ها خواهیم داشت.

متوسط قیمت‌های سایه‌ای محاسبه شده طی دوره‌های مورد مطالعه، افزایشی بوده است و هر چه به آخر دوره نزدیکتر می‌شویم، روند افزایشی قیمت سایه‌ای سریع‌تر می‌گردد که این خود شاهدی بر افزایش هزینه‌های کنترل آلودگی در طی زمان می‌باشد.

با توجه به آنکه قیمت ستانده نامطلوب به دلیل هزینه‌های تصفیه، بازیافت و یا انهدام آن و یا به دلیل وضع مالیات بر روی ستانده بد منفی است، هرچه ستانده بد مضرتر و خطرناکتر باشد، قدرمطلق قیمت سایه‌ای بزرگتر خواهد بود که با توجه به نتایج به دست آمده، قیمت سایه‌ای محاسبه شده برای آلودگی ناشی از اکسیدهای گوگرد طی دوره‌های مختلف، عمدتاً بزرگتر از اکسیدهای نیتروژن بوده و در نتیجه آلودگی اکسیدهای گوگرد خطرناک‌تر از اکسیدهای نیتروژن می‌باشد.



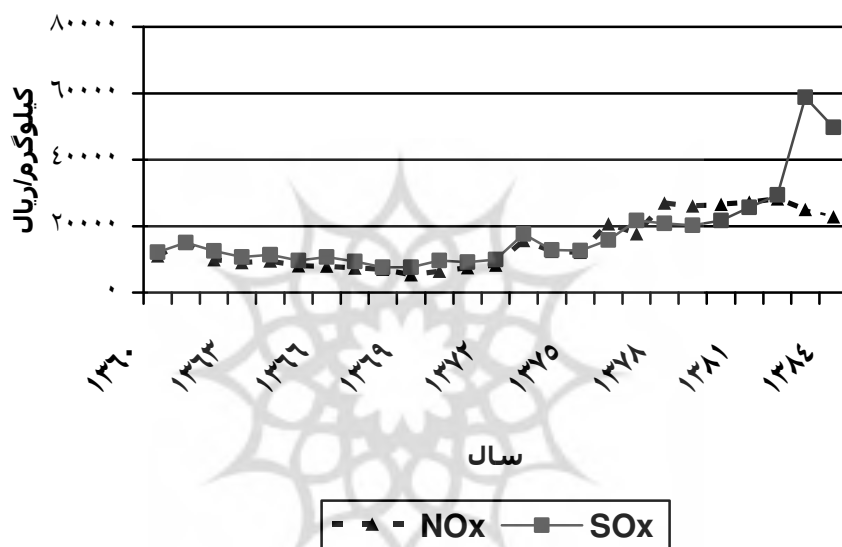
جدول ۳. نتایج برآورد هزینه کنترل آلودگی (قیمت سایه‌ای - کیلو گرم/ریال)

سال	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>
۱۳۶۰	۱۲۰۹۹	۱۱۱۰۹
۱۳۶۱	۱۵۰۳۵	۱۵۲۱۰
۱۳۶۲	۱۲۵۵۲	۹۸۸۸
۱۳۶۳	۱۰۷۰۸	۹۰۱۹
۱۳۶۴	۱۱۳۶۷	۹۵۶۳
۱۳۶۵	۹۶۶۴	۸۰۹۰
۱۳۶۶	۱۰۶۸۱	۷۹۹۷
۱۳۶۷	۹۳۳۲	۷۴۵۷
۱۳۶۸	۷۶۶۲	۶۹۹۲
۱۳۶۹	۷۵۸۵	۵۴۴۵
۱۳۷۰	۹۶۲۷	۶۴۹۱
۱۳۷۱	۹۲۰۰	۷۴۹۸
۱۳۷۲	۹۹۰۴	۸۲۷۳
۱۳۷۳	۱۷۶۳۳	۱۵۷۱۹
۱۳۷۴	۱۲۸۵۴	۱۲۴۳۳
۱۳۷۵	۱۲۶۷۱	۱۲۱۷۳
۱۳۷۶	۱۵۷۷۵	۲۰۷۱۱
۱۳۷۷	۲۱۶۹۶	۱۷۷۱۳
۱۳۷۸	۲۰۸۳۱	۲۶۹۸۹
۱۳۷۹	۲۰۲۸۶	۲۶۰۷۹
۱۳۸۰	۲۱۶۶۴	۲۶۵۶۲
۱۳۸۱	۲۵۶۴۷	۲۷۲۴۳
۱۳۸۲	۲۹۳۸۳	۲۸۲۰۷
۱۳۸۳	۵۸۷۷۳	۲۵۱۰۳
۱۳۸۴	۴۹۷۳۸	۲۲۸۶۷
میانگین		
۱۳۶۰-۱۳۸۴	۱۷۶۸۷/۳	۱۴۹۹۰/۹
۱۳۶۰-۱۳۶۹	۱۰۶۶۸/۹	۹۰۷۰۵/۹
۱۳۷۰-۱۳۷۹	۱۵۰۴۸/۱	۱۵۴۰۸/۴
۱۳۸۰-۱۳۸۴	۳۷۰۰۲/۳	۲۵۹۹۶/۹

مأخذ: یافته‌های تحقیق

روند تغییر قیمت‌های سایه‌ای این دو آلاینده را می‌توان در نمودار (۳) مشاهده کرد. افزایش شدید روند هزینه آلاینده‌ها اگرچه از یک طرف می‌تواند نشان دهنده افزایش مقدار آلاینده‌ها ناشی از افزایش تولید باشد، اما از طرف دیگر، نشان دهنده فراتر رفتن مقدار آلودگی از حد توان جذب محیط می‌باشد. به عبارت دیگر وقتی آلودگی از توان جذب محیطی بیشتر باشد، خسارت آن شدیدتر ظاهر می‌گردد.

### نمودار ۳. مقایسه روند قیمت سایه‌ای دو آلاینده هوا در نیروگاه‌های کشور



نتایج به دست آمده منطبق با هزینه‌های تخریب در مورد این دو آلاینده بر اساس مطالعات بانک جهانی و سازمان محیط زیست می‌باشد. به عبارت دیگر، هر چه هزینه تخریب بالاتر باشد، یعنی اثرات تخریب‌کنندگی یا سوء یک آلاینده یا فعالیت بر محیط زیست بیشتر است. هزینه مذکور بر اساس مطالعه بانک جهانی و سازمان محیط‌زیست برای نیروگاه‌ها در مورد آلاینده ناکس ( $NO_x$ ) و ساکس ( $SO_x$ ) برای سال ۱۳۸۴ به ترتیب ۷۰۹ و ۲۰۴۷ میلیارد ریال و متوسط هزینه تخریب به ازاء هر یک کیلوگرم آلاینده‌های دی‌اکسیدهای نیتروژن و دی‌اکسیدهای گوگرد، به ترتیب ۴۷۸۳ و ۱۴۶۳۰ ریال بوده است. لازم به ذکر است که هزینه‌های تخریب محاسباتی کمتر از

قیمت‌های سایه‌ای آلاینده‌ها در مطالعه حاضر یعنی ۱۴۹۹۱ برای هر کیلوگرم  $\text{NO}_x$  و ۱۷۶۸۷ ریال برای هر کیلوگرم  $\text{SO}_x$  می‌باشد. بنابراین، پیشنهاد می‌گردد تا با توجه به اینکه قابلیت جذب آلاینده‌ها توسط محیط‌زیست محدود است، در محاسبات آتی هزینه تخریب، قیمت سایه‌ای آلودگی‌ها که نشان‌دهنده هزینه واقعی اجتماعی آلاینده‌ها است، مدنظر قرار گیرد. همچنین خسارت‌ها بر اساس قیمت سایه‌ای آلاینده‌ها تعیین شود که خسارت با میزان زیان وارده تطابق داشته باشد. به عبارت دیگر، مقادیر انتشار آلاینده‌ها را محاسبه کرده و ضمن در نظر گرفتن حد مجاز انتشار آلاینده‌ها و قیمت‌های سایه‌ای، بر اساس طرحی قانونمند، نسبت به استرداد هزینه‌های زیست‌محیطی اقدام گردد. البته انجام این کارها مستلزم مطالعات بیشتر و مدیریت اجرایی توانمند می‌باشد.

### جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در روند حرکت جهانی به‌سوی توسعه پایدار توجه به آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از بخش‌های مختلف اقتصادی، امری ضروری محسوب می‌شود. در این راستا، توجه به میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای ناشی از بخش‌های مختلف اقتصادی به لحاظ اثرات محلی، منطقه‌ای و جهانی از اهمیت بسزایی برخوردار است. به همین منظور در این مطالعه به تعیین قیمت سایه‌ای آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن و اکسیدهای گوگرد نیروگاه‌های کشور پرداخته شده است. پس از جمع‌آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز، پارامترهای تابع مسافت نهاد، از طریق برنامه‌ریزی خطی برای نیروگاه‌ها و با استفاده از بسته نرم افزاری (GAMS22.3) برآورد گردیده است. قیمت‌های سایه‌ای، هزینه نهایی کنترل آلودگی را برای تولیدکننده و البته برای جامعه اندازه‌گیری می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که متوسط قیمت‌های سایه‌ای محاسبه شده طی دوره‌های مورد مطالعه افزایشی بوده‌است و هر چه به آخر دوره نزدیک‌تر می‌شویم، روند افزایشی قیمت سایه‌ای سریع‌تر می‌گردد که این خود شاهدی بر افزایش هزینه‌های کنترل آلودگی در طی زمان می‌باشد. متوسط قیمت سایه‌ای آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن و اکسیدهای گوگرد، به ترتیب برابر با ۱۴۹۹۰/۹ و ۱۷۶۸۷/۳ ریال به ازاء هر یک کیلوگرم آلاینده اکسیدهای نیتروژن و اکسیدهای گوگرد منتشرشده به محیط‌زیست، به‌دست آمد. قیمت سایه‌ای محاسبه شده برای آلودگی ناشی از اکسیدهای گوگرد طی دوره‌های مختلف، عمدتاً بزرگتر از اکسیدهای نیتروژن بوده و در نتیجه آلودگی اکسیدهای گوگرد خطرناک‌تر از اکسیدهای نیتروژن می‌باشد. قیمت سایه‌ای آلاینده‌ها در این مطالعه، بیش از آنچه توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست و بانک جهانی ارائه شده، به دست آمد. لذا پیشنهاد می‌شود که خسارت اخذ شده بر اساس قیمت سایه‌ای آلاینده‌ها تعیین گردد تا خسارت با میزان زیان وارده، تطابق داشته‌باشد.



## منابع و مأخذ

- آسافو- آجایی، ج (۱۳۷۹) اقتصاد محیط زیست برای غیر اقتصاددانان؛ ترجمه س. دهقانپان و ز. فرج زاده؛ انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد..
- دریجانی، ع. و همکاران (۱۳۸۵) استخراج قیمت های سایه ای آلاینده های زیست محیطی: کاربرد تابع تصادفی فاصله ستانده؛ مجله علوم و صنایع کشاورزی، (۳) ۲۰، صص ۱۷۶-۱۶۵.
- شرکت چاپ و نشر بازرگانی، ترازنامه انرژی، وزارت نیرو، معاونت امور انرژی، سالهای مختلف.
- Aigner, D.J. and Chu, S. F. (1968) On estimating the industry production function; *Amer. Econ. Rev.*, 58: 826-839.
- Aiken, D.V. and Pasurka, C.A. (2003) Adjusting the measurement of US manufacturing productivity for air pollution emissions control; *Resource and Energy Economics*, 25: 329-351.
- Coggins, J. and Swinton, J. (1996) the price of pollution: a dual approach to valuing SO<sub>2</sub> allowance; *Journal of Environmental Economics and Management*, 30: 58-72.
- Coelli, T. (2000) on the econometric estimation of the distance function representation of the production technology; Working Paper, Center of Operations Research and Econometrics (available at <http://www.core.ucl.ac.be/services/psfiles/dp00/dp2000-42.pdf>).
- Fare, R., Grosskopf, C. A. K. Lovell, and S. Yaisawarng (1993) Derivation of shadow prices for undesirable outputs: A distance function approach. *The Review of Economics and Statistics*, 75(2): 374-380.
- Fare, R., Grosskopf, S., Norris, M. and Zhang, Z. (1994) Productivity growth, technical progress and efficiency change in industrialized countries; *Amer. Econom. Rev.*, 84: 66-83.
- Fare, R. and Primont, D. (1995) *Multi-Output Production and Duality: Theory and Applications*; Kluwer Academic, Boston.
- Fare, R. and Grosskopf, S. (1998) Shadow pricing of good and bad commodities; *American Journal of Agricultural Economics*, 80: 584-590.
- Fare, R., Grosskopf, S. and Weber, W.L. (2006) Shadow prices and pollution costs in U.S. agriculture; *Ecological Economics*, 56: 89-103.
- Hailu, A. and Veeman, T. S. (2000) Environmentally Sensitive Productivity Analysis of the Canadian Pulp and Paper Industry, 1959-1994: An Input Distance Function Approach; *Journal of Environmental Economics and Management*, 40: 251-274.
- Murty, M.N and Kumar, S. (2001) *Environmental and Economic Accounting for Indian Industry*. Institute of Economic Growth. Delhi University Enclave.

- Murty, M.N, Kumar, S. and Paul, M. (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.
- Shephard, R.W. (1953) *Cost and Production Functions*. Princeton Univ. Press, Princeton, NJ.
- Shephard, R.W. (1970) *Theory of Cost and Production Function*; Princeton Univ. Press, Princeton, NJ.
- United Nations. (1993) *Integrated environmental and economic accounting*. Sale No.E.93.XVII.12. United Nations Statistical Division, New York.
- Vardanyan, M. and Noh, D.W. (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.

