

بررسی اثرات القایی قیمت انرژی بر روی تغییرات فناوری کارگاه‌های صنعتی ایران و ارزیابی آثار محیط زیستی

زین‌العابدین صادقی^{*۱}

شهرام گلستانی^۲

احسان پورباقرانی^۳

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱/۳۱

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۲۸

چکیده

انرژی یکی از عوامل اصلی تولید و یکی از مؤلفه‌های موثر بر رشد و توسعه اقتصادی کشورهاست. به علت کمیابی منابع انرژی و عدم تجدید پذیری بسیاری از آن‌ها، انسان‌ها علاوه بر این که به طور مستمر به دنبال منابع جدید انرژی می‌باشند، همواره به دنبال راهکارهایی بوده‌اند تا از طریق افزایش کارایی، مصرف انرژی را کاهش دهند تا بدین گونه توسعه پایدار حاصل گردد و منافع نسل‌های آتی نیز تأمین شود. از این رو در این مطالعه به بررسی اثر القایی قیمت انرژی بر روی تغییر فناوری و میزان انتشار آلودگی در صنایع ایران پرداخته شده است. جامعه آماری مورد نظر شامل ۲۱ صنعت (کد isic دو رقمی) طی دوره زمانی ۱۳۷۴-۱۳۸۶ می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از تابع فاصله‌ی جهت‌دار مدل مورد نظر تصریح و با استفاده از شاخص تغییر بهره‌وری (PCH)، اثر تغییر قیمت انرژی بر میزان تغییر فناوری و آلودگی بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهند که بین قیمت‌های نسبی انرژی و تغییرات فناوری در ایران طی دوره‌ی مورد مطالعه رابطه مشخصی وجود ندارد و همچنین بین قیمت‌های نسبی انرژی و انتشار آلودگی نیز در طی دوره‌ی مورد مطالعه رابطه‌ی مستقیم وجود دارد.

کلیدواژه‌ها: اثر القایی قیمت انرژی، تابع فاصله جهت‌دار، شاخص تغییر بهره‌وری (PCH)

طبقه‌بندی JEL: Q55, L16, D24, O3

Email: abed_sadeghi@yahoo.com

Email: shahram_golestani@yahoo.com

Email: ehsan_bafrani65@yahoo.com

۱. استادیار دانشکده اقتصاد دانشگاه شهید باهنر کرمان (*نویسنده مسئول)

۲. استادیار دانشکده اقتصاد دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده اقتصاد دانشگاه شهید باهنر کرمان

مقدمه

کامبود منابع انرژی و عدم تجدیدپذیری آن‌ها، یکی از مسائل و دغدغه‌های ذهنی دولت‌ها علی‌الخصوص در طول نیم قرن اخیر بوده است. از این رو دولت‌ها همیشه به دنبال راهکارهایی برای کاهش مصرف انرژی بوده تا بتوانند از یک سو منابع انرژی را از خطر تمام شدن در کوتاه‌مدت در امان نگه دارند و از سوی دیگر بتوانند منافع نسل‌های آتی را نیز تأمین کنند. دو راهکار اصلی برای این امر وجود دارد، یکی راهکار قیمتی و دیگری راهکار غیرقیمتی و استفاده از فناوری‌های صرفه‌جویی‌کننده مصرف انرژی است، به طوری که بهبود فناوری می‌تواند در راستای صرفه‌جویی در مصرف انرژی عمل نماید. بهبود فناوری از یک سو منجر به رشد اقتصادی شده و به این شکل منجر به افزایش مصرف انرژی می‌شود. ولی از سوی دیگر بهبود فناوری منجر به کاهش رشد مصرف انرژی می‌شود، چون با بهبود فناوری ابزارها و تکنیک‌های جدیدی حاصل می‌شود که این ابزارها و تکنیک‌ها به انرژی کمتری جهت تولید نیاز دارند. با توجه به اهمیت و جایگاه ویژه بخش صنعت در فرایند رشد و توسعه کشور های در حال توسعه از جمله ایران، مصرف انرژی به عنوان یکی از عوامل تولید در بخش صنعت و به تبع آن، میزان مواد آلاینده حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی نیز به شدت افزایش یافته است. به همین دلایل آثار و پیامدهای آن به صورت انواع آلودگی به ویژه آلودگی هوا و کاهش کیفیت محیط زیست در بسیاری از مناطق کشور از جمله مناطق شهری و صنعتی هویدا شده که این مسئله باعث شده است تا تعدادی از شهرهای کشور از جمله تهران در زمره آلوده‌ترین شهرهای جهان قلمداد گردد.

قبول سیستم مدیریت محیط زیست (EMS)^۱ ممکن است باعث شود که بنگاه‌ها استراتژی‌هایی را برای کاهش ضایعات و کنترل هزینه‌های آلودگی به کار گیرند که این استراتژی‌ها شامل دوباره طراحی کردن فرآیند تولید به منظور کاهش آلودگی منابع، جانشین‌سازی نهاده‌هایی که آلودگی کمتری ایجاد می‌کنند، بازیافت کردن به وسیله تولید مجدد و استفاده دوباره از ضایعات برای تولید محصولات مفید هستند. برخی از فعالیت‌ها باعث می‌شود که بنگاه‌ها از نهاده‌ها استفاده کمتری بکنند، کارایی را افزایش دهند و هزینه کنترل آلودگی را کاهش دهند و از فناوری‌های جدید برای اصلاح فرآیند تولید استفاده کنند (کریسمن ۲۰۰۰).^۲

پیشرفت فناوری از طریق افزایش کارایی، باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود و نقش اساسی در مدیریت مشکلات طولانی مدت تغییرات آب و هوایی و امنیت انرژی ایفا می‌کند. اقتصاددانان

1. Environmental Management Systems
2. Christmann(2000)

غالباً استفاده از ابزار مالیات بر مصرف انرژی را، برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای توصیه می‌کنند. با این حال در بیشتر مدل‌های محیط زیستی تغییر فناوری به عنوان یک متغیر بیرونی لحاظ می‌شود. در این مطالعه با وارد کردن متغیر محیط زیستی مانند دی‌اکسید کربن، ارتباط بین تغییرات قیمت حامل‌های انرژی با نوآوری‌هایی که نه تنها در مصرف انرژی صرفه‌جویی می‌کنند بلکه انتشار گازها را نیز کاهش می‌دهند بررسی می‌شود.

۱- ادبیات موضوع

بسیاری از مطالعات تجربی رابطه‌ی بین قیمت‌های انرژی و نوآوری‌های القایی صرفه‌جویی‌کننده انرژی را مورد مطالعه قرار داده‌اند.^۱ این مطالعه به طور صریح ادبیات مورد مطالعه‌ی قبلی را با وارد کردن متغیرهای محیط زیستی مانند دی‌اکسید کربن مورد بررسی قرار می‌دهد و تلاش می‌کند تا دریابد که چطور تغییرات در قیمت نفت به نوآوری‌های القایی که فقط ذخیره‌کننده انرژی نیستند بلکه کاهش‌دهنده‌ی آلودگی نیز می‌باشند منجر می‌شود. اهمیت ارتباط قیمت‌های نسبی و تغییر فناوری^۲ (TECH) در مطالعه‌ی هیکس (۱۹۳۲) مورد اشاره قرار گرفته، بر طبق دیدگاه او تغییر در قیمت‌های نسبی عوامل تولید، از طریق تشویق نوآوری منجر به صرفه‌جویی در استفاده از عوامل تولیدی که به‌طور نسبی گرانتر شده‌اند، خواهد شد. به‌طور کلی نظریه نوآوری القایی، اثرات قیمت‌های نسبی را بر روی جهت TECH مشخص می‌کند (هایامی و روتان (۱۹۷).^۳

در این قسمت به بررسی مطالعات صورت گرفته در زمینه تابع فاصله مستقیم و سایر مطالعات مرتبط با موضوع مورد مطالعه می‌پردازیم.

۱-۲- مروری بر مطالعات خارجی

فونتس و همکاران^۴ (۲۰۰۱)، نشان دادند که شاخص مالمکوئیست^۵ می‌تواند با استفاده از روش‌های پارامتری - جبری یا پارامتری - مرز تصادفی^۶ تخمین زده شود. همچنین آن‌ها نشان دادند که با استفاده از پارامترهای تخمین زده شد، چندین تابع فاصله شعاعی می‌تواند به منظور تخمین و

۱. این مطالعات به‌صورت تجربی فرایند فناوری القایی را که پارامترهای زیست محیطی را تغییر می‌دهند اندازه می‌گیرند. این مطالعات شامل:

Lichtenberg (1986, 1987), Lanjou and Mody (1996), Jaffe and Palmer (1997), Newell et al. (1999), Nordhaus (2002), and Popp (2002)
 2. That affect technological change (TECH)
 3. Hayami and Ruttan (1971)
 4. Hugo J. Fuentes, Emili Grifell-Tatj'e, Sergio Perelman (2001)
 5. Malmquist Index
 6. Parametric-stochastic frontier

تجزیه و تحلیل شاخص بهره‌وری محاسبه و ترکیب شود. بر اساس نتایج این تحقیق علیرغم جریان مقررات‌زدایی سریع در بازار بیمه اروپا تغییرات نرخ بهره‌وری بسیار پایین بوده است ولی شواهدی از تغییرات فنی مثبت مشاهده می‌شود. لیندن برگر و کامل^۱ (۲۰۰۲)، مدل بهینه سازی PRISE (مدل ارزیابی بخشی القایی قیمت)^۲ را توسعه می‌دهند. این مدل برای تحلیل تغییرات بالقوه ورودی‌ها، خروجی‌ها و منافع در بخش‌های مختلف از صنایع انرژی بر و کاربر اقتصاد در واکنش به تغییرات قیمت عوامل طراحی شده است. بنابراین این مدل می‌تواند یک ابزار کمی برای تخمین امکان پیشرفت‌های اقتصادی در آینده تحت فروض مختلفی از قیمت‌های عوامل باشد. این مدل همچنین برای مقایسه ارزیابی پیش‌بینی‌ها بخشی اقتصاد آلمان از سال ۱۹۶۸-۱۹۸۹ آزمون شده است.

تادئو و همکاران^۳ (۲۰۰۵)، با استفاده از توابع فاصله فنی جهت دار به ارزیابی تأثیر تنظیم (مقررات‌زدایی)^۴ زیست محیطی بر عملکرد شرکت‌ها می‌پردازند. بدین منظور یک نمونه از تولید کنندگان سنگفرش در کشور اسپانیا انتخاب گردیدند. آن‌ها فرض می‌کنند که شرکت‌ها به طور همزمان با افزایش خروجی مطلوب، بدون تغییر در تولید خروجی بد ورودی‌ها را کاهش می‌دهند. نتایج نشان می‌دهند که وقتی شرکت‌ها برای دفع کالاهای بد خود از لحاظ قوانین محیطی محدود شوند پتانسیل آن‌ها برای افزایش خروجی مطلوب تا حد زیادی تحت تأثیر واقع می‌شود. همچنین شرکت‌های بزرگ دارای هزینه فرصت کمتری برای تنظیم (مقررات‌زدایی) هستند. کاپوتو و پاریس^۵ (۲۰۰۵) با استفاده از تئوری اقتصاد خرد^۶ و یک آزمون تجربی به بررسی فرایند القایی قیمت فناوری می‌پردازند. در این مقاله آن‌ها به صورت تجربی مجموعه‌ای کاملی از تأثیرات تئوری القایی قیمت فناوری را با استفاده از روند آماری بیزین^۷ و کلاسیک آزمون می‌کنند. نتایج نشان می‌دهد که داده‌های این تحقیق بر اساس تئوری القایی قیمت فن‌آوری و حداقل کردن هزینه‌ها کاملاً سازگار هستند.

ماناگی و همکاران^۸ (۲۰۰۵)، تأثیر تغییر فناوری بر اکتشاف نفت و گاز در خلیج مکزیک از سال ۱۹۴۷ تا ۱۹۹۸ را با استفاده از مجموعه داده‌های خرد بررسی می‌کنند. به همین منظور از مدل‌های تجربی اکتشاف و هزینه‌ی حفاری برای ارزیابی اثر تغییر فناوری هم بر روی سطح میدان

1. Dietmar Lindenberger , Reiner Kummel(2002)
2. PRice-Induced Sectoral Evolution
3. Andre´s J. Picazo-Tadeo, Ernest Reig-Marti ´nez , Francesc Herna ´ndez-Sancho(2005)
4. Regulation
5. Michael R.Caputo and Quirino Paris(2005)
6. Atemporal Microeconomic Theory
7. Bayesian statistical procedures
8. Shunsuke Managi, James J. Opaluch, Di Jin, Thomas A. Grigalunas(2005)

و هم بر روی سطح منطقه استفاده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که تغییر فناوری نقش معناداری را در صنایع ساحلی از ۵۰ سال پیش از لحاظ افزایش ذخایر و کاهش هزینه‌ها بازی می‌کنند. هر چند اثر فرسایش در بیش از ۲ دهه غالب بود ولی اثر تغییر فناوری قادر بود تا فرسایش منابع را در طول ۵۰ سال دوره مورد مطالعه جبران کند. اسپستی و پیرانی (۲۰۰۶)^۱، با تعمیم چارچوب تحلیل پیشنهادی به وسیله پیترز و سای (۲۰۰۰)، روند فناوری القایی را در یک چارچوب تعدیل جزئی که قیمت‌های گذشته را در بر می‌گیرد طرح‌ریزی کرده و همچنین یک تابع هزینه‌ی متقارن تعمیم یافته مک‌فادن^۲ با چند خروجی را نیز برای بخش کشاورزی ایتالیا در نظر می‌گیرند. پارامترها با استفاده از فرآیند زلنر^۳ تکراری تحت فرضیات نمونه که جمله‌های خطا همه به صورت نرمال توزیع شده با میانگین ثابت صفر اما واریانس و کوواریانس ناشناخته هستند تخمین زده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که قیمت القایی انرژی در دوره‌ی ۱۹۵۱-۱۹۹۹ بر روی بخش کشاورزی ایتالیا تأثیر داشته است. لین (۲۰۰۶)^۴، به بررسی قیمت‌های انرژی و استفاده از فناوری ذخیره انرژی می‌پردازد. در این مقاله ارتباط بین قیمت عوامل، فناوری و تقاضای عوامل بررسی می‌شود. بر این اساس، تأثیرات استفاده از فناوری ذخیره انرژی ناشی از قیمت القایی بر روی تقاضای انرژی در بخش صنعت آمریکا با استفاده از پانل دیتا در دوره ۱۹۶۳-۱۹۹۷ تخمین زده می‌شود. همچنین کارایی انرژی عوامل برای اندازه‌گیری تأثیر اتخاذ فناوری روی تقاضای انرژی اندازه‌گیری می‌شود. این اندازه‌گیری ۲ نتیجه در پی داشت: ۱- اتخاذ فناوری، یک مقدار آماری معنی دار ولی جزئی کوچکی از تغییرات تقاضای انرژی در سال ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ را توضیح می‌دهد. ۲- اتخاذ فناوری اثر بلند مدت قیمت‌های انرژی را بر روی رشد کاهش می‌دهد.

ماناگی و همکاران^۵ (۲۰۰۶)، تأثیر تغییر فناوری بر روی اکتشاف، توسعه و تولید نفت و گاز در خلیج مکزیک را در بیش از ۵ دهه قبل مورد بررسی قرار دادند. به منظور بررسی تغییر فنی بر روی مرز تولید، داده‌های یکی از میادین از سال ۱۹۴۷ تا ۱۹۹۸ انتخاب گردیدند. سپس رشد بهره‌وری کل عوامل در صنایع طی سال‌های ۱۹۷۶-۱۹۹۵ تخمین زده شدند. نتایج حاکی از اینست که قوانین محیطی تأثیر منفی معنی داری بر روی تولید ساحلی دارند اگرچه این تأثیرات در طول زمان روند نزولی داشته است. واتانبه و تاناکا^۶ (۲۰۰۷)، به تجزیه و تحلیل کارایی صنایع چین با

1. Roberto Esposti and Pierpaolo Pierani(2006)

2. Symmetric generalized McFadden (SGM)

3. Zellner process

4. Joshua Linn(2006)

5. Managi.S, James J. Opaluch, Di Jin, Thomas A. Grigalunas(2006)

6. Michio Watanabe, Katsuya Tanaka(2007)

استفاده از روش جهت‌دار طی دوره‌ی زمانی ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۲ می‌پردازند. آن‌ها دریافتند که حذف خروجی‌های نامطلوب (دی اکسید سولفور)، تخمین تورش داری از کارایی صنایع را نتیجه می‌دهند و نشان می‌دهند که خروجی صنایع و آلاینده‌های محیطی باید در تحلیل سطوح کارایی صنایع در کشورهایی مثل چین، که مشکلات محیط زیستی یک بحران بزرگ می‌باشند لحاظ گردند. فار و همکاران^۱ (۲۰۰۷)، ارتباط بین توابع تولید زیست محیطی و جهت‌دار زیست محیطی را بررسی می‌کند. توابع تولید زیست محیطی، گسترش تولید کالاهای خوب را و توابع تولید جهت‌دار زیست محیطی به‌طور همزمان افزایش تولید کالای خوب و کاهش تولید کالای بد را مد نظر دارد. تخمین کارایی فنی و هزینه‌های کاهش آلودگی با استفاده از داده‌های کارخانه تولید کک محاسبه می‌شود. نتایج این تحقیق، مبنای تجربی را برای مقایسه بین ۲ تابع تولید فراهم می‌کند.

ری^۲ (۲۰۰۸)، به بررسی تابع فاصله جهت‌دار و اندازه‌گیری کارایی در خطوط هوایی می‌پردازد. تابع فاصله جهت‌دار و کارایی به وسیله ترکیبی از یک مدل با یک خروجی و ورودی جهت‌دار که منجر به یک رتبه‌بندی کامل‌تری از مشاهدات می‌شود با استفاده از DEA صورت می‌گیرد. یک مجموعه داده از خطوط هوایی بین‌المللی به منظور تشریح نتایج تجربی به کار گرفته می‌شود.

فار و همکاران^۳ (۲۰۰۹)، به ارائه فرم تابعی از فناوری‌های تولید چند خروجی می‌پردازند. تابع فاصله جهت‌دار تحقیق جایگزینی برای توابع فاصله شفارد^۴ فراهم کرده است. در این مطالعه از روش مونت کارلو^۵ به منظور ارزیابی عملکرد توابع فاصله به عنوان تقریبی برای مدل‌های فناوری استفاده می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که ارائه فرم درجه‌ی دوم از فناوری تقریبی بهتری از پارامترهای ترانزلوگ ارائه می‌دهد. کومار و ماناگی^۶ (۲۰۰۹)، در پژوهشی به بررسی اثرات القایی القایی تغییرات فناوری ناشی از تجارت بین‌الملل: ارزیابی نتایج اقتصادی محیط زیستی می‌پردازند. در این مقاله با استفاده از تابع فاصله جهت‌دار برای ۷۶ کشور در دوره‌ی زمانی ۱۹۶۳-۲۰۰۰، میزان تغییر فناوری و عوامل پرو نزا ناشی از تجارت بین‌الملل اندازه‌گیری می‌شود.

1. Rolf Fa're, Shawna Grosskopf, Carl A. Pasurka Jr.(2007)
2. Sc Ray(2008)
3. Rolf Fa're, Carlos Martins-Filho, Michael Vardanyan(2009)
4. Shephard distance functions
5. Monte Carlo
6. Surender Kumar, Shunsuke Managi(2009)

یافته‌های تحقیق حاکی از این است که میزان تجارت بین‌الملل ناشی از تغییر فناوری، باعث کاهش GDP و افزایش آلودگی می‌شود به صورت تجربی افزایش تجارت آزاد با افزایش آلودگی ارتباط دارد. کومار و ماناگی^۱ (۲۰۰۹)، به بررسی تأثیر قیمت القایی انرژی بر تغییر فناوری با رویکرد محیط زیستی می‌پردازد. آن‌ها در این مقاله یک تابع تولید نهایی را به صورت مستقیم برای ۸۰ کشور در دوره‌ی ۲۰۰۰-۱۹۷۱ تخمین می‌زنند تا تأثیر قیمت القایی نفت بر روی تغییر فناوری را اندازه‌گیری کنند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد در حالی که قیمت نفت در بلند مدت در حال افزایش باشد، قیمت القایی نفت تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر تغییر فناوری در سطح جهان دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهند که کشورهای توسعه یافته فرایند تغییرات فنی و نوآوری بیشتری را در مقایسه با کشورهای در حال توسعه به کار می‌گیرند. کارانفیل و همکاران^۲ (۲۰۱۰)، با برآورد سیستم سهم - هزینه ترانزلوگ و استفاده از تکنیک مدل‌سازی حالت - فضا، به بررسی این موضوع که جهت تغییر فنی تا چه حد به سمت انرژی متمایل می‌شود و از سایر عوامل تولید دور می‌شود (فاصله می‌گیرد) می‌پردازند. با اعمال این روش برای اقتصاد فرانسه در دوره‌ی ۲۰۰۶-۸، نتایج به دست آمده حاکی از این است که اولاً تغییر فنی، اثری غیر خنثی بر تقاضای عوامل دارد. ثانیاً پیشرفت فناوری، صرفه‌جویی سرمایه را در اکثر بخش‌های مورد مطالعه به وجود می‌آورد. ثالثاً تقاضای انرژی در تمام بخش‌ها به جز برق و انرژی افزایش یافته است. این یافته‌ها می‌تواند تبعات سیاسی مهمی برای مسائل محیط زیستی و انرژی داشته باشد. هالکس و همکاران^۳ (۲۰۱۱)، با استفاده از تابع فاصله جهت‌دار، عملکرد دفع زباله شهرداری در مناطقی از انگلستان را مورد بررسی قرار می‌دهند. نتایج حاکی از عدم کارایی زیست محیطی مناطق برای اکثریت مناطق در انگلستان علی‌رغم سطوح سرانه GDP هر منطقه می‌باشد.

هالکس و همکاران^۴ (۲۰۱۲)، با استفاده از تابع فاصله‌ی جهت‌دار به بررسی عملکرد شهرداری در مناطقی از آلمان می‌پردازند و بر اساس شاخص‌های عملکرد محیطی ۳۹ منطقه‌ای که قادر به تولید محصول بیشتر و به‌طور همزمان کاهش آلودگی تولید شده از فعالیت اقتصادی مناطقشان می‌باشند انتخاب گردیدند. بر اساس نتایج به دست آمده ناکارایی محیطی برای اکثریت مناطق آلمان با احتمال بالا از مناطق با سطوح GDP پایین‌تر تولید می‌شود.

1. Surender Kumar, Shunsuke Managi(2009)

2. Fatih Karanfil, Yasser Yeddir-Tamsamani(2010)

3. George E. Halkos&Nickolaos G. Tzeremes(2011)

4. George E. Halkos&Nickolaos G. Tzeremes(2012)

۲- مبانی نظری

۲-۱- تابع فاصله خروجی جهت‌دار^۱

بنگاهی را فرض می‌کنیم که برداری از ورودی‌ها (نیروی کار، سرمایه، انرژی) را بکار می‌گیرد تا برداری از خروجی‌های خوب (تولید صنعتی) و خروجی‌های بد (CO_2) را تولید کند. بردار فناوری به این صورت تعریف می‌شود:

$$T = \{(x; y; b; t; q)\} \quad (1)$$

x : ورودی‌ها، y : خروجی‌های خوب، b : خروجی‌های بد، t : زمان و q : قیمت‌های بلندمدت انرژی

بر اساس تابع بالا تولید باید در محدوده‌ی تکنولوژی موجود صورت گیرد $((y, b) \in T)$. در این صورت $(y', b') \in T \rightarrow (y, b) \leq (y', b')$ به این مفهوم که اگر بردار خروجی مشاهده شده (تولید) بر اساس تکنولوژی مورد استفاده قابل حصول باشد، آنگاه هر بردار خروجی کوچک‌تر نیز امکان‌پذیر است. البته در این فرض، فرایندهای تولیدی که خروجی‌های بدی تولید می‌کنند مستثنی گردیده‌اند. به عنوان مثال، در ارتباط با آلاینده‌هایی از قبیل CO_2 ، این استثنا بدین مفهوم است که کاهش چنین خروجی‌هایی بدون هزینه امکان‌پذیر نیست. در نتیجه خروجی‌هایی خوب قویاً قابل حصول و خروجی‌های بد به صورت ضعیفی قابل حصول می‌باشند.

اگر $(y, b) \in T$ and $0 \leq \theta \leq 1 \rightarrow (\theta y, \theta b) \in T$ این رابطه بدین مفهوم است که با تکنولوژی مشخص شده تنها در صورتی می‌توان خروجی‌های بد را کاهش داد که به ازای آن خروجی‌های خوب نیز کاهش یابد. به عبارت دیگر کاهش پیامدهایی همچون آلودگی‌های محیط زیستی همواره در بردارنده هزینه می‌باشند. در صورتی که سطح تکنولوژی مورد استفاده ثابت در نظر گرفته شود این هزینه به معنای این است که کاهش خروجی‌های بد تنها با کاهش خروجی‌های خوب امکان‌پذیر است. بدین ترتیب در این فرایند تولید خروجی‌های بد به عنوان محصولات توأم خروجی‌های خوب در نظر گرفته شده‌اند که بدین مفهوم است که نمی‌توان یک

1. Directional Output Distance Function

تابع فاصله جهت‌دار، به دنبال افزایش محصول مطلوب و به طور همزمان کاهش محصولات نامطلوب است. این معیار از تکنیک‌های کارا به منظور کمینه‌سازی هزینه بالقوه (هزینه فرصت) بهره می‌جوید و در آن محدودیت‌های محیط زیستی به عنوان قید به مدل اضافه می‌شوند. کمینه کردن این هزینه‌ها باعث افزایش کارایی بنگاه‌ها می‌شود.

خروجی خوب تولید نمود بدون اینکه به همراه آن خروجی‌های بد تولید گردد. به صورت رسمی‌تر تابع فاصله خروجی جهت دار به این صورت تعریف می‌شود:

$$D(x, y, b; g, t, q) = \max\{\beta: (y + \beta \cdot g_y, b - \beta \cdot g_b)\} \in T \quad (2)$$

بر اساس تابع فاصله‌ای جهت دار بهینه کردن تابع فوق نیازمند کمینه کردن همزمان خروجی‌های بد و بیشینه کردن خروجی‌های خوب است. اگر بنگاه به صورت کارآمد، با توجه به بردار جهت‌دار g به فعالیت پردازد آنگاه مقدار محاسبه شده (β^*) ، حداکثر خروجی‌های خوب و حداقل خروجی‌های بد را ارائه می‌کند. بردار $g = (g_b, g_y)$ جهت بردار خروجی را تعیین می‌کند و به گونه‌ای مقیاس‌بندی می‌شود تا در نقطه $\{(y + \beta^* \cdot g_y, b - \beta^* \cdot g_b)\} \in T$ ، با افزایش خروجی‌های خوب و کاهش خروجی‌های بد به مرز مجموعه خروجی^۱ برسد. بدین ترتیب با بهینه سازی تابع شماره‌ی (۲)، مجموعه‌ای از پارامترهای بهینه برای تابع تولید $(\beta^* = D(x, y, b; g, t, q))$ حاصل خواهند شد.

مزیت تابع فاصله خروجی جهت‌دار این است که در آن امکان بررسی تغییرات نامتناسب در خروجی‌ها وجود دارد، زیرا افزایش خروجی‌های خوب را امکان‌پذیر می‌سازد در عین حال خروجی‌های بد را کاهش می‌دهد. تابع فاصله برای بردارهای خروجی کارآمدوری مرز تولید به لحاظ فنی مقدار صفر می‌گیرد، در حالی که مقادیر مثبت به مفهوم بردارهای خروجی ناکارآمد زیر خط مرزی است هر چه مقدار بیشتر باشد، بردار خروجی ناکارآمدتر است. علاوه بر این تابع فاصله خروجی جهت دار و تابع درآمد دوگان یکدیگر هستند (فار و همکاران ۲۰۰۱ و فار و همکاران ۲۰۰۹).^۲

۲-۲ - شاخص بهره‌وری مالکونیست - لونبرگر^۳

در این قسمت معیار تغییر بهره‌وری (PCH)^۴ مالکونیست - لونبرگر، به گونه‌ای تعمیم داده می‌شود که اثر القایی قیمت فناوری (ITCH)^۵ را محاسبه کند. شاخص بهره‌وری به تغییرات فناوری^۶ و تغییر کارآیی (EFFCH)^۷ تجزیه می‌شود که می‌توان آن را اثر "Catch-up" نامید. اثر

1. Boundary of the outputset
2. Fa'`re et al., 2001; Fa'`re et al., 2005
3. Malmquist-Luenberger Productivity Indicators
4. Productivity Change
5. Price-Induced Technological Change (ITCH)

۶. به عبارت دیگر، به جابجایی‌های موجود در مرز تولید نیز گفته می‌شود

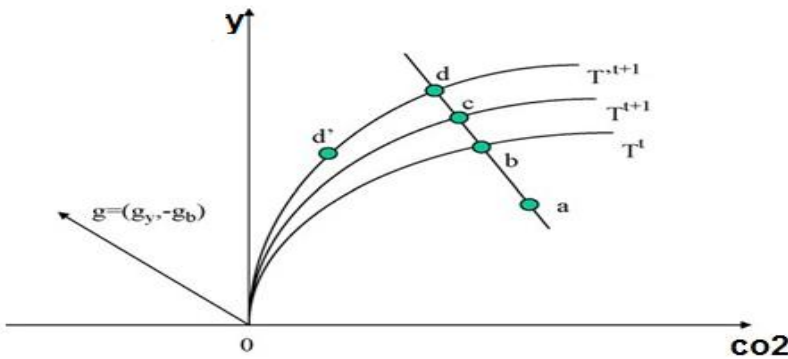
7. Efficiency Change (EFFCH)

تغییر فناوری (TECH)^۱ به تغییر برونزای فناوری (ETCH)^۲ و تغییر درونزای فناوری (ITCH) تجزیه می‌شود یعنی:

$$+ETCH \tag{۳}$$

$$TECH = ITCH$$

که این موضوع در شکل زیر نمایش داده شده است.



شکل ۱

فرض کنید جهت توسعه $(-g_b, g_y)$ به وسیله g نشان داده شود. بردار خروجی (b^t, y^t) در دوره t به وسیله a نشان داده می‌شود و بردار (b^{t+1}, y^{t+1}) در دوره $t+1$ نشان داده می‌شوند. دو فناوری T^t و T^{t+1} می‌باشند. تغییر در فناوری از T^t به T^{t+1} ترکیبی از تغییر فناوری ناشی از ETCH و ITCH است یعنی تغییر در فناوری تولید از T^t به T^{t+1} به وسیله فاکتورهای چون پیشرفت عمومی در علم و فناوری ناشی می‌شود و تغییر از T^{t+1} به T^{t+1} ناشی از تغییر در قیمت‌های نسبی است. بنابراین داریم:

$$EFFCH = (b-a)$$

$$TECH = d-b = ((d-c) + (c-b)) = ETCH + ITCH \tag{۴}$$

بنابراین EFFCH میزان نزدیک بودن مشاهده a به فناوری T^t را می‌سنجد و TECH تغییر در فناوری تولید را اندازه گیری می‌کند.

1. That Affect Technological Change (TECH)

2. Exogenous Technological Change (ETCH)

TECH را هم به صورت برونزا و هم به صورت القایی می توان به دو دسته تقسیم کرد: ۱- تغییرات مرتبط با جابجایی ها در تابع تبدیل و ۲- تغییرات ناشی از تصمیم های تولیدی مرتبط با تولید یک محصول معین که ناشی از تغییر قیمت های نسبی است که همواره بر روی تابع تبدیل جدید انجام می گیرد (فار و همکاران ۱۹۹۷)^۱. تغییر در تابع تبدیل را نیز می توان به دو دسته تقسیم کرد: TECH خنثی و TECH جهت دار. TECH خنثی به مفهوم یک تغییر و جابجایی در مرز تولید است به نحوی که امکان تولید خروجی های بد کمتر و خروجی های خوب بیشتر با همان ورودی پیشین وجود داشته باشد.

TECH جهت دار به مفهوم تغییر در شیب مرز تولید است. بدین ترتیب نقطه تصمیم پیشین بنگاه دیگر روی مرز تولید نیست، حتی وقتی که قیمت های نسبی ثابت هستند. تجزیه TECH با شکل (۱) تشریح می شود. فرض کنید که یک بنگاه از کمیت ثابت ورودی ها برای تولید و انتشار کربن استفاده می کند. علاوه بر این فرض کنید بنگاه در نقطه a تصمیم می گیرد (امکان فناوری با T^t سنجیده می شود). همچنین فرض کنید که در زمان $t+1$ امکان فناوری بهبود یابد که به وسیله ی تغییر مرز از T^t به T^{t+1} نمایش داده می شود. بر این اساس تولید باید در نقطه d صورت پذیرد. می توانیم جابجایی از نقاط b و d را به صورت جابجایی ها از b به d' و d' به d نمایش دهیم. نقطه d' نقطه ای روی مرز تولید جدید است که روی شعاع قرار ندارد. از این رو جابجایی از b به d' ترکیبی از تغییر فناوری خنثی و جهت دار را نشان می دهد. جابجایی از b به d نمایش دهنده ی پیشرفت فناوری خنثی است و جابجایی از d' به d اثرات تولید کمتر دی اکسید کربن بین زمان t و $t+1$ را می سنجد که به آن تمایل در تولید خروجی ها یا TECH جهت دار می گویند.

۳- تصریح مدل

با استفاده از داده های مورد استفاده در مدل که شامل نیروی کار، سرمایه مورد استفاده، قیمت بلندمدت نفت، هزینه آلودگی، قیمت های حامل های انرژی، ارزش افزوده هر صنعت و زمان می باشد و با تبعیت از فار (۲۰۰۵)، بردار فاصله ی خروجی جهت دار با استفاده از یک تابع تولید جمع پذیر درجه دوم برآورد می شود. به منظور تصریح مدل مورد استفاده در مطالعه با تبعیت از مدل فار که شامل یک خروجی خوب (تولید y)، یک خروجی بد ($CO_2=b$)، سه ورودی (X_1)= نیروی کار، X_2 = سرمایه، و X_3 = انرژی، روند زمانی (t) و قیمت بلندمدت نفت (q) می باشد، و با

1. Fa're et al., 1997

2. Fare et al. (2005)

انجام تغییراتی بر روی معادله‌ای که کومار و ماناگی در سال ۲۰۰۹ ارائه کرده‌اند مدل تصریح شده نهایی به صورت زیر بدست می‌آید:

(۵)

$$D^{kt}(x^{kt}, y^{kt}, b^{kt}; g, t, q) = \alpha_0 + \sum_{n=1}^3 \alpha_n x_n^{kt} + \beta_1 y^{kt} + \beta_2 b^{kt} + \gamma_1 q + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^3 \sum_{m=1}^3 \alpha_{nm} x_n^{kt} x_m^{kt} + \sum_{n=1}^3 \delta_{n1} x_n^{kt} y^{kt} + b^{kt} \sum_{n=1}^3 \delta_{n2} x_n^{kt} + \sum_{n=1}^3 \mu_{n1} x_n^{kt} t + \sum_{n=1}^3 \mu_{n2} x_n^{kt} q + \frac{1}{2} \beta_{11} y^{2kt} + \beta_{12} y^{kt} b^{kt} + \partial_{y1} y^{kt} t + \partial_{y2} y^{kt} q + \frac{1}{2} \rho b^{2kt} + \theta_1 b^{kt} t + \theta_2 b^{kt} q + \frac{1}{2} \gamma_{11} t^2 + \frac{1}{2} \gamma_{22} t q^2 + \theta t q^t$$

در معادله (۵)، میزان تولید، میزان سرمایه‌ی مورد استفاده در صنعت و هزینه‌ی انرژی و آلودگی منتشر شده بر حسب واحد میلیون ریال، نیروی کار بر حسب واحد هزار نفر و قیمت بلند مدت نفت بر حسب واحد ریال در نظر گرفته شده‌اند. تابع فاصله‌ی خروجی جهت‌دار را به فرم درجه‌ی دوم، پارامتری می‌کنیم به نحوی که با استفاده از لم اتحاد درجه‌ی دوم دیوورت (۱۹۷۶) بتوانیم به صورت خاص معادله فوق، TECH خنثی و TECH جهت‌دار را برآورد کنیم. اثر ETCH خنثی با ضرایب γ_1 و γ_{11} و اثر ITCH خنثی نیز به وسیله ضرایب γ_{22} محاسبه می‌شود. مقادیر ورودی ETCH و ITCH متمایل نیز به وسیله ضرایب μ_{n1} و μ_{n2} محاسبه می‌شود. اثرات تغییرات در خروجی‌های ETCH و ITCH (به عبارت دیگر، خروجی TECH جهت‌دار) به وسیله ضرایب $\theta_1, \theta_2, \partial_{y1}$ و ∂_{y2} برآورد می‌شوند. علاوه بر این، واکنش متقابل بین ITCH و ETCH با ضرایب θ تخمین زده می‌شود.

در این مقاله تابع فاصله خروجی را به شکل تابع درجه‌ی دوم تخمین می‌زنیم، بنابراین لم اتحاد درجه دوم دیوورت (۱۹۷۶) را اعمال کنیم. با استفاده از این لم تغییرات در تابع فاصله خروجی از یک دوره به دوره بعد را می‌توان به این صورت نوشت:

(۶)

1. Quadratic Identity Lemma Diewert, W. E. (1976)

2. Quadratic Identity Lemma

$$\begin{aligned}
 (D^t - D^{t+1}) &= 0.5 \left[\frac{\partial D^t}{\partial y} + \frac{\partial D^{t+1}}{\partial y} \right] (y^{t+1} - y^t) + 0.5 \sum_{m=1}^2 \left[\frac{\partial D^t}{\partial b} + \frac{\partial D^{t+1}}{\partial b} \right] (b^{t+1} - b^t) \\
 &+ 0.5 \sum_{n=1}^3 \left[\frac{\partial D^t}{\partial x_n} + \frac{\partial D^{t+1}}{\partial x_n} \right] (x_n^{t+1} - x_n^t) + 0.5 \left[\frac{\partial D^{t+1}}{\partial t} + \frac{\partial D^t}{\partial t} \right] \\
 &+ 0.5 \left[\frac{\partial D^{t+1}}{\partial q} + \frac{\partial D^t}{\partial q} \right] (q^t - q^{t+1})
 \end{aligned}$$

که در اینجا D^t شکل مختصر $(x^t, y^t, b^t; g, t, q)$ است. فرض کنید PCH شاخص بهره‌وری باشد که به این صورت تعریف می‌شود:

(۷)

$$\begin{aligned}
 PCH &= -0.5 \left[\frac{-\partial D^{t+1}}{\partial y} + \frac{-\partial D^t}{\partial y} \right] (y^{t+1} - y^t) + 0.5 \sum_{m=1}^2 \left[\frac{\partial D^t}{\partial b} + \frac{\partial D^{t+1}}{\partial b} \right] (b^{t+1} - b^t) \\
 &+ 0.5 \sum_{n=1}^3 \left[\frac{\partial D^{t+1}}{\partial x_n} + \frac{\partial D^t}{\partial x_n} \right] (x_n^{t+1} - x_n^t).
 \end{aligned}$$

شاخص PCH را می‌توان به صورت تفاوت بین نرخ‌های متوسط وزنی تغییر در خروجی‌ها و ورودی‌ها تعریف کرد که در اینجا وزن‌ها به ترتیب مشتق‌های تابع فاصله خروجی نسبت به خروجی‌های خوب (منفی) و خروجی‌های بد (مثبت) و ورودی‌ها هستند. با چینش معادله‌ی فوق، PCH را می‌توان به این صورت تجزیه کرد:

(۸)

$$PCH = \underbrace{(D^{t+1} - D^t)}_{EFCH} - \underbrace{0.5 \left[\frac{\partial D^{t+1}}{\partial t} + \frac{\partial D^t}{\partial t} \right]}_{ETCH} - \underbrace{0.5 \left[\frac{\partial D^{t+1}}{\partial q} + \frac{\partial D^t}{\partial q} \right]}_{ITCH} \cdot (q^{t+1} - q^t).$$

معادله‌ی (۸) تجزیه معنی‌دار PCH را به تغییرات در EFCH, ETCH, ITCH ارائه می‌کند. مقادیر منفی مشتق‌های تابع فاصله‌ی خروجی مستقیم نسبت به روند زمانی و قیمت‌های بلندمدت نفت به ترتیب به مفهوم تغییر مثبت در ETCH, ITCH است. بنابراین مقدار منفی هر مؤلفه شاخص بهره‌وری PCH به مفهوم تغییری مثبت در کل بهره‌وری عوامل می‌باشد.

۴- برآورد مدل

تابع فاصله‌ی خروجی جهت دار را می‌توان با استفاده از تکنیک‌های مرز تصادفی یا برنامه‌نویسی خطی (LP) محاسبه کرد. برآورد اقتصادسنجی تابع فاصله‌ای مزایایی نسبت به رویکرد LP دارد.

غیر از برخورد مناسب خطاهای اندازه‌گیری و شوک‌های تصادفی، چندین فرضیه‌ی آماری را می‌توان از طریق محاسبه سنجی برآورد کرد (مانند اهمیت پارامترها، تفکیک بین خروجی‌ها ورودی‌ها و بین خروجی‌های خوب و بد و ویژگی‌های یکنواختی تابع فاصله). مشخصه تصادفی تابع فاصله خروجی مستقیم به صورت شکل زیر می‌باشد:

$$0 = D(x, y, b; 1, -1, t, q) + \varepsilon$$

که در اینجا $\varepsilon = \theta - \mu$ و $\theta \sim N(0, \sigma_\theta^2)$ عبارت خطای سیستماتیک یک سویه و $\mu \sim \text{iid}G(P, \theta)$ که P و θ به ترتیب پارامترهای شکل و توزیع مقیاس می‌باشند. برای برآورد معادله فوق از ویژگی انتقالی تابع فاصله‌ی خروجی جهت‌دار استفاده می‌کنیم. ویژگی انتقالی به این مفهوم است که:

$$D(x, y + \alpha, b - \alpha; 1, -1, t, q) + \alpha = D(x, y, b; 1, -1, t, q) \quad (10)$$

با جایگزینی طرف سمت چپ معادله‌ی (۱۰) در معادله‌ی (۹) و جابجا کردن α به طرف سمت چپ معادله داریم:

$$-\alpha = D(x, y + \alpha, b - \alpha; 1, -1, t, q) \quad (11)$$

که در اینجا $D(x, y + \alpha, b - \alpha; 1, -1, t, q)$ فرم مربعی حاصل از معادله‌ی برآورد شده اصلی (معادله‌ی ۵) می‌باشد که α به آن اضافه شده است و b از y کم شده است. بنابراین می‌توان با انتخاب α تغییرات در سمت چپ را به دست آورد. در این مطالعه b ، تغییرات هزینه‌ی آلودگی دی‌اکسید کربن می‌باشد.

پارامترهای حاصل از تابع فاصله‌ی درجه‌ی دوم و تابع فاصله‌ی جهت‌دار که بیانگر میزان ناکارایی فنی می‌باشند را می‌توان با استفاده از روش‌های حداقل مربعات معمولی تصحیح شده (COLS) یا حداکثر درست‌نمایی (ML) برآورد کرد. رویکرد COLS به اندازه‌ی روش ML طرفدار ندارد. روش ML نیازمند ماکزیم‌سازی تابع درست‌نمایی است. این روش به صورت مجانی کارآمدتر از برآورد کننده COLS است. ویژگی‌های دو برآورد کننده‌ی در نمونه را می‌توان به صورت تحلیلی تعیین کرد. ویژگی‌های نمونه متناهی مدل مرزی نیمه نرمال^۱ در شبیه-

1. Half-normal frontier model

سازیمونت کارلوه و وسیله (کوئلی ۱۹۹۵)^۱ بررسی شده است. نتیجه‌ی این بررسی بیانگر این است که برآورد کننده ML برتری قابل توجهی نسبت به برآورد کننده COLS دارد.

۱-۴- داده‌ها و اطلاعات

در این مطالعه داده‌های دی اکسیدکربن از شاخص‌های توسعه جهانی تهیه شده است.^۲ در این قسمت برای به دست آوردن هزینه‌ی آلودگی ناشی از انتشار دی اکسیدکربن، باید دو مطلب را مد نظر قرار داد.

مطلب اول: مطالعه‌ای که توسط کلارکسون و دیز^۳ (۲۰۰۲) ارائه گردیده است و بر اساس این مطالعه هزینه اجتماعی ناشی از انتشار هر تن دی اکسیدکربن، ۱۹ دلار برآورد گردیده است که این هزینه سالانه ۱.۵ درصد افزایش می‌یابد تا افزایش هزینه‌ی نهایی انتشار را منعکس سازد.

مطلب دوم: در طی سال‌های ۱۳۷۸-۱۳۸۷ هر سال به طور میانگین ۸۰۱.۸۱۸ گرم بر کیلو وات ساعت گاز دی اکسیدکربن از نیروگاه‌ها انتشار یافته است.

بر اساس مطالب فوق، ابتدا میزان مصرف انرژی به واحدهای الکتریکی تبدیل و سپس بر اساس استاندارد میزان انتشار آلودگی برای هر کیلووات ساعت برق و مطالعه کلارکسون معادل ریالی انتشار آلودگی برآورد گردید و از این طریق طبق مطالب ذکر شده در قسمت‌های تابع فاصله خروجی مستقیم محاسبه شده است. داده‌های نیروی کار، سرمایه و ارزش افزوده از سایت‌های مرکز اما ایران و سایت بانک مرکزی گردآوری شده است. مجموعه‌ی داده‌ها یک پنل شامل ۲۱ صنعت می‌باشد که از سال ۱۳۷۴-۱۳۸۶ را تحت پوشش قرار می‌دهد. در ایجاد شاخص بهره‌وری منابع عبارتند از: سرمایه‌ی مورد استفاده در هر صنعت، نیروی کار که به صورت تعداد کارگران شاغل و مصرف انرژی می‌باشد.

بر حسب مصرف انرژی، نفت بیشتر مصرف هیدروکربن‌ها را تشکیل می‌دهد. اگرچه مصرف گاز طبیعی در چند دهه گذشته افزایش یافته است، همبستگی مثبت بالایی بین قیمت‌های نفت و گاز طبیعی وجود دارد. علاوه بر این حدود ۳۵ درصد مصرف انرژی سالانه را نفت تشکیل می‌دهد. بنابراین فرض می‌کنیم که نوسان قیمت نفت نوآوری‌های صرفه جویی کننده را ایجاد می‌کند.

1. Coelli(1995)

۲. مراجعه شود به سایت <http://www.bp.com/statisticalreview>

3. Clarkson and Deyes (2002)

در این مطالعه به منظور به دست آوردن قیمت انرژی، ابتدا میزان مصرف انرژی هر صنعت از حامل‌های انرژی که شامل نفت سفید (هزار لیتر)، گازوئیل (هزار لیتر)، گاز طبیعی (هزار متر مکعب)، گاز مایع (هزار کیلوگرم) و بنزین (هزار لیتر) را مشخص می‌کنیم. در مرحله بعد، تمامی حامل‌های انرژی را به یک واحد مشخص (هزار لیتر) تبدیل می‌کنیم که این کار با انجام تبدیل واحد هر یک از حامل‌های انرژی صورت می‌پذیرد سپس آن‌ها را با یکدیگر جمع می‌کنیم تا عدد ثابتی بر حسب واحد (هزار لیتر) به دست آید. در انتها قیمت جهانی نفت به عنوان مبنای محاسبه مد نظر قرار گرفته و با ضرب مقدار ریالی قیمت آن در مقدار به دست آمده از تبدیل واحد، قیمت انرژی برای هر صنعت به دست می‌آید.

تغییرات در قیمت‌های بلندمدت نفت باعث توسعه فناوری‌های جدیدی می‌شوند که به تغییرات مرز فناوری منتهی می‌گردد. بنابراین مدل سازی قیمت‌های بلندمدت اهمیت دارد که به اطلاعات قیمت فعلی و گذشته وابسته است. بنابراین متوسط جابجایی سه ساله قیمت‌های گذشته انرژی در تابع مرز فناوری لحاظ می‌شود تا ITCH ناشی از قیمت در نظر گرفته شود. به این دلیل از داده‌های سه ساله استفاده می‌کنیم که در سال‌های اخیر بیشترین محتوای اطلاعات را دارند. انتخاب قیمت‌های بلندمدت انرژی با مدل انتظار تطبیقی قیمت‌ها نیز سازگار است که در قیمت‌های مورد انتظار این داده به متوسط وزنی قیمت‌های گذشته وابسته هستند.

۴-۲- بررسی ایستایی متغیرها

نتایج آزمون ریشه واحد متغیرها در جداول زیر آمده است. همان‌طور که نشان داده شده است بر طبق آزمون‌های ریشه واحد ایم، پسران، شین و ADF فیشر تمامی متغیرهای اصلی در سطح دارای ریشه واحد بوده و نایستا می‌باشند. این متغیرها با یک‌بار تفضیل‌گیری مانا می‌شوند و این به معنای وجود هم‌انباشتگی از مرتبه اول برای متغیرهای مذکور می‌باشد.

جدول ۱: نتایج آزمون ریشه واحد متغیرها در سطح

O	Z	L	K	Y	P	آزمون متغیر
۱۱.۱۲	۶.۰۷	-۵.۲۷	۱.۵۲	-۱.۲۲	-۰.۹۹	Im, Pesaran & Shin
۱.۰۰	۱.۰۰	۰.۶۱	۰.۹۳	۰.۱۳	۰.۱۵	Prob

منبع: محاسبات تحقیق

جدول ۲: نتایج آزمون ریشه واحد مرتبه اول متغیرها

L	O	Z	K	Y	P	متغیر	آزمون
۱۵.۲	۸۵.۱	۸۵.۱	-۳۷.۶	-۲۵.۹	-۲۲.۵		Im, Pesaran & Shin
۰.۰۰	۰.۰۶	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰		Prob

منبع: محاسبات تحقیق

۳-۴ بررسی ناهمسانی واریانس

پس از انجام آزمون ایستایی میان متغیرها، در مرحله‌ی بعد بایستی وجود ناهمسانی واریانس در بین جملات اخلاص مورد بررسی قرار گیرد؛ لذا در این مرحله از آزمون Breusch-Pagan استفاده می‌گردد که نتایج حاصل از آن در جدول زیر بیان شده است:

جدول ۳: نتایج آزمون Breusch-Pagan

Prob > chi2	chi2(1)	Breusch-Pagan test
۰.۶۲۳۴	۰.۱۹	

منبع: محاسبات تحقیق

بر اساس نتایج جدول فوق می‌توان گفت که فرض صفر مبنی بر عدم وجود همسانی واریانس در بین جملات اخلاص، طبق این آزمون رد می‌شود.

۴-۴ بررسی خودهمبستگی متغیرها

پس از برآورد معادله مورد نظر، در مرحله بعد برای اطمینان از خوبی برآورد مدل و عدم وجود خودهمبستگی در اجزای اخلاص از آزمون LM استفاده می‌گردد. نتایج حاصل از این آزمون برای متغیرها در جدول زیر آورده شده است. طبق نتایج این آزمون، طبق نتایج این آزمون، هیچ‌گونه همبستگی سریالی در بین پسماندهای معادله تخمین زده شده وجود ندارد.

جدول ۴: نتایج برآورد آزمون LM

سطح معنی‌داری	آماره	F-statistic
۰.۰۳۶	۰.۴۵۵	

منبع: محاسبات تحقیق

پس از بررسی مانایی متغیرها، معادله‌ی (۵) با استفاده از نرم افزار STATA و بر اساس مدل حداکثر درست‌نمایی (MLE) برآورد شد. همان طور که قبلاً گفته شد ما از برآورد ML برای برآورد تابع فاصله مستقیم استفاده می‌کنیم که نتایج آن در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۵: نتایج برآورد معادله‌ی (۱-۳) بر اساس مدل MLE

m	.Coef	.Std. Err	z	P> z	[Conf. Interval %95]	
Intercept	9.94 e+09	2.67e+08	37.21	0.000	1.05e+10	9.41e+09
Y	2.161589	0.277467	7.79	0.000	2.7054	1.617
CO ₂	5.191421	2.523128	2.18	0.030	5458813	10.43636
Labor	-34.13783	5176.22	-2.66	0.008	-2395.2	-3638.49
Capital	.003207	0.0002689	-1.19	0.033	-.0008478	0.000264
Energy	1.69690	2436476	-0.07	0.044	-4945092	4605712
(Y) ²	-3.85e-10	4.84e-11	-7.95	0.000	-4.80e-10	-2.90e-10
(CO ₂) ²	6.98e-11	7.70e+08	0.89	0.371	-8.20e-11	2.20e-10
(Labor) ²	-1.007599	0.03590	-2.81	0.005	-.1711248	-.030394
(Capital) ²	3.79e-10	2.21e-11	17.13	0.000	3.36e-10	4.22e-10
(Energy) ²	-553.1957	526.4629	-1.05	0.293	-1585.04	478.652
Y*CO ₂	-3.69e-09	4.18e-10	-8.83	0.000	-4.51e-09	-2.87e-09
Y*Labor	-3.33e-06	1.78e-06	-1.78	0.062	-6.83e-06	1.65e-07
Y*Capital	5.70e-13	4.98e-14	11.14	0.000	4.71e-13	6.67e-13
Y*Energy	0.000441	0001994	0.22	0.822	-.0003466	0.000349
CO ₂ *Labor	0.0000615	7.90e-06	8.68	0.000	.0000476	0.0004375
CO ₂ *Capital	-1.94e-06	2.22e-07	-8.73	0.000	-2.37e-06	-1.50e-06
CO ₂ *Energy	-.0003866	0.071424	-0.01	0.996	-.1403701	1395968
Labor*Capital	9.33e-09	1.57e-09	5.95	0.000	6.25e-09	1.24e-08
Labor*Energy	-.575228	8.249085	-0.07	0.944	-16.74314	15.5926
Capital*Energy	-4.05e-06	8.57e-07	-4.73	0.000	-5.73e-06	-2.37e-06
(Time) ²	1562113	703104.7	2.22	0.029	183154.1	2939272
Y*Time	-.0363556	0.017618	-2.06	0.039	-.0708862	0.001825
CO ₂ *Time	-.5238238	.2319401	-2.26	0.024	-.978413	-.0692297
Labor*Time	2.36588	.214578	0.32	0.000	.065214	1.32565
Capital*Time	.0000324	.0000147	2.20	0.028	3.49e-06	0000061
Energy*Time	3.13946	2.12881	1.08	0.279	-113132.8	392072.1
Energy Price	98.2015	1926.208	10.46	0.000	16368.68	23919.28



Energy) ² (Price	-. 0430359	.0026621	-16. 17	0. 000	-. 0482532	-. 0378183
Y* Energy Price	-1. 2456	325. 625	4. 36	0. 002	4. 215e-10	0.0003124
CO ₂ * Energy Price	7. 81e-06	2. 36e-06	3. 31	0. 001	3. 18e-06	0.000124
Energy*Ene rgy Price	.8281264	5. 268966	0. 16	0. 876	-9. 498857	11. 15511
Energy Price* Time	-190. 5213	74. 80557	-2. 55	0. 011	-337. 1376	-43. 90513
/sigma_u	0	5. 47e+07			-	-
/sigma_e	2. 68e+09	3. 45e+07			2. 61e+09	2. 74e+09
Likelihood-ratio test of sigma=0: chibar2 (01) = 0. 00 , Probe>=chibar2 = 1. 000 Adj R-squared = 0.2947 , R-squared = 0.3777						

منبع: محاسبات تحقیق

جدول (۵) برآوردهای تابع فاصله‌ی مستقیم را ارائه می‌کند. پارامترهای برآورد شده بیانگر این است که ضرایب‌های درجه‌ی اول برای خروجی‌ها و ورودی‌ها با توجه به رفتار اقتصادی مقادیر مورد انتظار را دارند. پس از بررسی علامت‌های پارامترهای درجه دوم، به نظر می‌رسد که نتایج جالبی را در بر بگیرند. با این حال این امر نیازمند تحلیل جامع‌تر جهت اندازه‌گیری تأثیر نهایی‌شان می‌باشد. بنابراین با استفاده از ضرایب برآورد شده در جدول (۵) می‌توانیم تأیید کنیم که پارامترهای مرتبط با متغیرهای روند زمانی (Time) و قیمت بلندمدت انرژی (Energy Price) مورد توجه خاص قرار دارند. پارامترهای منفی به معنی تغییرات مثبت فن آوری و پارامتر مثبت بیانگر تنزل فن آوری می‌باشد. بر اساس ضرایب بدست آمده در جدول فوق، مقدار عددی متغیر تولید (Y) عددی مثبت به دست آمده که بیانگر افزایش تولید در طول دوره‌ی زمانی مورد مطالعه می‌باشد. این مقدار برای مقدار عددی هزینه‌ی آلودگی (CO₂) نیز مقداری مثبت می‌باشد که بیانگر افزایش هزینه‌ی آلودگی انتشار یافته از سوی این صنایع می‌باشد. مقدار عددی ضریب نیروی کار و سرمایه نیز به ترتیب عددی منفی و مثبت بدست آمده است که می‌توان نتیجه گرفت در طول دوره زمانی با تغییر فناوری و فناوری تولید، میزان اشتغال نیروی کار در صنایع تولیدی به نسبت زیادی کاهش یافته است و بیشتر صنایع سرمایه‌بر شده‌اند تا کاربر. در مورد مقدار عددی هزینه انرژی نیز عددی مثبت به دست آمده است که می‌توان گفت در طول دوره هزینه‌ی حامل‌های

انرژی مورد استفاده در صنایع روندی صعودی داشته است که می‌توان گفت بخشی از این تغییر ناشی از افزایش تولید و بخشی از آن امر ناشی از استفاده از فناوری‌های قدیمی برای تولید می‌باشد. این فناوری‌ها نسبت به فناوری‌های روز دنیا فاصله زیادی داشته و این امر به نوبه خود سبب استفاده بیشتر از حامل‌های انرژی و در نتیجه افزایش هزینه انرژی مورد استفاده در صنایع می‌گردد. پس از برآورد ضرایب در معادله‌ی (۵)، در مرحله‌ی بعد به منظور تعیین میزان تغییر بهره‌وری بر اساس معادله‌ی (۸) برای هر سال، به محاسبه اجزاء معادله می‌پردازیم. در ابتدا میزان $(D^{t+1} - D^t)$ که بیانگر میزان تغییر کارایی می‌باشد محاسبه می‌گردد. در این قسمت برای محاسبه میزان کارایی از دو فرمول زیر استفاده می‌گردد و نتایج آن در نمودار (۱) بیان شده است.

(۱۳)

 D^t

$$= \alpha_0 + \sum_{n=1}^3 \alpha_n x_n^{kt} + \beta_1 y^{kt} + \beta_2 b^{kt} + \gamma_1 q + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^3 \sum_{m=1}^3 \alpha_{nm} x_n^{kt} x_m^{kt} + \sum_{n=1}^3 \delta_{n1} x_n^{kt} y^{kt} + b^{kt} \sum_{n=1}^3 \delta_{n2} x_n^{kt} + \sum_{n=1}^3 \mu_{n1} x_n^{kt} t + \sum_{n=1}^3 \mu_{n2} x_n^{kt} q + \frac{1}{2} \beta_{11} y^{2kt} + \beta_{12} y^{kt} b^{kt} + \partial_{y1} y^{kt} t + \partial_{y2} y^{kt} q + \frac{1}{2} \rho b^{2kt} + \phi_1 b^{kt} t + \phi_2 b^{kt} q + \frac{1}{2} \gamma_{11} t^2 + \frac{1}{2} \gamma_{22} t q^2 + \vartheta t q^t \quad (12)$$

 $D^{t+1} =$

$$\alpha_0 + \sum_{n=1}^3 \alpha_n x_n^{k(t+1)} + \beta_1 y^{k(t+1)} + \beta_2 b^{k(t+1)} + \gamma_1 q + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^3 \sum_{m=1}^3 \alpha_{nm} x_n^{k(t+1)} x_m^{k(t+1)} + \sum_{n=1}^3 \delta_{n1} x_n^{k(t+1)} y^{k(t+1)} + b^{kt} \sum_{n=1}^3 \delta_{n2} x_n^{k(t+1)} + \sum_{n=1}^3 \mu_{n1} x_n^{k(t+1)} (t+1) + \sum_{n=1}^3 \mu_{n2} x_n^{k(t+1)} q + \frac{1}{2} \beta_{11} y^{2k(t+1)} + \beta_{12} y^{k(t+1)} b^{k(t+1)} + \partial_{y1} y^{k(t+1)} (t+1) + \partial_{y2} y^{k(t+1)} q + \frac{1}{2} \rho b^{2k(t+1)} + \phi_1 b^{k(t+1)} (t+1) + \phi_2 b^{k(t+1)} q + \frac{1}{2} \gamma_{11} (t+1)^2 + \frac{1}{2} \gamma_{22} (t+1) q^{(t+1)^2} + \vartheta (t+1) q^{(t+1)} \quad (13)$$

پس از محاسبه میزان تغییر کارایی، در مرحله بعد اثر تغییر در فناوری برو نزا (ETCH) محاسبه می‌گردد که آن نیز طبق فرمول زیر محاسبه می‌گردد و نتایج آن در نمودار ۱ بیان شده است.

(۱۴)

$$\frac{\partial D^t}{\partial t} = \sum_{n=1}^3 \mu_{n1} x_n^{kt} + \partial_{y1} y^{kt} + \phi_1 b^{kt} + \gamma_{11} t + \frac{1}{2} \gamma_{22} q^{t^2}$$

$$\frac{\partial D^{t+1}}{\partial t} = \sum_{n=1}^3 \mu_{n1} x_n^{k(t+1)} + \partial_{y1} y^{k(t+1)} + \phi_1 b^{k(t+1)} + \gamma_{11}(t+1) + \frac{1}{2} \gamma_{22} q^{(t+1)2} + \vartheta q^{(t+1)}$$

در مرحله‌ی آخر نیز اثر قیمت القایی تغییر فن آوری (ITCH) محاسبه می‌گردد. همان‌طور که در معادله‌ی ۱۳ مشاهده می‌کنیم برای مرحله‌ی سه این شاخص، تغییرات در قیمت انرژی هر سال منهای قیمت انرژی در سال قبل یعنی

$$(qt+1 - qt), \text{ در عبارت } \left\{ \left(\frac{\partial D^{t+1}}{\partial q} + \frac{\partial D^t}{\partial q} \right) * 0.5 \right\} \text{ ضرب می‌گردد.}$$

(۱۵)

$$\frac{\partial D^t}{\partial q} = \gamma_1 + \sum_{n=1}^3 \mu_{n2} x_n^{kt} + \partial_{y2} y^{kt} + \phi_2 b^{kt} + \gamma_{22} t q^t + \vartheta t$$

(۱۶)

$$\frac{\partial D^t}{\partial q} = \gamma_1 + \sum_{n=1}^3 \mu_{n2} x_n^{k(t+1)} + \partial_{y2} y^{k(t+1)} + \phi_2 b^{k(t+1)} + \gamma_{22}(t+1)q^{(t+1)} + \vartheta(t+1)$$

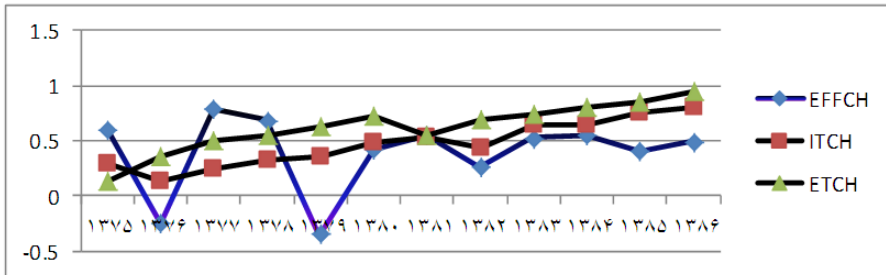
نتایج حاصل از محاسبات صورت گرفته، با استفاده از جدول (۶) و نمودار (۱) بیان شده است.

جدول ۶: نتایج حاصل از محاسبه PCH

سال	تغییر کارایی (EFFCH)	تغییر در فن آوری برونزا (ETCH)	قیمت القایی تغییر فناوری (ITCH)
۱۳۷۴	-	-	-
۱۳۷۵	0.59	0.3	0.14
۱۳۷۶	-0.25	0.13	0.35
۱۳۷۷	0.79	0.24	0.50
۱۳۷۸	0.68	0.32	0.54
۱۳۷۹	0.35	0.35	0.63
۱۳۸۰	0.42	0.48	0.73
۱۳۸۱	0.55	0.53	0.55
۱۳۸۲	-0.26	0.44	0.69
۱۳۸۳	0.52	0.65	0.74
۱۳۸۴	0.55	0.64	0.80
۱۳۸۵	0.4	0.75	0.85
۱۳۸۶	0.49	0.8	0.95

منبع: محاسبات تحقیق

نمودار ۱: نمودار (ETCH, EFFCH, ITCH) در طول دوره‌ی زمانی ۱۳۷۴-۱۳۸۶



منبع: محاسبات تحقیق

با توجه به نمودار شماره‌ی (۱) برای تغییر کارایی می‌توان گفت که تغییر کارایی دارای حالت موجی می‌باشد و در بعضی از سال‌ها مقدار این متغیر مثبت و در بعضی از سال‌ها مقدار منفی اختیار کرده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که واقعی کردن قیمت‌های حامل‌های انرژی از طریق جهانی کردن قیمت‌ها می‌تواند باعث افزایش کارایی انرژی شود. همچنین با افزایش قیمت‌های نسبی انرژی، تغییرات برونزای فناوری روندی افزایشی با نرخ کاهنده داشته است. از این رو می‌توان گفت که با افزایش قیمت‌های نسبی انرژی، انتشار آلودگی در طی دوره‌ی مورد مطالعه افزایش یافته است. در مورد تغییرات درونزای فناوری نیز با تغییر قیمت نسبی انرژی، فناوری با رشدی کاهنده افزایش پیدا کرده است (ITCH) با نرخ کاهنده افزایش پیدا می‌کند. بنابراین تغییر قیمت نسبی، تأثیری مثبت بر اثرات القایی قیمت بر روی فناوری‌های موجود در کشور ندارد زیرا فناوری در حالت قیمت ارزان انرژی در کشور به وجود آمده است و بنابراین فناوری کهنه است و امکان جانشینی بین نهاده‌های تولید برای کاهش مصرف انرژی وجود ندارد، فناوری از نظر مصرف انرژی کارا نیست. با این اوصاف به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که در طی دوره‌ی مورد مطالعه با افزایش قیمت‌های نسبی انرژی، با افزایش تولید و تغییرات خیلی کند فناوری، میزان انتشار آلودگی نیز افزایش پیدا کرده است.

۳- نتیجه‌گیری

با توجه به پارامترهای برآورد شده در جدول (۵)، می‌توان گفت که ضریب‌های درجه‌ی اول برای خروجی‌ها و ورودی‌ها با توجه به رفتار اقتصادی، مقادیر مورد انتظار را دارند. همچنین توابع فاصله حاصله شرایط تحدب هم روی ورودی‌ها و هم روی خروجی‌ها را برای اکثریت مشاهدات دارد. بر اساس ضرایب به‌دست آمده در جدول (۵)، مقدار عددی متغیر تولید (Y) عددی مثبت به‌دست

آمده که بیانگر افزایش تولید در طول دوره‌ی زمانی مورد مطالعه می‌باشد. این مقدار برای مقدار عددی هزینه‌ی آلودگی (CO_2) نیز مقداری مثبت می‌باشد که بیانگر افزایش هزینه‌ی آلودگی انتشار یافته از سوی این صنایع می‌باشد. مقدار عددی ضریب نیروی کار و سرمایه نیز به ترتیب عددی منفی و مثبت به دست آمده است که می‌توان نتیجه گرفت در طول دوره‌ی زمانی با تغییر فناوری و فناوری تولید، میزان اشتغال نیروی کار در صنایع تولیدی به نسبت زیادی کاهش یافته است و بیشتر صنایع سرمایه‌بر شده‌اند تا کاربر. در مورد مقدار عددی هزینه‌ی انرژی نیز عددی مثبت به دست آمده است که می‌توان گفت در طول دوره‌ی هزینه حامل‌های انرژی مورد استفاده در صنایع روندی صعودی داشته است که می‌توان گفت بخشی از این تغییر ناشی از افزایش تولید و بخشی از آن امر ناشی از استفاده از فناوری‌های قدیمی برای تولید می‌باشد. این فناوری‌ها نسبت به فناوری‌های روز دنیا فاصله زیادی داشته و این امر به نوبه خود سبب استفاده بیشتر از حامل‌های انرژی و در نتیجه افزایش هزینه انرژی مورد استفاده در صنایع می‌گردد. با توجه به نتایج جدول (۵) و محاسبات در نمودار ۱، می‌توان گفت که بین قیمت‌های نسبی انرژی و تغییرات فناوری در ایران طی دوره‌ی مورد مطالعه رابطه مشخصی وجود ندارد. با در نظر گرفتن این امر که تغییر قیمت نسبی، تأثیری مثبت بر اثرات القایی قیمت بر روی فناوری‌های موجود در کشور ندارد به عبارت دیگر فناوری در حالت قیمت ارزان انرژی در کشور به وجود آمده است و فناوری از نظر مصرف انرژی کارا نیست به دلیل پایین بودن کشش جانشینی، فناوری کهنه این صنایع نمی‌توانند نسبت به افزایش قیمت واکنش مناسب نشان دهند.

منابع

- Arrow, K. (1994). Catching Up, Forging Ahead, and Falling Behind. , *Journal of Economic History*, 46:385-406.
- Caputo, Michael R., Paris, Quirino (2005). An Atemporal Microeconomic Theory and an Empirical Test of Price-Induced Technical Progress. *Journal of Productivity Analysis*, 24: 259-281.
- Celikkol, P., Stefanou, S., (1999). Measuring the impact of price induced innovation on technological progress: application to the U. S. food processing and distribution sector. *Journal of Productivity Analysis* 12: 135-151.
- Christmann P. (2000). Effects of "Best Practices" of environmental management on cost advantage: the role of complementary assets. *Acad Manag J* 43(4): 663-680.
- Clarkson R. and Deyes K. (2002). Estimating the Social Cost of Carbon Emissions. *Government Economic Service Working Paper* 140.

- Coelli, T., (1995). Estimators and hypothesis test for a stochastic frontier function: a Monte-Carlo analysis. *Journal of Productivity Analysis* 6: 247–268.
- Conceição A. S. P., M. & Emmanuel, T. (2006). Malmquist indexes using a geometric distance function (GDF). Application to a sample of Portuguese bank branches. *J Prod Anal* 25:25–41.
- Esposti, Roberto and Pierani, Pierpaolo (2005). Price-Induced Technological Change in Italian Agriculture: An SGM Restricted Cost Function Approach (1951-91). Paper prepared for presentation at the XIth Congress of the EAAE (European Association of Agricultural Economists), Copenhagen, Denmark: 24-27.
- Färe R, Grosskopf S, Tyteca D. (1996). An activity analysis model of the environmental performance of firms application to fossil-fuel-fired electric utilities. *Ecol Econ* 18:161–175
- Färe R., Grosskopf S., Carl A. Pasurka Jr. (2007). Environmental production functions and environmental directional distance functions. *Energy* 32 :1055–1066
- Färe, R., Grosskopf, S., Noh, D-W, Weber, W. (2005). Characteristics of a polluting technology: theory and practice. *Journal of Econometrics*.
- Färe R., Filho, C. M., Vardanyan, M. (2009). On functional form representation of multi-output production technologies. *J Prod Anal* DOI 10.1007/s11123-009-0164-4.
- Fuentes, H. J., Emili Grifell-Tatjé, Sergio Perelman (2001). A parametric distance function approach for Malmquist productivity index estimation. *Journal of Productivity Analysis*, 15: 79–94.
- Gallagher, K. S., Holdren, J. P., Sagar, A. D., (2006). Energy-technology innovation. *Annual Review of Environment and Resource* 31:193–237.
- Hailu, A., Veeman, T. S., (2001). Non-parametric productivity analysis with undesirable outputs: an application to the Canadian pulp and paper industry. *American Journal of Agricultural Economics* 83: 605–616.
- Halkos. G. E., Tzeremes. N. G. (2012). Measuring German regions' environmental efficiency: a directional distance function approach. *Lett Spat Resour Sci* 5:7–16.
- Halkos. G. E., Tzeremes. N. G., (2011). Measuring regional environmental efficiency: A directional distance function approach. *MPRA Paper* No. 32934.
- Handbook of Environmental Economics, vol. 1, North-Holland: 461–516.
- Hicks, J. R., 1932. *The Theory of Wages*. St. Martins, New York.
- Karanfil, Fatih, Yeddir-Tamsamani, Yasser. (2010). Is technological change biased toward energy? A multi – sectoral analysis for the French economy. *Energy policy* 38(2010): 1842-1850.
- Khanna Madhu, Kumar Surender. (2011). Corporate environmental management and environmental efficiency. *Environ Resource Econ* (2011) 50:227–242.

- Kumar, S. & Managi, S. (2009). Trade-induced technological change: *Analyzing economic and environmental outcomes Economic Modelling* 26: 721-732.
- Kumar, S. & Managi, S. (2009). Energy price -induced and exogenous technological change: Assessing the economic and environmental outcomes. *Resource and Energy Economics*. 31:334-353.
- Lindenberger, D., Kummel, R. (2002). Energy-dependent production functions and the optimization model "PRISE" of price-induced Sectoral Evolution. *Int. J. Applied Thermodynamics*, Vol. 5 (No. 3: 101-107.
- Linn, Joshua (2006). Energy prices and the adoption of energy-saving technology. *Center for Energy and Environmental Policy Research*, 06-012 WP.
- Managi, S., Jena, P. R., (2008). Environmental productivity and Kuznets curve in India. *Ecological Economics* 2 (1):432-440.
- Managi, S., Opaluch, J. J., Jin, D., Grigalunas, T. A. (2006). Stochastic frontier analysis of total factor productivity in the offshore oil and gas industry. *Ecological Economics*, 60: 204-215.
- Managi, S., Opaluch, J. J., Jin, D., Grigalunas, T. A. (2005). Technological change and petroleum exploration in the Gulf of Mexico. *Energy Policy*, 33 (2005): 619-632.
- Mansfield, E. (1968). *The Economic of Technological Change*. New York, NY: W. W. Norton
- Popp, D. (2002). Induced innovation and energy prices. *American Economic Review* 92: 160-180
- Ray, S. (2008). The directional distance function and measurement of super-efficiency: an application to airlines data. *Journal of the Operational Research Society* (2008) 59: 788-797
- Tadeo, A. J. P., Martinez, E. R., Sancho, F. H. (2005). Directional distance functions and environmental regulation. *Resource and Energy Economics* 27 (2005): 131-142
- Watanabe, M., Katsuya Tanaka (2007). Efficiency analysis of Chinese industry: A directional distance function approach. *Energy Policy* 35 (2007): 6323-6331.