فصلنامه اقتصاد محیط زیست و انرژی
سال اول، شماره ۲، بهار ۱۳۹۱، صفحات ۱۲۶-۹۳

تحلیل بهره‌وری و کارایی زیست‌محیطی در کشورهای منتخب واردکننده و صادرکننده منابع انرژی فسیلی: رویکرد تابع مسافت جهت‌دار

علی رضائی*، دکتر حمید آماده و دکتر تیمور محمدی*****

تاریخ دریافت: ۱۸ خرداد ۱۳۹۰ تاریخ پذیرش: ۳۰ آذر ۱۳۹۰

با توجه به آثار زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های اقتصادی و هزینه‌های ناشی از آن، عدم توجه به این آثار در ارزیابی عملکرد اقتصادی منجر به نتایجی دور از واقع می‌گردد. در این مقاله از شاخص کارایی و بهره‌وری زیست‌محیطی برای ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی- اقتصادی دو گروه از کشورهای منتخب واردکننده و صادرکننده سوخت‌های فسیلی استفاده گردید. همچنین عوامل مؤثر بر بهره‌وری زیست‌محیطی با استفاده از فرضیه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهند بهره‌وری زیست‌محیطی کشورهای واردکننده به طور متوسط در دوره زمانی ۲۰۰۷-۱۹۹۷ به اندازه ۰/۱٤ درصد و کشورهای صادرکننده در دوره مشابه ۰/۷ رشد داشته است. همچنین رابطه بین بهره‌وری زیست‌محیطی و درآمد سرانه در هر دو گروه از کشورها به شکل N معکوس است.

واژه‌های کلیدی: کارایی زیست‌محیطی، بهره‌وری زیست‌محیطی، منحنی کوزنتس، سوخت‌های فسیلی.
طبقه‌بندی JEL: C65، D24، C01، Q5.

* کارشناس ارشد اقتصاد محیط‌زیست دانشگاه علامه طباطبائی Ali.Rezaei.ee@gmail.com
** عضو هیئت علمی دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبائی Amadeh@gmail.com
*** عضو هیئت علمی دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبائی

۱. مقدمه

افزایش نگرانی‌های اخیر در مورد خطرات زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های اقتصادی مانند انتشار آلاینده‌ها که منجر به تغییرات آب و هوا و گرم شدن کره زمین می‌گردد، باعث شده است تا مسائل زیست‌محیطی ناشی از این فعالیت‌ها در ارزیابی عملکرد بنگاه‌های اقتصادی لحاظ گردند.

با توجه به اینکه فرایند رشد اقتصادی ناگزیر از تخریب محیط زیست است سیاستگذاری مناسب در این راستا امری اجتناب‌ناپذیر در نیل به سطح بهینه تخریب محیط زیست است. این سیاست‌ها دارای ابعاد سه‌گانه اقتصادی، تکنولوژیکی و اکولوژیکی هستند. در بعد اقتصادی راهکارهایی با استفاده از علائم قیمتی ارائه می‌شوند، در بعد تکنولوژیکی راهکارهای مربوط به گسترش و پیاده‌سازی تکنولوژی مناسب مطرح هستند. بعد اکولوژیکی نگاه جامع بر رابطه انسان-طبیعت را می‌پذیرد و مستلزم حسابداری سبز[1] یا توسعه پایدار[2] است.[3] اما تلاش‌های خستگی‌ناپذیر برای تسریع رشد اقتصادی ملاحظات زیست‌محیطی را به عنوان هدف دوم سیاستگذاری در کشورهای در حال توسعه قرار داده است.[4]

طبیعتاً هزینه‌های پیشگیری از آلودگی در برخی بنگاه‌ها باعث انتقال قسمتی از منابع در اختیار بنگاه از بخش تولید ستانده مطلوب به سمت کاهش آلودگی می‌گردند، حال اگر در ارزیابی عملکرد این بنگاه‌ها ملاحظات زیست‌محیطی مد نظر قرار نگیرند، عملکرد اقتصادی آن‌ها در مقایسه با بنگاه‌هایی که هزینه‌ای را برای پیشگیری از آلودگی صرف نکرده‌اند کمتر از حد واقعیت برآورد می‌گردد. بنابراین با لحاظ کردن آلودگی به عنوان یک اثر جانبی[5] در فرایند تولید، عملکرد اقتصادی به صورت واقعی ارزیابی خواهد شد.

هدف این مقاله محاسبه کارایی و بهره‌وری کشورهای منتخب با لحاظ کردن انتشار دی‌اکسیدکربن تولید شده در فرایند تولید است. سپس عوامل مؤثر بر بهره‌وری زیست‌محیطی در قالب منحنی زیست‌محیطی کوزنتس تحلیل می‌گردند.

بخش اول مقاله شامل مبانی نظری تحقیق است که در آن مباحث اندازه‌گیری بهره‌وری و کارایی و همچنین فرضیه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس ارائه گردیده است. مطالعات تجربی انجام پذیرفته در بخش دوم بیان شده‌اند. بخش سوم مباحث مربوط به روش‌شناسی اندازه‌گیری

1. Green Accounting
2. Sustainable Development
3. Kumar (2006)
4. Managi, Jena (2008)
5. Externality

بهره‌وری و کارایی زیست‌محیطی را دربر دارد. بخش چهارم به تجزیه و تحلیل داده‌ها اختصاص یافته است. نتایج و تحلیل آن در بخش پنجم بیان شده‌اند و سرانجام در بخش آخر سیاست‌های پیشنهادی ارائه گردیده‌اند.

۲. چارچوب نظری

بطور معمول کارایی در ارتباط با نحوه تخصیص بهینه منابع کمیاب توسط بنگاه برای نیل به اهداف تولید است. کارایی تولیدی یک بنگاه با توجه به رابطه بین مقادیر بهینه و مقادیر مشاهده شده آن تعیین می‌گردد. زمانی که صحبت از کارایی یک بنگاه به میان می‌آید معمولاً به معنای موفقیت آن بنگاه در رسیدن به حداکثر ستانده با سطح معین نهاده است.[۱] کارایی مفهومی نسبی است و برای سنجش کارایی، باید عملکرد بنگاه مورد نظر با کارایی در شرایط بالقوه تولید مقایسه شود تا مشخص شود که کارایی بنگاه‌ها و واحدهای تولیدی از اندازه مورد انتظار و ایده‌آل تا چه حد فاصله دارد.[۲] برای این که بتوان کارایی یک بنگاه را مورد ارزیابی قرار دهیم در ابتدا نیازمند آن هستیم که مرز کارای بنگاه را شناسایی کرده و بر مبنای فاصله بنگاه از وضعیت ایده‌آل آن میزان عدم کارایی و به تبع آن کارایی را مشخص نماییم. برای حل این مسئله، دو رویکرد عمده وجود دارد. نخست، رویکرد پارامتریک[۳] که در این رویکرد با فرض یک شکل تابعی برای مرز کارایی (کاب داگلاس، ترانسلوگ و ...) و نوع توزیع عدم کارایی (نرمال یک طرفه ، گاما و ...)، آن را با استفاده از روش‌های مرسوم اقتصاد سنجی تخمین می‌زنند. در ابتدا این رویکرد با استفاده از مدل مرزی معین دنبال شد که در آن عدم کارایی، تلفیقی از عدم کارایی واقعی و جزء اخلال تخمین بود. برای رفع این مشکل مدل مرزی احتمالی[۴] توسط تیمر[۵] معرفی گردید. سرانجام ایگنر، لاول و و اشمیت[۶] بارزترین مدل مرزی یعنی تابع تولید مرزی تصادفی[۷] را ارائه نمودند. این رویکرد در ادبیات اقتصادی به SFA[۸] معروف است رویکرد دوم، رویکرد ناپارامتریک[۹] است. چارنز[۱۰]،

1. Farrell (1957)

۲. مهرگان و مبارک (۱۳۸۷)

3. Parametric
4. Probabilistic
5. Timmer (1971)
6. Aigner, Lovell and Schmidt (1977)
7. Stochastic Frontier Production Function
8. Stochastic Frontier Analysis (SFA)
9. Non-parametric
10. Charnes

کوپر[1] و رودز[2] در سال ۱۹۷۸ مجموعه‌ای از مسائل برنامه‌ریزی خطی را برای فرموله نمودن اندازه-اندازه‌گیری شاخص کارایی فنی فارل ارائه نمودند. روش آنها در ارزیابی کارایی به تحلیل پوششی داده‌ها[3] (DEA) معروف گردید. در این روش نیازی به مشخص نمودن شکل تابعی وجود ندارد و و از روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی استفاده می‌گردد.

مطالعه صورت گرفته توسط اینگر، لاول و اشمیت (۱۹۷۷) و چارنز، کوپر و رودز (۱۹۷۸) پایه مطالعات کارایی در رویکردهای مرزی پارامتریک و ناپارامتریک را تشکیل می‌دهند.

بهره‌وری

ادبیات موجود در زمینه اندازه‌گیری بهره‌وری کل عوامل تولید شامل دو رویکرد مرزی[4] و غیرمرزی[5] است که هرکدام از این رویکردها نیز دارای دو زیرشاخه از روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک هستند.[6] منظور از رویکردهای مرزی آن دسته از شاخص‌هایی هستند که از یک مرز کارا برای اندازه‌گیری کارایی و بهره‌وری استفاده می‌کنند. رویکردهای غیرمرزی شامل آن دسته از روش‌هایی است که فرض می‌کنند محصول تولیدی بنگاه در هر حالت برابر با محصول متناظر با این سطح از نهاده و تکنولوژی بر روی مرز کارا است، به عبارت دیگر بنگاه همواره بر روی مرز کارا قرار دارد.

حسابداری رشد[7]، شاخص دیویژیا[8] و شاخص تورنکوئیست[9] جز شاخص‌های رویکرد غیرمرزی مبتنی بر روش‌های ناپارامتریک برای محاسبه رشد بهره‌وری کل عوامل تولید هستند. شاخص‌های پارامتریک در رویکرد غیرمرزی مبتنی بر تخمین یک تابع تولید و یا دوگان یعنی یک تابع هزینه و استفاده از آن‌ها برای محاسبه رشد بهره‌وری کل عوامل تولید است. انتقادی که به رویکرد غیرمرزی وارد می‌شود توجه نکردن به مسئله عدم‌کارایی است.[10] اندازه‌گیری بهره‌وری و کارایی با استفاده از رویکردهای مرزی تقریباً مشابه با هم‌دیگر است. همانطور که پیشتر بیان شد، در رویکرد مرزی پارامتریک برای بنگاه یک مرز کارا تخمین زده می‌شود. برخی از این مطالعات

---

1. Cooper
2. Rohdes
3. Data Envelopment Analysis (DEA)
4. Frontier
5. Non-frontier
6. Grosskopf (1993)
7. Growth Accounting
8. Divisia Index
9. Tornqvist
10. Grosskopf (1993)

انجام پذیرفته در این زمینه برای اندازه‌گیری تغییر فنی، یک تابع تولید مرزی و برخی دیگر تابع هزینه یا سود یا مسافت[1] را تخمین زده و از آن برای محاسبه شاخص‌های بهره‌وری استفاده می‌نمایند. اما در روش‌های مرزی ناپارامتریک، مرز کارا با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) و تکنیک‌های برنامه‌ریزی خطی تعیین می‌گردد. از جمله شاخص‌های بهره‌وری که در این رویکرد مورد استفاده قرار می‌گیرد شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست[2] است.

مفهوم شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست برای اولین بار توسط مالم‌کوئیست (۱۹۵۳) مطرح گردید.[3] براساس ایده مالم‌کوئیست شاخص بهره‌وری مبتنی بر توابع مسافت شفارد را ارائه دادند. کاوس و همکاران معتقد بودند که شاخص مالم‌کوئیست یک شاخص صرفاً تئوریک است که نمی‌توان در مطالعات تجربی از آن استفاده نمود به این ترتیب، از شاخص مالم‌کوئیست به عنوان یک نقطه شروع استفاده نمودند. با استفاده از شاخص تورنکوئیست که محاسبه تجربی آن نسبتاً آسان است و در نظر برخی فروض به اندازه‌گیری تجربی آن پرداختند. به این ترتیب گروهی از شاخص‌ها بر مبنای توابع مسافت به وجود آمدند. همزمان با کاوس و همکاران، نیشیمیزو و پیج[4] با استفاده از رویکرد تابع مرزی[5] یک مطالعه تجربی در مورد شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست انجام دادند. در این مطالعه شاخص بهروری به مؤلفه‌های تغییر فنی[6] و تغییر کارایی[7] تجزیه شد. سرانجام سرانجام فاره، گراسکوپف، لیندگرن و روس[8] با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها توابع مسافت مورد در شاخص مالم‌کوئیست را اندازه گرفتند و روشی دیگر برای محاسبه شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست و مؤلفه‌های آن ارائه دادند.

$$M_t^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \frac{D_O^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_O^t(x^t, y^t)} \times \left[\frac{D_O^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_O^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \frac{D_O^t(x^t, y^t)}{D_O^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

که در آن

1. Distance Function
2. Malmquist
3. Caves, Christensen and Diewert (1982)
4. Nishimizu and Page (1982)

۵. آیگنر و چو (۱۹۶۸)

6. Technical Change (TC)
7. Efficiency Change (EC)
8. Fare, Grosskopf, Lindgren and Roos (1992)

$$M_t^{t+1} = EC_t^{t+1} \times TC_t^{t+1}$$

جز اول رابطه (۱) را تغییر کارایی EC را نشان می‌دهد و جز دوم آن که برابر با تغییر فنی، TC است.

۲-۱. کارایی و بهره‌وری زیست‌محیطی

تا به حال تصویری کلی از روند اندازه‌گیری بهره‌وری و کارایی ارائه گردید. مسئله دیگری که اخیراً و با افزایش نگرانی‌ها در مورد مسائل زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های اقتصادی مورد توجه قرار گرفته است لحاظ کردن آسیب‌های زیست‌محیطی در اندازه‌گیری کارایی و بهره‌وری بنگاه‌های اقتصادی در سطح خرد و کشورها در سطح کلان است. در این بخش با تمرکز بر روی روش‌های مرزی و ناپارامتریک در اندازه‌گیری بهره‌وری و کارایی، روش‌های مختلف الگوسازی برای ستانده‌های نامطلوب ناشی از فرایندهای تولیدی را بیان خواهیم نمود.

با توجه به ادبیات نظری موجود در زمینه الگوسازی برای ستانده نامطلوب، روش‌های مختلف و رایج در این زمینه به شرح زیر است. یک روش این است که ستانده نامطلوب به عنوان نهاده درنظر گرفته شود.[1] فاره و گراسکوپف[2] معتقدند که از نظر فنی امکان‌پذیر نیست که نهاده مطلوب مطلوب و نامطلوب جانشین هم شوند. برای نمونه در نیروگاه تولید برق با سوخت زغال سنگ این امکان وجود ندارد که برای تولید سطح معینی از الکتریسیته گاز SO_2 (ستانده نامطلوب که به عنوان نهاده لحاظ شده است) را جایگزین زغال سنگ کنیم. از طرفی سیفورد و ژو[3] بیان می‌کنند که اگر ستانده نامطلوب را به عنوان نهاده درنظر بگیریم نتایج حاصل از روش DEA فرایند واقعی تولید را منعکس نمی‌کنند. از طرفی ما به دنبال کاهش ستانده نامطلوب و افزایش ستانده مطلوب هستیم یعنی برخورد نامتقارن با این دو ستانده مدنظر خواهد بود که در روش‌های معمولی DEA این مسئله مدنظر قرار نمی‌گیرد. روشی که سیفورد و ژو برای حل مشکل ارائه دادند بدین صورت است که در ابتدا ستانده نامطلوب را در منفی ضرب می‌نماییم و سپس یک بردار تبدیل پیدا می‌کنیم که جمع آن با داده‌های منفی، یک بردار مثبت از داده‌ها را ایجاد نماید. اما این روش را می‌توان فقط در حالت بازدهی به مقیاس ثابت مورد استفاده قرار داد.[4] روش دیگر این است که

۱. رافعی (۱۳۸۹)

2. Fare and Grosskopf (2004)
3. Zhu (2002)
4. Sheel (2001)

معکوس ستانده نامطلوب را به عنوان یک ستانده مطلوب در نظر بگیریم.[۱] کوپر و همکاران (۲۰۰۷) معتقدند که این روش منجر به تغییر شکل مرزهای کارایی می‌شود و ممکن است تفاسیر متفاوتی از وضعیت کارایی بنگاه بوجود آورد. از طرفی دیکهوف[۲] نیز سخت شدن تحلیل نتایج و از دست رفتن شکل خطی را مشکل این روش می‌داند. برای نمونه وی بیان می‌کند که $\frac{۱}{۰}$ معنی‌دار نخواهد بود. روش‌های فوق همگی روش‌های غیرمستقیم وارد کردن ستانده نامطلوب در مدل تولید هستند.

از جمله روش‌های مرزی و پارامتریک که حضور ستانده نامطلوب در فرایند تولید در آن‌ها به صورت مستقیم مدنظر قرار می‌گیرد شامل رویکرد توابع مسافت جهت‌دار[۳] (چونگ[۴] و همکاران) و مدل‌های SBM[۵] است.[۶] این دو دیدگاه مدل تولیدی را ارائه می‌دهند که با استفاده از آن می‌توان شاخص‌های کارایی و بهره‌وری معمول را نسبت به حضور ستانده نامطلوب تعدیل نمود.

ایده توابع مسافت جهت‌دار برگرفته از تابع فایده[۷] در زمینه تئوری مصرف‌کننده و تابع کمبود[۸] کمبود[۸] در تئوری تولیدکننده است که توسط لیونبرگر[۹] مطرح گردیده‌اند. از آنجا که وجود ستانده‌های مشترک و نامطلوب در فرایند تولید ستانده مطلوب بیشتر عاملی مشکل‌زا مطرح می‌شد، محققان اقتصادی به دنبال ارائه ابزاری بودند که با استفاده از آن عملکرد اقتصادی بنگاه‌ها را با حضور ستانده نامطلوب بسنجند. چونگ (۱۹۹۶) در رساله دکتری خود با عنوان «توابع مسافت جهت‌دار و ستانده نامطلوب» با استفاده از توابع مسافت ستانده شفارد توانست تابع مسافت جهت‌دار ستانده[۱۰] را ارائه نماید. تابعی که امکان افزایش همزمان ستانده مطلوب و کاهش ستانده نامطلوب را فراهم می‌آورد و استفاده از آن در ارزیابی عملکرد، کارایی و بهره‌وری فعالیت‌های اقتصادی از منظر مسائل زیست‌محیطی بسیار مفید است. تابع مسافت جهت‌دار ستانده در حضور ستانده نامطلوب به صورت زیر تعریف می‌شود:[۱۱]

---

1. Lewis and Sexton (2004)
2. Dyckhof (2002)
3. Directional Distance Function
4. Chung, *et al* (1997)
5. Slack Based Model (SBM)

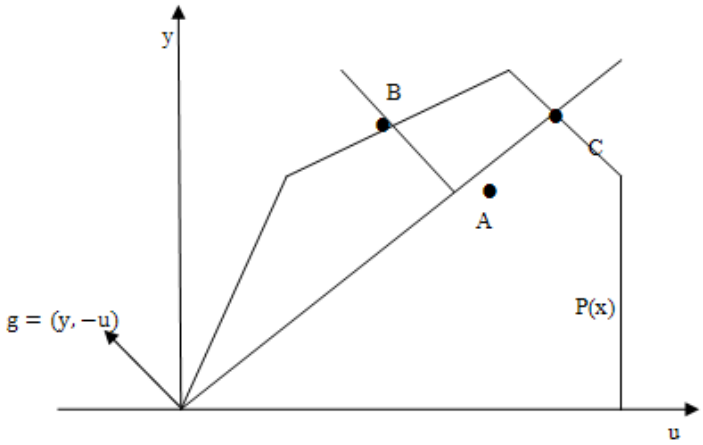
۶. تن (۲۰۰۴) و کوپر و همکاران (۲۰۰۷)، فصل ۱۳

7. Benefit
8. Shortage
9. Luenberger (1992)
10. Directional Output Distance Function (DODF)

۱۱. چونگ و همکاران (۱۹۹۷)

$$\vec{D}_O(x,y,u;g_{y'}-g_u)=\sup\{\beta:(y+\beta g_{y'},u-\beta g_u)\in P(x)\} \qquad (۳)$$

در رابطه (۳)، $g=(g_{y'}-g_u)$ نشانگر بردار هادی[1] است که ستانده مطلوب، y در راستای آن آن افزایش و ستانده نامطلوب، u در راستای آن کاهش می‌یابد.



نمودار ۱. تابع مسافت‌جهت‌دار ستانده در حضور ستانده نامطلوب

شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست- لیونبرگر و شاخص بهره‌وری لیونبرگر زیست‌محیطی[2] از جمله شاخص‌های بهره‌وری زیست‌محیطی هستند که بر مبنای توابع مسافت جهت‌دار در حضور ستانده نامطلوب بنا گردیده‌اند. همچنین می‌توان شاخص مالم‌کوئیست را با استفاده از مدل‌های SBM در حضور ستانده نامطلوب تعدیل نمود که معیار دیگری برای سنجش بهره‌وری زیست‌محیطی است.[3]

۲-۲. بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری زیست‌محیطی

برای بررسی رابطه عوامل مؤثر بهره‌وری زیست‌محیطی از فرضیه بسیار معروف منحنی زیست‌محیطی کوزنتس EKC[4] استفاده خواهیم نمود. براساس این فرضیه بین میزان آلودگی

1. Direction Vector

۲. فاره و گراسکوپف (۲۰۰۴)، ص ۵۳

۳. کوپر و همکاران (۲۰۰۷)، فصل ۱۱

4. Environmental Kuznets Curve

(ستانده نامطلوب) و درآمد ملی هر کشور یک ارتباط به شکل U معکوس وجود دارد.[۱] به این ترتیب کشورها در مراحل اولیه توسعه با افزایش سطح درآمد ملی خود شاهد سطوح بالاتر آلودگی و تخریب زیست‌محیطی خواهند بود تا این‌که در یک نقطه برگشت این آلودگی به دلایلی مانند بهبود تکنولوژی، افزایش تقاضای مردم برای کیفیت بالاتر زیست‌محیطی و ... با افزایش سطوح درآمد رو به کاهش بگذارد. اما برخی از مطالعات استفاده از متغیر وابسته سطح آلودگی را مورد انتقاد قرار می‌دهند. در واقع مطالعاتی که رابطه U معکوس را مورد تأیید قرار داده‌اند EKC را یک پدیده تجربی[۲] می‌دانند بدون آنکه مکانیسم بنیادی را که منجر به رشد و تولید آلاینده‌ها می‌گردند مورد بررسی قرار بدهند. تنها توضیحی که ارائه گردیده است این است که یک کشور زمانی‌که به استانداردهای معین زندگی می‌رسد نگرانی‌ها در ارتباط با محیط زیست آشکار می‌گردند و تعدیلات نهادی، قانونی و تکنولوژیکی برای کاهش تخریب محیط زیست افزایش می‌یابند.[۳] علاوه بر این، مطالعات این مسئله را مورد توجه قرار نمی‌دهد که دو متغیر سرانه تولید و میزان انتشار آلودگی یا سرانه آلودگی در منحنی زیست‌محیطی کوزنتس خود حاصل فرایند تولید هستند[۴] و وجه مشترک همه مطالعات این است که فرم خلاصه‌شده[۵] توانایی شناسایی این مکانیسم زیرین تولید[۶] را ندارد. این در حالی است که که ممکن است که در سطوح بالاتر درآمد تعدیل و دگرگونی فرایند تولید منجر به بهبود عملکرد زیست‌محیطی نگردد. بعلاوه این حقیقت که مطالعات انجام شده در ارتباط با عملکرد زیست‌محیطی و رشد اقتصادی برای هر یک از آلاینده‌ها بصورت فردی انجام پذیرفته است نشان می‌دهند که تحلیل‌ها در چارچوب تعادل جزئی مطرح می‌گردند و این مسئله مؤید نامحتمل بودن دستیابی به یک نتیجه‌گیری سیاستی بدون شبهه است. نیاز آشکار به یک شاخص عملکرد زیست‌محیطی واحد و یک روش که به صورت مستقیم فرایند زیرین تولید که نهاده‌ها را به ستانده و آلاینده‌ها تبدیل می‌کنند باعث گردیده است تا برخی از مطالعات در اندازه‌گیری عملکرد زیست‌محیطی بر روی تئوری تولید متمرکز گردند.[۷]

---

۱. دیندا (۲۰۰۴)

2. Empirical Phenomena
3. Zaim and Taskin (2000)
4. *Ibid*
5. Reduced Form
6. Underlying Production Mechanism

۷. فاره و گراسکوپف (۲۰۰۴)، ص ۷۸

این مطالعات از شاخص‌های جدیدی چون کارایی و بهره‌وری زیست‌محیطی و شاخص عملکرد زیست‌محیطی به عنوان متغیر وابسته استفاده می‌کنند.

اگر از بهره‌وری زیست‌محیطی به عنوان متغیر وابسته در فرضیه کوزنتس استفاده کنیم، رابطه بین بهروری زیست‌محیطی و سطح درآمد کشور به صورت یک منحنی U شکل خواهد بود. البته ممکن است رابطه EKC در بلندمدت برقرار نباشد و یا به جای منحنی U معکوس به شکل منحنی N معکوس تبدیل شود.[۱]

۳. مطالعات تجربی

ماناجی و کانکو[۲] به مطالعه بهره‌وری زیست‌محیطی کشور چین در سال‌های ۲۰۰۱-۱۹۸۷ با استفاده از داده‌های استانی پرداخته‌اند. در این مطالعه بهره‌وری یک بار به صورت کلی با لحاظ ستانده‌های مطلوب (بازاری) و نامطلوب (زیست‌محیطی) و بار دیگر بدون لحاظ ستانده نامطلوب اندازه‌گیری شده است و شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی از نسبت بهره‌وری نوع اول به دوم به دست می‌آید. در محاسبه بهره‌وری از رویکرد توابع مسافت استفاده گردیده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که در سال‌های ۱۹۹۴-۱۹۹۱ به دلیل توجه کمتر به کاهش آلودگی در چین، بهره‌وری کلی به صورت چشمگیر افزایش و بهره‌وری زیست‌محیطی کاهش یافته است.

کومار (۲۰۰۶) از شاخص بهره‌وری لیونبرگر- مالم‌کوئیست برای اندازه‌گیری بهره‌وری کل عوامل تولید در دو گروه از کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه استفاده نمود. ستانده‌های مورد استفاده در این مطالعه تولید ناخالص داخلی، انتشار دی‌اکسیدکربن و نهاده‌ها مورد استفاده نیروی کار، ذخیره سرمایه و مصرف انرژی است. پس از محاسبه بهره‌وری زیست‌محیطی، عوامل مؤثر بر بهره‌وری زیست‌محیطی در قالب منحنی کوزنتس مورد بررسی قرار گرفته است.

کومار و خانا[۳] در مطالعه‌ای به اندازه‌گیری بهره‌وری کارایی زیست‌محیطی در بین ۳۸ کشور منتخب در دوره ۱۹۹۲-۱۹۷۱ پرداخته‌اند. برای اندازه‌گیری بهره‌وری و کارایی از توابع مسافت جهت‌دار استفاده گردیده است. همچنین نتایج حاصل نشان می‌دهند که بین بهره‌وری زیست‌محیطی و درآمد سرانه در کشورهای گروه اول مورد مطالعه رابطه از نوع منحنی کوزنتس برقرار است.

---

۱. دیندا (۲۰۰۴)

2. Managi and Kaneko (2004)
3. Khana (2009)

ماناجی و جنا[1] به بررسی رابطه بین بهره‌وری زیست‌محیطی و منحنی کوزنتس در کشور هند پرداخته‌اند. در این بررسی از دی‌اکسید سولفور، دی‌اکسید نیتروژن و ذرات معلق به عنوان ستانده نامطلوب استفاده گردیده است. بهره‌وری زیست‌محیطی با استفاده از شاخص بهره‌وری لیونبرگر مورد محاسبه قرار گرفته است که بر مبنای توابع ستانده جهت‌دار قرار دارد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که بهره‌وری زیست‌محیطی در هند بین سال‌های ۲۰۰۳-۱۹۹۱ رو به کاهش بوده است.

ناصرزاده (۱۳۸۹) به بررسی کارایی زیست‌محیطی نیروگاه‌های کشور بین سال‌های ۸۲ تا ۸۶ پرداخته است. ستانده‌های تولید برق و انتشار دی‌اکسیدکربن به عنوان ستانده مطلوب و نامطلوب و نیروی کار، سوخت مصرفی و ظرفیت نامی نیروگاه عنوان نهاده مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل از روش DEA، نشان می‌دهند که کارایی زیست‌محیطی، ۴۰ نیروگاه مورد بررسی در دوره مورد نظر در حال کاهش بوده است. همچنین بین کارایی زیست‌محیطی و نوع سوخت مصرفی در نیروگاه‌ها رابطه معناداری وجود دارد. در این مطالعه ستانده نامطلوب نرمال شده و به صورت ستانده مورد استفاده قرار گرفته است.

رافعی (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای به بررسی رابطه بین رشد اقتصادی، انتشار آلودگی و کارایی زیست‌محیطی در کشورهای ایران، قطر، بحرین، ترکیه، عربستان، کویت و امارات متحده عربی پرداخته است. وی برای محاسبه کارایی از روش تحلیل پوششی داده‌ها با رویکرد نهاده محور استفاده نموده و آلودگی را به عنوان یک نهاده وارد مدل کرده است. در این مطالعه از شکل درجه سوم این منحنی استفاده گردیده است. برای دوره زمانی ۲۰۰۵-۱۹۹۵ نتایج نشان می‌دهند که منحنی کوزنتس زیست‌محیطی برای کشورهای منتخب در قسمت صعودی خود قرار دارد.

٤. روش‌شناسی

در این بخش از مطالعه روش‌های مورد استفاده برای اندازه‌گیری کارایی و بهره‌وری زیست‌محیطی در بین کشورها و مدل عوامل مؤثر بهره‌وری زیست‌محیطی را معرفی خواهیم نمود.

فرض می‌کنیم در فرایند تولید با استفاده از بردار نهاده $x = (x_1,\ldots,x_N) \in R_+^N$ بردار ستانده مطلوب $y = (y_1,\ldots,y_M) \in R_+^M$ و بردار ستانده نامطلوب $u = (u_1,\ldots,u_2) \in R_+^K$ حاصل می‌گردند. دو فرض اساسی در رابطه با ستانده‌های نامطلوب،

1. Jena (2008)

پیوستگی در مبدأ[1] و قابلیت دفع ضعیف[2] هستند برای اینکه تولید ستانده نامطلوب در مدل فوق انعکاس یابد بایستی دو ویژگی زیر به آن اضافه گردند.

براساس ویژگی پیوستگی در مبدأ بردار ستانده مطلوب، y با بردار ستانده نامطلوب، u فقط در مبدأ مختصات دارای پیوستگی هستند که آن را به صورت زیر نمایش می‌دهیم:

$$(y,u) \in P(x) \ , \ u = ۰ \Rightarrow y = ۰ \qquad (۴)$$

با توجه به رابطه (۴) مفهوم پیوستگی در مبدأ، این است که هیچ ستانده مطلوبی تولید نمی‌شود مگر آنکه ستانده نامطلوب نیز تولید گردد. در واقع اگر مقدار ستانده نامطلوب برابر صفر باشد، تولیدی صورت نگرفته است و میزان ستانده مطلوب نیز صفر خواهد بود. ویژگی قابلیت دفع ضعیف در مورد ستانده نامطلوب به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$(y,u) \in P(x) \ , \ ۰ \le \theta \le ۱ \Rightarrow (\theta y, \theta u) \in P(x) \qquad (۵)$$

رابطه (۵) نشان می‌دهد اگر تولید ستانده نامطلوب هزینه اضافی بر تولیدکننده تحمیل کند (برای نمونه، به دلیل نظارت و محدویت‌های زیست‌محیطی یا قوانین موجود) فعالیت‌های کاهش آلودگی معمولاً باعث خواهند شد تا منابع از تولید ستانده نامطلوب منحرف شوند و در سطح مشخصی از نهاده تولید ستانده مطلوب کاهش یابد. در این حالت فرض بر این است که کاهش در ستانده‌ها حالت شعاعی[3] دارد یعنی با ثابت بودن سطح نهاده کاهش در ستانده‌ها با نسبت مشابه رخ می‌دهد.[4] همچنین در مورد ستانده مطلوب ویژگی دفع قوی[5] برقرار است به عبارت دیگر:

$$(y^{\circ},u^{\circ}) \in P(x) \ , \ y \le y^{\circ} \Rightarrow (y,u^{\circ}) \in P(x) \qquad (۶)$$

با توجه به رابطه (۶) اگر بردار امکان‌پذیری[6] از ستانده در اختیار داشته باشیم هر بردار امکان‌پذیر دیگر که کوچکتر از آن است نیز امکان‌پذیر خواهد بود. به تعبیری دیگر افزایش ستانده مطلوب در این حالت هزینه‌ای در بر نخواهد داشت. براساس قابلیت دفع قوی، این امکان وجود دارد که

---

1. Null-jointness
2. Weak Disposability
3. Radial

۴. فاره و گراسکوپف (۲۰۰۴)

5. Strong/Free Disposability
6. Feasible

کاهش در ستانده مطلوب در سطح معین نهاده با نسبت‌های مشابهی صورت نگیرد یعنی ممکن است یک یا چند ستانده کاهش یابند در حالی که مابقی ثابت هستند. حال می‌توان با توجه به ویژگی‌های بیان شده مجموعه تکنولوژی را همان‌گونه که در رابطه (۷) ملاحظه می‌شود مجموعه تکنولوژی با حضور ستانده نامطلوب را نشان داد که با استفاده از سطح معینی از نهاده‌ها بدست می‌آید:

$$T(x,y) = \{(y,u) : (y,u) \text{ می‌تواند تولید کند } x\} \qquad (۷)$$

٤-١. شاخص‌های کارایی و بهره‌وری زیست‌محیطی

در این قسمت شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی مورد استفاده و روش محاسبه آن معرفی می‌گردد. در بخش ۲-۱ به شاخص‌های بهره‌وری زیست‌محیطی مالم‌کوئیست- لیونبرگر و لیونبرگر زیست‌محیطی اشاره شد. محاسبه توابع مسافت با استفاده از روش DEA در عمل دارای برخی مشکلات است. از این رو در این بخش ابتدا مشکلات محاسباتی مربوط به اندازه‌گیری شاخص‌های بهره‌وری با استفاده از روش DEA را بیان و سپس شاخص بهره‌وری مورد استفاده در این پژوهش را معرفی می‌نماییم. پس از انجام این مراحل در نهایت شاخص اصلی مورد استفاده در پژوهش را توضیح داده خواهد شد.

٤-٢-١. مشکلات محاسباتی شاخص‌های بهره‌وری مبتنی بر توابع مسافت

منظور از مشکلات محاسبه‌ای این است که گاهی در حل مسائل برنامه‌ریزی خطی برای رسیدن به مقدار توابع مسافت دوره‌های ترکیبی به جواب نمی‌رسیم و به اصطلاح مسائل برنامه‌ریزی خطی دچار مشکل امکان‌ناپذیری[1] هستند. نقطه A در نمودار ۲ بیانگر حالتی است که برای حل مسائل برنامه‌ریزی خطی دوره‌های ترکیبی دچار امکان‌ناپذیری خواهیم شد. برای حل این مشکل دو رویکرد در ادبیات نظری مشاهده گردید. نخست، بعضی از پژوهشگران به سراغ تعاریف جدید از مجموعه مرجع و ارائه شاخص‌هایی جدید مانند شاخص‌های عمومی مالم‌کوئیست بر مبنای مجموعه مرجع عمومی (پاستور[2] و لاول)، برگ و همکاران[3] شاخص مالم‌کوئیست بر مبنای

1. Infeasibility
2. Pastor (2005)
3. Berg, *et al* (1992)

مجموعه مرجع بث ، شاخص عمومی مالم‌کوئیست لیونبرگر (اُه، ۲۰۱۰،۲۰۰۹)، شاخص ترتیبی شستالووا (۲۰۰۳)، شاخص ترتیبی مالم‌کوئیست لیونبرگر (اُه حشمتی ۲۰۱۰) رفتند. همچنین فاره و همکاران (۲۰۰۱) برای حل مشکل از رویکرد پنجره‌ای استفاده نمودند. این رویکرد به نوعی مشابه با رویکرد شاخص ترتیبی است. برخی دیگر نیز مانند خوئه و هارکر[1]، چنگ و همکاران[2] با ارائه روش‌هایی با رویکرد برنامه‌ریزی خطی به حل مشکل امکان ناپذیری در مسائل پرداختند.

در این مقاله ابتدا برای محاسبه بهره‌وری زیست‌محیطی از شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست- لیونبرگر استفاده نمودیم. اما برای برخی کشورها مسائل برنامه‌ریزی خطی دارای جواب نبود. از این رو برای حل مشکل به سراغ شاخص بهره‌وری عمومی مالم‌کوئیست- لیونبرگر زیست‌محیطی رفتیم. دلیل این انتخاب وجود پشتوانه تئوریک مناسب و متداول بودن این دسته از شاخص‌ها در مطالعات تجربی است. در قسمت بعدی به معرفی شاخص بهره‌وری عمومی مالم‌کوئیست- لوینبرگر خواهیم پرداخت.

٤-۲-۲. شاخص بهره‌وری عمومی مالم‌کوئیست لیونبرگر

شاخص بهره‌وری عمومی مالم‌کوئیست لیونبرگر حالت کلی شاخص‌های بهره‌وری مالم‌کوئیست لیونبرگر است که در تعریف مجموعه تکنولوژی و برخی ویژگی‌ها با شاخص‌های مذکور متفاوت است. در ادامه الزامات تعریفی برای ساختن این شاخص را بیان خواهیم نمود. در تعریف شاخص عمومی مالم‌کوئیست- لیونبرگر دو مجموعه ستانده عمومی[3] و دوره‌ای[4] مورد استفاده قرار می‌گیرند.

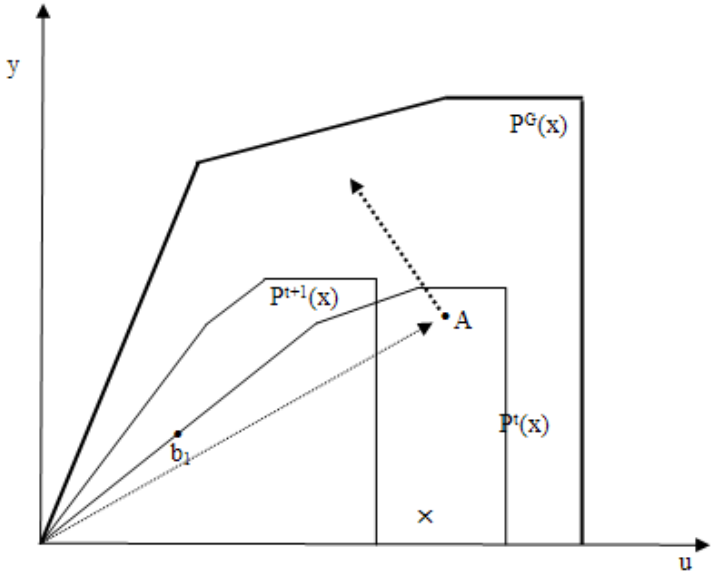
مجموعه ستانده عمومی و دوره‌ای

مجموعه عمومی $P^G(x)$، به صورت زیر تعریف می‌گردد :

$$P^G(x) = P^1(x) \cup P^2(x) \cup \ldots \cup P^T(x) \qquad (۸)$$

1. Xue and Harker (2002)
2. Cheng, *et al* (2010)
3. Global Output (Production Possibility) Set
4. Contemporaneous

مجموعه عمومی تکنولوژی (امکانات تولید) تمام مجموعه‌های دوره‌ای یعنی $P^t(x)$ ها را در بر می‌گیرد و به صورت یک مجموعه مرجع واحد با استفاده از داده‌های تابلویی مربوط به ستانده‌ها و نهاده‌ها ساخته می‌شود (اُه، ۲۰۱۰).



نمودار ۲. مفهوم شاخص بهره‌وری عمومی مالم‌کوئیست- لیونبرگر

مجموعه‌های دوره‌ای و عمومی ستانده در نمودار ۲ نشان داده شده‌اند. $P^t(x)$ و $P^{t+1}(x)$ مجموعه تکنولوژی دوره‌ای در زمان t و t+۱ را نشان می‌دهند. تعداد این مجموعه به اندازه T است که برای سهولت فقط دوره t و t+۱ را نشان می‌دهیم. $P^G(x)$ مجموعه عمومی ستانده را نشان می‌دهد که T مجموعه همزمان را تحت پوشش خود قرار می‌دهد. (اُه، ۲۰۱۰) شاخص بهره‌وری عمومی مالم‌کوئیست- لیونبرگر را این چنین تعریف می‌کند:

$$GML_t^{t+1} = \frac{1 + D_O^G(x^t, y^t, u^t)}{1 + D_O^G(x^{t+1}, y^{t+1}, u^{t+1})} \qquad (۹)$$

تابع مسافت جهت‌دار ستانده در این حالت به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$D_O^G(x^{t+1},y^{t+1},u^{t+1})=\max\{\beta:(y+\beta y,u-\beta u)\}\in P^G(x) \qquad (۱۰)$$

اگر $GML_1^{t+1}>1$ یا $GML_1^{t+1}<1$ باشد نشان می‌دهد که در فرایند تولید ستانده‌های مطلوب افزایش (کاهش) و ستانده‌های نامطلوب کاهش (افزایش) یافته است (اُه، ۲۰۱۰). می‌توان همانند شاخص عمومی مالم‌کوئیست، شاخص عمومی مالم‌کوئیست لیونبرگر را نیز تجزیه نمود. اگر GML را در عبارت $\frac{1+D_O^t(x^t,y^t)}{1+D_O^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1})}$ ضرب و تقسیم نماییم، خواهیم داشت:

$$\begin{aligned}GML_t^{t+1}&=\frac{1+D_O^t(x^t,y^t,u^t)}{1+D_O^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1},u^{t+1})}\\&\quad\times\left\{\frac{1+D_O^G(x^t,y^t,u^t)}{1+D_O^t(x^t,y^t,u^t)}\frac{1+D_O^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1},u^{t+1})}{1+D_O^G(x^{t+1},y^{t+1},u^{t+1})}\right\}\\&=\frac{TE^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1})}{TE^t(x^t,y^t)}\times\left\{BPG_{t+1}^{t,t+1}\frac{1}{BPG_t^{t,t+1}}\right\}\\&=EC_{t,G}^{t+1}\times BPC_{t,G}^{t+1}\end{aligned} \qquad (۱۱)$$

TE^s، $s=t,t+1$، کارایی فنی را نشان می‌دهد و مشابه با قبل $EC_{t,G}^{t+1}$ تغییر در کارایی را نشان می‌دهد. $PBC_{t,G}^{t+1}$ نیز تغییر در بهترین شکاف عملی در دو دوره را نشان می‌دهد. $PBC_{t,G}^{t+1}>1$ یا $PBC_{t,G}^{t+1}<1$ نشانگر پیشرفت فنی (پسرفت فنی) است (اُه، ۲۰۱۰).

٤-۲-۳. کارایی زیست‌محیطی

با توجه به این که رویکرد این پژوهش در محاسبه کارایی و بهره‌وری، رویکرد ناپارامتریک مرزی مبتنی بر توابع مسافت جهت‌دار است؛ شاخص کارایی نیز بر مبنای این توابع ساخته می‌شود. با توجه به اینکه مقدار تابع مسافت جهت‌دار نشان‌دهنده فاصله از مرز کارا است مقدار آن نمایان‌گر شاخص عدم کارایی است و هر چقدر بزرگتر باشد عدم کارایی بیشتر خواهد بود. همچنین با توجه به ویژگی نمایش[1] (مراجعه شود به فاره و گراسکوپف، ۲۰۰۰) تابع مسافت جهت‌دار مقدار حداقل آن برابر با صفر است یعنی حالتی که عدم کارایی وجود ندارد. با توجه به این‌که عدم کارایی بیشتر به معنای کارایی کمتر است می‌توان با استفاده از مقادیر مطلق تابع مسافت جهت‌دار شاخص

1. Representation

را تعریف نمود که نشانگر کارایی باشد. برای اندازه‌گیری کارایی و بهره‌وری زیست‌محیطی از نرم‌افزار MAXDEA[1] استفاده گردید. شاخص کارایی زیست‌محیطی مبتنی بر توابع مسافت در این نرم‌افزار به صورت زیر تعریف شده است:[2]

$$EE(t) = \frac{۱}{۱+\beta} = \frac{۱}{۱+D_O^t(x^t, y^t, u^t)} \qquad (۱۲)$$

اگر مقدار عدم کارایی برابر با صفر باشد با توجه به رابطه (۱۲) مقدار کارایی ٪۱۰۰ خواهد بود. با افزایش مقدار عدم کارایی با توجه به این‌که مقدار مخرج افزایش می‌یابد مقدار کارایی زیست‌محیطی کاهش خواهد یافت.

٤-۲-٤. محاسبه توابع مسافت

برای محاسبه شاخص عمومی مالم‌کوئیست لیونبرگر بایستی مسئله برنامه‌ریزی خطی زیر را حل کنیم:

$$\begin{aligned}
&\vec{D}_O^G(x_{k'}^t, y_{k'}^t u_{k'}^t; y_{k'}^t - u_{k'}^t) = \max \beta \\
&s.t \\
&\sum_{t=۱}^{T}\sum_{k=۱}^{K} z_k^{t+۱} y_{km}^{t+۱} \geq (۱+\beta) y_{k'm}^t \quad , \ m = ۱,\ldots,M \\
&\sum_{t=۱}^{T}\sum_{k=۱}^{K} z_k^{t+۱} u_{kj}^{t+۱} = (۱-\beta) u_{k'j}^t \quad , \ j = ۱,\ldots,J \\
&\sum_{t=۱}^{T}\sum_{k=۱}^{K} z_k^{t+۱} u_{kn}^{t+۱} \leq x_{k'n}^t \quad , \ n = ۱,\ldots,N \\
&z_k \geq ۰ \quad , \ k = ۱,۲,\ldots,K
\end{aligned} \qquad (۱۳)$$

٤-۲-٥. عوامل مؤثر بر بهره‌وری زیست‌محیطی

فرم خلاصه شده زیر برای آزمون ارتباطات محتمل و مختلف بین سطح آلودگی و فشارهای زیست‌محیطی با سطح درآمد به کار گرفته می‌شود:[3]

1. www.maxdea.cn
2. MAXDEA (2010)

۳. دیندا (۲۰۰۴)

$$y_{it} = \alpha_{it} + \beta_1 x_{it} + \beta_2 x_{it}^2 + \beta_3 x_{it}^3 + \beta_4 z_{it} + \varepsilon_{it} \qquad (۱۴)$$

در رابطه (۱۴)، y شاخص زیست‌محیطی، x درآمد و z سایر متغیرهای تأثیرگذار بر روی تخریب محیط‌زیست است. اندیس i برای کشور، t برای زمان، α به عنوان مقدار ثابت و β_k ضریب k امین متغیر توضیحی در مدل است.

همانطور که در نقد منحنی EKC گفته شد، این منحنی می‌تواند با عبور از سطح حداکثر آلودگی یا همان نقطه برگشت به یک منحنی N شکل تبدیل گردد. به عبارت دیگر بار با افزایش درآمد سطح آلودگی یک بار دیگر افزایش می‌یابد. یعنی شکل درجه سوم منحنی برقرار است. از طرفی لزوم استفاده از یک شاخص زیست‌محیطی جایگزین به جای آلودگی در نقد منحنی EKC بیان گردید. در این مقاله برای بررسی رابطه بین رشد و کیفیت زیست‌محیطی از بهره‌وری زیست‌محیطی به عنوان شاخص کیفیت زیست‌محیطی استفاده می‌نماییم. از این رو رابطه بین بهره‌وری زیست‌محیطی و درآمد به صورت U شکل و در حالت درجه سوم آن به صورت N معکوس است. سایر متغیرهایی که علاوه بر درآمد، در مطالعات تجربی مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد شامل ضریب جینی[۱]، درجه باز بودن تجاری اقتصاد یا شدت تجارت[۲]، مخارج تحقیق و توسعه زیست‌محیطی[۳]، نسبت سرمایه به نیروی کار[۴]، شاخص تراکم جمعیت[۵] و شاخص آموزش[۶] هستند. همچنین شاخص‌هایی مانند شهرنشینی، شدت انرژی[۷]، سهم بخش صنعت از تولید ناخالص داخلی و ... جزو متغیرهای توضیحی در سایر مطالعات تجربی هستند.

در این مقاله وجود رابطه U شکل و N معکوس را برای کشورهای مورد بررسی در دو گروه برآورد خواهیم نمود. شکل نهایی مدل برآورد شده به صورت زیر است:

---

1. Cole (2003)

۲. کول (۲۰۰۳)، کومار و خانا (۲۰۰۹)

۳. زائیم و تاسکین (۲۰۰۰)

۴. کومار و خانا (۲۰۰۹) و کول (۲۰۰۳)

۵. کومار و خانا (۲۰۰۹)، ماناجی و جنا (۲۰۰۸)

۶. ماناجی و جنا (۲۰۰۸)، کول و الیوت (۲۰۰۳)

7. Energy Intensity (EI)

$$EP_{it} = \alpha_{it} + \beta_1 GPC_{i,t-1} + \beta_2 GPC^2_{i,t-1} + \beta_3 GPC^3_{i,t-1} + B_1 OPEN_{i,t} + \beta_2 OPEN^2_{i,t} + \beta_4 EE_{i,t-1} + \beta_4 ED_{i,t} + \beta_4 CI_{i,t} + \beta_1 EI_{i,t} + \beta_1 FE_{i,t} + \varepsilon_{it} \qquad (۱۵)$$

رابطه (۱۵) عوامل مؤثر بر روی بهره‌وری زیست‌محیطی را نشان می‌دهد. برای بررسی وجود رابطه U شکل ضریب β_3 را برابر با صفر در نظر می‌گیریم. در ادامه به معرفی متغیرهای مدل (۱۵) می‌پردازیم.

از درآمد سرانه (GPC) به عنوان نماینده متغیر رشد اقتصادی استفاده می‌نماییم. این متغیر با یک وقفه وارد مدل می‌شود. دلیل این کار این است که شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی رشد بهره‌وری در سال t و t+1 را نشان می‌دهد. پس درآمد سال t بر بهره‌وری سال t+1 اثرگذار خواهد بود.

متغیر دوم درجه باز بودن تجاری (OPEN) است. این شاخص برابر با نسبت مجموع کل صادرات و واردات بر تولید ناخالص داخلی است. (EE) بیانگر کارایی زیست‌محیطی است که با یک وقفه وارد مدل شده است. اگر ضریب کارایی زیست‌محیطی دوره قبل در مدل منفی باشد نشانگر نظریه همگرایی خواهد بود. یعنی کشورهایی که در سال قبل به مرزکارایی نزدیکتر بوده‌اند رشد بهره‌وری کمتری را نسبت به کشورهایی خواهند داشت که از مرز کارایی دور بوده‌اند.[۱]

(ED) شاخص آموزش است. مقدار شاخص عددی بین یک تا ۱۰۰ درصد است. CI متغیر شدت انتشار دی‌اکسیدکربن[۲] است که برابر با میزان انتشار دی‌اکسیدکربن به کیلوگرم به ازای هر کیلوگرم مصرف انرژی است. EI شدت انرژی را نشان می‌دهد. آخرین متغیر نیز سهم سوخت‌های فسیلی از کل مصرف انرژی در هر کشور است که آن را با FE نشان می‌دهیم.

۵. تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این بخش متغیرهای مورد استفاده برای محاسبه بهره‌وری و کارایی زیست‌محیطی معرفی خواهند گردید. از موجودی سرمایه (دلار آمریکا به قیمت ثابت سال ۲۰۰۰)، نیروی کار (نفر)، مصرف انرژی (کیلوتن معادل نفت[۳]) به عنوان نهاده و از تولید ناخالص داخلی (دلار آمریکا به

۱. کومار و خانا (۲۰۰۹)

2. CO_2 Intensity (kg per kg of oil equivalent energy use)
3. Kt of Oil Equivalent

قیمت ثابت سال ۲۰۰۰) و میزان انتشار دی‌اکسیدکربن (کیلوتن) به ترتیب به عنوان ستانده مطلوب و نامطلوب در مدل استفاده می‌گردد. داده‌های مربوط به همه متغیرها به جز موجودی سرمایه از مجموعه WDI سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ استخراج گردیده‌اند. همچنین به دلیل نبود داده‌های مربوط به موجودی سرمایه کشورهای جامعه آماری در دوره مورد بررسی، با استفاده داده‌های تشکیل سرمایه ناخالص و از روش نمایی موجودی سرمایه را محاسبه گردید.

داده‌های مربوط به متغیر GPC، درآمد ملی سرانه، متغیر OPEN درجه باز بودن تجاری کشور، CI شدت انتشار کربن، EI، شدت انرژی، FE سهم سوخت‌های فسیلی از کل انرژی مصرفی از WDI سال ۲۰۱۱ و داده‌های ED، شاخص آموزش از گزارش‌های سالانه توسعه انسانی UNDP جمع‌آوری گردیده‌اند.

در این مطالعه دو گروه از کشورها انتخاب شده‌اند که گروه اول شامل کشورهای آمریکا، چین، روسیه، هند، ژاپن، آلمان، کانادا، برزیل، کره، انگلیس، ایتالیا و اسپانیا است. این کشورها مصرف‌کنندگان اصلی انرژی‌های فسیلی جهان در دوره مورد بررسی هستند. گروه دوم شامل کشورهای ایران، عربستان، برونئی دارالسلام، الجزایر، سوریه، قزاقستان، آذربایجان، مالزی، ونزوئلا، اکوادور، کلمبیا و اندونزی هستند. در این کشورها صادرات سوخت‌های فسیلی در دوره مورد بررسی حجم بسیار بالایی از صادرات را به خود اختصاص داده است.

٦. نتایج و بحث

مطالعه حاضر با توجه به مبانی تئوریک بیان شده در قسمت‌های پیشین به نتایجی دست یافته است که در دو قسمت بیان می‌گردند. قسمت اول نتایج مربوط به کارایی و بهره‌وری زیست‌محیطی برای هر دو گروه از کشورهای مورد بررسی است. قسمت دوم نتایج شامل برآوردهای اقتصاد سنجی مربوط به مدل عوامل اثرگذار بر بهره‌وری زیست‌محیطی است.

٦-١. کارایی و بهره‌وری زیست‌محیطی

نتایج حاصل از اندازه‌گیری کارایی و بهره‌وری زیست‌محیطی در هر دو گروه از کشورها به شرح جدول ۱ است.

جدول ۱. کارایی معمولی در دوره ۲۰۰۷-۱۹۹۷

کشور	۱۹۹۷	۱۹۹۸	۱۹۹۹	۲۰۰۰	۲۰۰۱	۲۰۰۲	۲۰۰۳	۲۰۰٤	۲۰۰۵	۲۰۰٦	۲۰۰۷
الجزایر	۰/۶۸۴	۰/۶۷۹	۱	۰/۷۰۰	۰/۷۰۹	۰/۷۲۳	۰/۷۱۵	۰/۷۰۷	۱	۰/۶۸۳	۰/۶۶۸
آذربایجان	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۸۷۱	۰/۷۷۴	۰/۷۸۳	۰/۹۱۳	۱
برزیل	۰/۷۶۲	۰/۷۶۵	۰/۷۵۳	۰/۷۵۷	۰/۷۵۱	۰/۷۶۴	۰/۷۷۷	۰/۷۷۲	۰/۷۶۴	۰/۷۶۵	۰/۷۷۳
برونئی	۰/۶۳۴	۰/۶۲۸	۰/۶۶۷	۰/۶۲۱	۰/۶۳۰	۰/۶۴۲	۰/۶۵۰	۰/۶۴۱	۰/۶۴۶	۰/۶۵۴	۰/۶۱۰
کانادا	۰/۷۸۱	۰/۸۲۷	۱	۰/۹۱۹	۰/۹۶۷	۰/۹۷۵	۰/۹۷۳	۰/۹۷۲	۰/۹۷۷	۰/۹۷۳	۰/۹۶۷
چین	۰/۶۲۹	۰/۶۴۱	۰/۶۶۵	۰/۶۹۵	۰/۷۰۹	۰/۷۲۷	۰/۷۰۹	۰/۷۰۰	۰/۷۰۷	۰/۷۳۰	۰/۷۴۱
کلمبیا	۰/۹۶۵	۰/۹۶۴	۰/۹۶۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
اکوادور	۰/۷۴۲	۰/۷۲۸	۰/۷۰۹	۰/۷۳۰	۰/۷۴۰	۰/۷۳۲	۰/۷۲۵	۰/۷۳۷	۰/۷۴۸	۰/۷۶۵	۰/۷۳۸
آلمان	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
هند	۰/۷۶۸	۰/۷۷۸	۰/۸۱۷	۰/۸۲۲	۰/۸۴۱	۰/۸۶۳	۰/۸۵۷	۰/۸۵۹	۰/۸۶۷	۰/۸۹۰	۰/۸۷۱
اندونزی	۰/۵۸۸	۰/۶۰۰	۰/۵۸۷	۰/۵۸۴	۰/۵۷۸	۰/۵۹۵	۰/۶۱۳	۰/۶۱۳	۰/۶۲۸	۰/۶۳۹	۰/۶۳۷
ایران	۰/۵۷۴	۰/۵۸۰	۰/۵۸۱	۰/۵۸۹	۰/۵۹۶	۰/۶۰۹	۰/۶۱۰	۰/۶۰۳	۰/۶۰۵	۰/۶۰۵	۰/۶۲۳
ایتالیا	۰/۸۲۶	۰/۸۱۹	۰/۸۱۹	۰/۸۲۳	۰/۸۲۶	۰/۲۹	۰/۸۱۹	۰/۸۱۵	۰/۸۰۶	۰/۸۰۶	۰/۸۱۴
ژاپن	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
قزاقستان	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
کره	۰/۶۵۴	۰/۶۶۶	۰/۶۶۰	۰/۶۵۹	۰/۶۶۱	۰/۶۶۵	۰/۶۷۰	۰/۶۷۴	۰/۶۹۱	۰/۷۰۶	۰/۷۱۳
مالزی	۰/۵۹۶	۰/۵۹۶	۰/۶۰۵	۰/۵۹۸	۰/۵۹۰	۰/۵۹۷	۰/۶۰۰	۰/۶۱۲	۰/۶۲۴	۰/۶۳۷	۰/۶۵۵
روسیه	۱	۰/۸۷۴	۱	۱	۰/۹۶۸	۰/۹۸۴	۰/۹۷۹	۰/۹۹۹	۱	۱	۱
عربستان	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
اسپانیا	۰/۷۶۱	۰/۷۶۰	۰/۷۵۸	۰/۷۷۰	۰/۷۹۴	۰/۸۰۳	۰/۸۱۴	۰/۸۰۹	۰/۸۱۰	۰/۸۱۳	۰/۸۰۸
سوریه	۰/۵۴۸	۰/۵۵۹	۰/۵۵۴	۰/۵۶۳	۰/۵۸۵	۰/۵۹۲	۰/۵۹۴	۰/۶۰۵	۰/۶۲۵	۰/۶۷۱	۰/۷۰۶
انگلیس	۰/۸۲۷	۰/۸۳۵	۰/۸۵۰	۰/۸۵۸	۰/۸۵۸	۰/۸۸۴	۰/۸۸۸	۰/۸۲۹	۰/۹۱۰	۰/۹۲۴	۰/۹۴۰
آمریکا	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
ونزوئلا	۰/۷۸۰	۰/۷۵۱	۰/۷۲۰	۰/۷۵۳	۰/۷۵۳	۰/۷۰۲	۰/۶۷۱	۰/۷۵۷	۰/۸۰۶	۰/۸۳۳	۰/۸۳۷
میانگین	۰/۷۹۷	۰/۷۹۴	۰/۸۲۱	۰/۸۱۰	۰/۸۱۵	۰/۸۲۰	۰/۸۱۴	۰/۸۱۴	۰/۸۳۳	۰/۸۳۳	۰/۸۳۸

مأخذ: محاسبات محقق

همانطور که در جدول ۱ ملاحظه می گردد میانگین کارایی زیست‌محیطی در میان کشورهای مورد بررسی دارای روندی صعودی است. با توجه به حجم گسترده نتایج، در این بخش تنها نتایج مربوط به میانگین بهره‌وری زیست‌محیطی و اجزای آن را ارائه خواهیم نمود و نتایج مربوط به بهره‌وری معمولی کشورها و بهره‌وری زیست‌محیطی به صورت جداگانه برای هر کشور بیان می گردند.

جدول ۲. میانگین بهره‌وری زیست‌محیطی و اجزای آن در کشورهای گروه اول و دوم

سال	کشورهای گروه اول (مصرف‌کننده)			کشورهای گروه دوم (صادرکننده)		
	EC	BPC	GML	EC	BPC	GML
۹۸-۱۹۹۷	۰/۹۹۹	۱/۰۱۵	۱/۰۱۳	۰/۹۹۸	۰/۹۹۶	۰/۹۹۳
۹۹-۱۹۹۸	۱/۰۳۶	۰/۹۹۱	۱/۰۲۴	۱/۰۳۸	۰/۹۷۵	۱
۹۹-۲۰۰۰	۱	۱/۰۲۰	۱/۰۱۹	۰/۹۸۰	۱/۰۴۱	۱/۰۱۰
۰۱-۲۰۰۰	۱/۰۰۸	۱	۱/۰۰۸	۱/۰۰۶	۱/۰۰۳	۱/۰۰۹
۰۲--۲۰۰۱	۱/۰۱۲	۰/۹۹۷	۱/۰۰۹	۱/۰۰۳	۰/۹۹۳	۰/۹۹۶
۰۳-۲۰۰۲	۰/۹۹۹	۱/۰۱۱	۱/۰۱۰	۰/۹۸۸	۱/۰۱۲	۱
۰۴-۲۰۰۳	۱	۱/۰۱۲	۱/۰۱۲	۱/۰۰۳	۱/۰۱۷	۱/۰۲۰
۰۵-۲۰۰۴	۱/۰۰۴	۱/۰۱۱	۱/۰۱۵	۱/۰۵۰	۰/۹۷۷	۱/۰۱۷
۰۶-۲۰۰۵	۱/۰۰۸	۱/۰۰۵	۱/۰۱۴	۱/۰۰۲	۱/۰۳۶	۱/۰۲۵
۰۷-۲۰۰۶	۱/۰۰۲	۱/۰۱۰	۱/۰۱۲	۱/۰۰۸	۰/۹۹۹	۱/۰۰۷
میانگین	۱/۰۰۷	۱/۰۰۷	۱/۰۱۴	۱/۰۰۷	۱/۰۰۵	۱/۰۰۸

مأخذ: محاسبات محقق

همانطور که ملاحظه می‌شود کشورهای هر دو گروه در دوره ۲۰۰۷-۱۹۹۷ به صورت متوسط به اندازه ٪۰/۷ رشد در کارایی زیست‌محیطی را تجربه نموده‌اند. با توجه به نتایج کشورهای گروه اول و دوم کمابیش در دوره مورد بررسی از رشد تکنولوژیکی برخوردار بوده‌اند. کشورهای گروه اول در دوره ۲۰۰۷-۱۹۹۷ به اندازه ٪۰/۷ و کشورهای گروه دوم به اندازه ٪۰/۵ رشد تکنولوژیکی داشته‌اند. بهره‌وری زیست‌محیطی در دوره ۲۰۰۷-۱۹۹۷ برای کشورهای گروه اول در حدود ٪۱/۴ و برای کشورهای گروه دوم ٪۰/۸ است. به طور کلی می‌توان گفت کشورهای گروه اول از نظر زیست‌محیطی عملکرد بهتری را نسبت به کشورهای گروه دوم داشته‌اند.

٦-۲. کشورهای نوآور

بایستی توجه داشت که شاخص تغییر فنی برای دو دوره (سال) مجاور صرفاً یک شاخص برای نشان دادن انتقال در مرز تولید یا تکنولوژی است. اگر ارزش این شاخص بزرگتر از صفر باشد الزاماً به معنای این نیست که مرز تولید یا تکنولوژی کاملاً به بیرون انتقال یافته است. بنابراین برای

تعیین این که کدام کشور مرز تولید خود را به صورت کامل منتقل ساخته است و یا به عبارت دیگر برای تعیین کشورهای نوآور بایستی شرایط زیر برقرار باشند (اُه، ۲۰۱۰):

$$BPC^{u}_{t,t+1} > 1 \qquad (16)$$

$$\vec{D}^{t}_{O}(x^{t+1}, y^{t+1}, u^{t+1}; y^{t+1}, -u^{t+1}) < 0 \qquad (17)$$

$$\vec{D}^{t+1}_{O}(x^{t+1}, y^{t+1}, u^{t+1}; y^{t+1}, -u^{t+1}) = 0 \qquad (18)$$

شرط اول نشان می‌دهد که مرز عمومی تولید در راستای افزایش ستانده مطلوب بیشتر و ستانده نامطلوب کمتر انتقال یافته است. با استفاده از نهاده‌های معین این امکان وجود دارد که در دوره t+1 تولید ناخالص داخلی کشور نسبت به دوره t افزایش و میزان انتشار CO_2 نسبت به این دوره کاهش یابد. این شاخص انتقال در قسمت‌های نسبی مرز تولید بین دوره t و t+1 را برای یک کشور معین را زمانی که با ستانده‌های مطلوب و نامطلوب به صورت نامتقارن برخورد می‌شود، اندازه‌گیری می‌نماید. رابطه دوم نشان می‌دهد که تولید دوره t+1 در خارج از مرز تولید دوره t اتفاق می‌افتد. یعنی تغییر فنی رخ داده است و به معنای این است که نمی‌توان با استفاده از تکنولوژی دوره t و نهاده دوره t+1، ستانده دوره t+1 را تولید نمود. در نتیجه مقدار تابع مسافت برای ستانده‌های دوره t+1 با توجه به مجموعه مرجع دوره t منفی است. شرط سوم نشان می‌دهد که بایستی کشور در دوره t+1 بر روی مرز تکنولوژی عمومی قرار داشته باشد.

جدول ۳ کشورهای نوآور را یکبار با لحاظ مقدار انتشار دی‌اکسیدکربن و بار دیگر بدون در نظر گرفتن آن نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌گردد کشور آلمان در تمامی سال‌ها و در هر دو حالت انتقال در مرز تکنولوژی را تجربه نموده است. کشور ژاپن نیز در بیشتر مواقع جزو کشورهای نوآور است. از میان کشورهای گروه دوم نیز کشورهای آذربایجان، کلمبیا و عربستان در چندین دوره جز کشورهای نوآور هستند. نتایج برای سایر کشورها در جدول ۳ نشان داده شده است.

۶-۳. عوامل مؤثر بر بهره‌وری زیست‌محیطی

برای بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری زیست‌محیطی از برآورد منحنی EKC با استفاده از داده‌های ترکیبی استفاده شد که نتایج آن در ادامه آمده است.

جدول ۳. کشورهای نوآور در دوره ۲۰۰۷-۱۹۹۸

دوره زمانی	معمولی	زیست‌محیطی
۹۸-۱۹۹۷	-	آلمان، ژاپن،
۹۹-۱۹۹۸	آلمان، قزاقستان	آلمان، ژاپن، آمریکا
۹۹-۲۰۰۰	آذربایجان، آلمان، ژاپن، عربستان	آذربایجان، آلمان، ژاپن، آمریکا، روسیه
۰۱-۲۰۰۰	آلمان، ژاپن، قزاقستان	آذربایجان، کلمبیا، آلمان، ژاپن، آمریکا
۰۲-۲۰۰۱	کلمبیا، آلمان، ژاپن	آلمان، کلمبیا، آمریکا
۰۳-۲۰۰۲	کلمبیا، آلمان، ژاپن، قزاقستان، عربستان	کلمبیا، آلمان، قزاقستان، عربستان، آمریکا
۰۴-۲۰۰۳	کلمبیا، آلمان، ژاپن، قزاقستان، عربستان	کلمبیا، آلمان، ژاپن، آمریکا
۰۵-۲۰۰۴	کلمبیا، آلمان، ژاپن	آلمان، ژاپن، آمریکا
۰۶-۲۰۰۵	کلمبیا، آلمان، ژاپن	کلمبیا، آلمان، ژاپن، روسیه، آمریکا
۰۷-۲۰۰۶	آذربایجان، کلمبیا، آلمان، ژاپن	آذربایجان، کلمبیا، آلمان، ژاپن، آمریکا

مأخذ: محاسبات محقق

٦-۳-۱. آزمون واریانس ناهمسانی داده‌های ترکیبی

برای آزمون واریانس ناهمسانی در داده‌های ترکیبی با توجه به گرین (۲۰۰۳، صفحه ۳۲۸) از آزمون ضریب لاگرانژ (λ_{LM}) استفاده می‌نماییم. برای این منظور مدل کلی با استفاده از روش OLS برآورد می‌کنیم و سپس با استفاده از باقی‌مانده‌ها واریانس مقاطع و واریانس کل مدل را محاسبه و در رابطه (۱۹) قرار می‌دهیم. در این رابطه T تعداد سال‌ها، n تعداد مقاطع، σ_i^2 واریانس مقاطع و $\hat{\sigma}^2$ واریانس رگرسیون کل است. فرض صفر این آزمون همسانی واریانس‌ها در بین مقاطع مختلف است.

$$\lambda_{LM} = \frac{T}{2}\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{\sigma_i^2}{\hat{\sigma}^2} - 1\right]^2 \qquad (19)$$

جدول ۳. آزمون واریانس ناهمسانی

آزمون واریانس ناهمسانی	آماره λ_{LM} ، χ^2_{n-1}	آماره جدول	نتیجه
گروه اول	۳۵/۴۶	۱۸/۳۰۷	فرض صفر رد می‌شود
گروه دوم	۴۹/۵۸	۱۹/۶۷۵۱	فرض صفر رد می‌شود

۱.کشور مالزی به دلیل همگن نبودن داده‌های باز بودن تجاری از گروه دوم حذف گردید، بنابراین آماره کای- دو دارای درجه آزادی ۱۰ خواهد بود.

۲. فرض صفر برابری واریانس بین مقاطع مختلف است.

مأخذ: محاسبات محقق

با توجه به نتایج آزمون، آماره کای- دوی جدول از آماره بدست آمده کوچکتر است، بنابراین فرض صفر رد می‌شود و برای هر دو گروه از کشورها ناهمسانی واریانس بین مقاطع مختلف وجود دارد.

٦-۳-۲. آزمون F برابری عرض از مبدأها

همانطور که در قسمت روش‌شناسی داده‌های ترکیبی گفته شد، برای اطمینان از این که مدل دارای یک عرض از مبدأ مشترک است یا برای هر مقطع یک عرض از مبدأ متفاوت وجود دارد از آزمون F استفاده می‌کنیم. نتایج آزمون F برای دو گروه از کشورها به شرح زیر است:

جدول ٤. آزمون F

آزمون F	آماره	سطح خطا	نتیجه
گروه اول	۲/۳۹۹۲۳۹	۰/۰۱۱	فرض صفر رد می‌شود
گروه دوم	۸/۱۳۰۹۶۳	۰/۰۰	فرض صفر رد می‌شود

مأخذ: محاسبات محقق

نتایج آزمون نشان می‌دهد در سطح خطای پنج درصد فرض صفر رد می‌گردد. بنابراین فرضیه عرض از مبدأ مشترک رد می‌شود.

٦-۳-۳. اثرات ثابت در مقابل اثرات تصادفی

برای این منظور از آزمون هاسمن استفاده می‌کنیم. نتایج این آزمون برای دو گروه به شرح زیر است:

جدول ۵. نتایج آزمون هاسمن

آزمون هاسمن	آماره	سطح خطا	نتیجه
گروه اول	۲۰/۳۶۸۵۸۷	۰/۰۲۶۰	فرض صفر رد می‌شود
گروه دوم	۸۱/۳۰۹۶۲۷	۰/۰۰	فرض صفر رد می‌شود

۱. سطح معناداری آزمون هاسمن ۱۰ درصد است.

مأخذ: محاسبات محقق

با توجه به نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد فرضیه صفر آزمون هاسمن مبنی بر وجود ارتباط میان متغیرهای توضیحی و عرض از مبدأ رد می‌گردد. به عبارت دیگر مدل با اثرات تصادفی رد و مدل با اثرات ثابت برای هر دو گروه از کشورها پذیرفته می‌شود. پس از انجام آزمون‌های فوق‌الذکر الگوی نهایی زیر برای دو گروه از کشورهای مورد نظر در دوره زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۷ برآورد گردید:

$$\begin{aligned}\log EP_{it} = {} & \alpha_{it} + \beta_1 \log GPC_{it-1} + \beta_2 (\log GPC_{it-1})^2 \\ & + \beta_3 (\log GPC_{it-1})^3 + \beta_4 \log OPEN_{it} \\ & + \beta_5 (\log OPEN_{it})^2 + \beta_6 \log EE_{it-1} \\ & + \beta_7 \log EI_{it} + \beta_8 \log ED_{it} + \beta_9 \log CI_{it} \\ & + \beta_{10} \log FE_{it} + \varepsilon_{it}\end{aligned} \qquad (۲۰)$$

توجه داشته باشید که متغیرهای مدل برآوردی به شکل لگاریتمی هستند. همچنین گروه اول دارای ۱۲ کشور و گروه دوم دارای ۱۱ کشور است. متغیر وابسته مدل لگاریتم بهره‌وری زیست‌محیطی در سال t و t+۱ است. با توجه به این که این شاخص میانگین دو سال است شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی در سال t+۱ مورد استفاده قرار گرفته است. متغیر Log(GPC)، لگاریتم درآمد سرانه داخلی است. این متغیر با یک وقفه وارد مدل می‌شود. دلیل این کار این است که شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی رشد بهره‌وری در سال t و t+۱ را نشان می‌دهد. پس درآمد سال t بر

بهره‌وری سال t+۱ اثرگذار خواهد بود. Log(OPEN) لگاریتم شاخص باز بودن تجاری است که برابر با نسبت مجموع کل صادرات و واردات بر تولید ناخالص داخلی است. Log(EE) لگاریتم کارایی زیست‌محیطی است که با یک وقفه وارد مدل شده است. Log(ED) لگاریتم شاخص آموزش است. Log(CI) لگاریتم متغیر شدت انتشار دی‌اکسیدکربن است که برابر با انتشار دی‌اکسیدکربن به کیلوگرم به ازای هر کیلوگرم مصرف انرژی است. Log(EI) لگاریتم شدت انرژی است. Log(FE) نیز لگاریتم سهم سوخت‌های فسیلی از کل مصرف انرژی در هر کشور است.

جدول ۷. نتایج تخمین منحنی زیست‌محیطی کوزنتس برای دو گروه از کشورها در دوره ۲۰۰۷-۱۹۹۷

متغیر	گروه اول			گروه دوم		
	مدل اثرات ثابت			مدل اثرات ثابت		
	ضریب	آماره t	Prob.	ضریب	آماره t	Prob.
C	۷/۷۱۹	۴/۲۹۵	۰/۰۰	۱۵/۰۲۴	۱/۳۲۵	۰/۱۸۹
LOG (GPC (-۱))	-۳/۰۵۹	-۳/۹۵۲	۰/۰۰۰۱	-۱۰/۲۱۳	-۲/۲۱۵	۰/۰۳۰
(LOG (GPC (-۱)))^{۲}	۰/۳۵۴	۳/۷۶۶	۰/۰۰۰۳	۱/۳۹۱	۲/۳۶۵	۰/۰۲۱
(LOG (GPC (-۱)))^{۳}	-۰/۰۱۳	-۳/۶۲۲	۰/۰۰۰۵	-۰/۰۶۴	-۲/۵۸۵	۰/۰۱۲
LOG (OPEN)	-۰/۲۲۹	-۳/۳۶۳	۰/۰۰۱۱	۰/۴۹۴	۱/۸۳۸	۰/۰۷۰
(LOG (OPEN))^{۲}	۰/۰۳۷	۳/۸۹۵	۰/۰۰۰۲	-۰/۰۵۴	-۱/۶۷۹	۰/۰۹۷
LOG (EI)	-۰/۰۸۳	-۲/۴۲۲	۰/۰۱۷۲	-۰/۳۳۵	-۸/۱۵۳	۰/۰۰
LOG (ED)	۰/۱۳۲	۱/۹۴۱	۰/۰۵۵	۰/۱۹۳	۲/۴۲۷	۰/۰۱۸۰
LOG (CI)	-۰/۰۱۹	-۰/۴۱۸	۰/۶۷۶	-۰/۲۳۰	-۶/۳۸۲	۰/۰۰
LOG (EE (-۱))	-۰/۰۰۹	-۰/۱۸۷	۰/۸۵۱	-۰/۰۶۲	-۲/۱۲۶	۰/۰۳۷۳
LOG (FE)	۰/۰۶۵	۰/۹۱۸	۰/۳۶۰	۱/۱۵۰	۴/۳۵۷	۰/۰۰
Durbi-Watson	۱/۷۹			۲/۱۶		
$R^{۲}$	۰/۴۸			۰/۸۰		
F	۴/۴۶			۱۱/۹۵		

مأخذ: محاسبات محقق

جدول ۷، نتایج تخمین مدل تجربی منحنی زیست‌محیطی برای دو گروه کشورهای مصرف‌کننده (گروه دوم) و صادرکننده سوخت‌های فسیلی (گروه اول) را نشان می‌دهد. متغیرهای هر دو مدل به صورت لگاریتمی وارد شده‌اند در نتیجه ضرایب نشان‌دهنده کشش‌ها هستند. همانطور که ملاحظه می‌گردد رابطه بین متغیر درآمد سرانه، توان دوم و توان سوم آن با بهره‌وری زیست‌محیطی برای هر دو گروه به ترتیب منفی، مثبت و منفی است. پس رابطه بین بهره‌وری زیست‌محیطی و رشد اقتصادی به شکل N معکوس خواهد بود. همچنین کشش‌های فوق برای کشورهای گروه اول در سطح خطای ۰/۰۱ و برای کشورهای گروه دوم در سطح خطای ۰/۰۵ معنادار است. متغیر بازبودن تجاری و توان دوم آن برای گروه اول در سطح خطای ۰/۰۱ و برای گروه دوم سطح خطای ۱۰ درصد معنادار است. اما رابطه بین بهره‌وری زیست‌محیطی و باز بودن تجاری با بهره‌وری زیست‌محیطی برای کشورهای گروه اول به صورت U و برای گروه دوم به صورت U معکوس است. متغیر شدت انرژی با بهره‌وری زیست‌محیطی در هر دو گروه رابطه منفی دارد. کشش منفی شدت انرژی برای کشورهای گروه اول در سطح ۰/۰۵ و برای کشورهای گروه دوم در سطح ۰/۰۱ معنادار است. شاخص آموزش برای هر دو گروه دارای اثر مثبتی بر بهره‌وری زیست‌محیطی است. سطح معناداری شاخص آموزش برای کشورهای گروه اول ۱۰ درصد و برای کشورهای گروه دوم ۰/۰۱ است. شدت انتشار دی‌اکسیدکربن در هر دو گروه از کشورها روی بهره‌وری زیست‌محیطی اثر منفی دارد. این اثر برای کشورهای گروه اول معنادار نیست. اما برای کشورهای گروه دوم در سطح ۰/۰۱ اثر شدت دی‌اکسیدکربن معنادار است. در هر دو گروه کارایی یک دوره قبل بر بهره‌وری زیست‌محیطی اثر منفی دارد که نشانگر وجود همگرایی است. این اثر برای کشورهای گروه اول معنادار نیست و برای کشورهای گروه دوم در سطح ۰/۰۵ معنادار است. آخرین متغیر مدل سهم سوخت‌های فسیلی در کل مصرف انرژی است که کشش آن برای کشورهای گروه اول و دوم مثبت است. کشش این متغیر برای کشورهای گروه اول معنادار نیست اما برای کشورهای گروه دوم در سطح خطای ۰/۰۱ معنادار است. برای انتخاب میان مدل درجه سوم و درجه دوم از آزمون والد استفاده می‌کنیم. فرضیه صفر آزمون والد صفر بودن ضریب توان سوم درآمد سرانه است.

جدول ۸. آزمون والد برای انتخاب بین مدل درجه سوم و دوم

آزمون والد	آماره F	سطح خطا	نتیجه
گروه اول	۹/۴۵	۰/۰۰۲	فرض صفر رد می‌شود
گروه دوم	۵/۵۹۶	۰/۰۲۱	فرض صفر رد می‌شود

مأخذ: یافته‌های تحقیق

همانطور که ملاحظه می‌شود فرضیه صفر مبنی بر صفر بودن ضریب توان سوم متغیر درآمد سرانه برای هر دو گروه صفر است؛ بنابراین فرم درجه سوم برای تصریح رابطه بین بهره‌وری زیست‌محیطی و درآمد سرانه مناسب است. با توجه به این‌که متغیرهای شدت انتشار دی‌اکسیدکربن، کارایی زیست‌محیطی با وقفه و سهم سوخت‌های فسیلی از کل مصرف انرژی در گروه دوم معنادار نبودند از این رو اضافه بودن این متغیرها را با استفاده از آزمون متغیر اضافی مورد بررسی قرار می‌دهیم.

جدول ۹. آزمون متغیر اضافی

آزمون	آماره F	سطح خطا	نتیجه
متغیر اضافی	۰/۱۸۴	۰/۹۰۶	فرض صفر رد نمی‌شود

۱. متغیرهای اضافی log FE، log EE(-۱)، log CI

مأخذ: محاسبات تحقیق

براساس نتایج به دست آمده از آزمون متغیر اضافی فرضیه عدم تأثیر متغیرهای اضافی فوق مورد تأیید قرار می‌گیرد. بار دیگر مدل را با حذف متغیرهای فوق برای کشورهای گروه اول برآورد نمودیم که نتایج حاصل به شکل جدول ۱۰ است.

۷. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

توجه به مسائل زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های اقتصادی با بروز برخی از پیامدهای زیست‌محیطی مضر مانند گرم شدن کره زمین، تغییر اقلیم‌ها، باران‌های اسیدی و ... در دو دهه اخیر، افزایش قابل توجهی داشته است. از این رو لازم است تا این اثرات بر مبنای تئوری‌های اقتصادی زیست‌محیطی مورد تجزیه و تحلیل قرار بگیرند.

در این پژوهش با لحاظ اثرات زیست‌محیطی در سطح کلان اقتصادی سعی گردید تا در ابتدا شاخص‌های بهره‌وری و کارایی زیست‌محیطی ارائه گردند که بتوان با استفاده از آن‌ها به ارزیابی زیست‌محیطی فعالیت‌های اقتصادی پرداخت.

جدول ۱۰. نتایج تخمین مدل گروه اول با حذف متغیرهای اضافی

متغیر	گروه اول		
	مدل اثرات ثابت		
	ضریب	آماره t	Prob.
C	۷/۶۴۶	۴/۸۵۳	۰/۰۰۰
GPC?(-۱)) LOG	-۲/۹۱۹	-۴/۱۲۰	۰/۰۰۰۱
(GPC?(-۱))^{۲} LOG	۰/۳۳۸	۳/۸۹۸	۰/۰۰۰۲
(GPC?(-۱))^{۳} LOG	-۰/۰۱۳	-۳/۷۲۵	۰/۰۰۰۳
(OPEN?) LOG	-۰/۲۳۱	-۳/۲۴۱	۰/۰۰۱۶
(OPEN?)^{۲} LOG	۰/۰۳۸۱	۳/۵۳۹	۰/۰۰۰۶
(EI?) LOG	-۰/۰۷۸	-۱/۸۷۳	۰/۰۶۳۹
(ED?) LOG	۰/۱۲۵	۱/۹۹۹	۰/۰۴۸۳
Durbin-Watson	۱/۷۷		
$R^{۲}$	۰/۴۸		
F	۵/۳۰		

مأخذ: محاسبات محقق

بررسی‌های صورت گرفته در مورد دو گروه از کشورهای منتخب مصرف‌کننده و صادرکننده اصلی سوخت‌های فسیلی در جهان نشان می‌دهد که که کشورهای گروه اول نسبت به کشورهای گروه دوم دارای بهره‌وری زیست‌محیطی بالاتری هستند.

با توجه به فرضیه منحنی کوزنتس زیست‌محیطی EKC نتایج نشان می‌دهند رابطه بین رشد اقتصادی و بهره‌وری زیست‌محیطی در هر دو گروه از کشورها به صورت N معکوس است؛ همچنین براساس این نتایج می‌توان گفت اثر رشد اقتصادی در تخریب محیط زیست برای کشورهای گروه دوم نسبت به کشورهای گروه اول بیشتر است. برای این که کشش خالص بهره‌وری زیست‌محیطی را نسبت به درآمد سرانه محاسبه نمائیم، بایستی ضرایب مربوط به درآمد با

توان یک، دو و سه را با همدیگر جمع کنیم.[۱] به این ترتیب کشش خالص بهره‌وری زیست‌محیطی نسبت به درآمد سرانه برای گروه اول ۲/۵۹- و برای کشورهای گروه دوم برابر با ۸/۸۸- است.

با توجه به یافته‌های این مطالعه پیشنهاد می‌گردد برای اندازه‌گیری عملکرد اقتصادی به مسائل زیست‌محیطی توجه گردد. شدت انرژی هر کشور متأثر از ساختار تولیدی آن و انرژی‌بر بودن تکنولوژی‌های مورد استفاده در تولید آن است. پیشنهاد می‌شود کشورهایی که شدت انرژی بالایی دارند، اولاً ترکیب انرژی خود را به نفع انرژی‌های نو و تجدیدپذیر تغییر دهند دوماً کارایی استفاده از منابع سوخت‌های فسیلی را از طریق بهبودهای تکنولوژیکی افزایش دهند. به این ترتیب با استفاده از انرژی‌های فسیلی و آسیب زیست‌محیطی کمتر تولید خود را افزایش خواهند داد.

همچنین آموزش یکی از عوامل اثرگذار بر روی بهره‌وری زیست‌محیطی است. از این رو پیشنهاد می‌گردد در کشورهای مورد بررسی نظام آموزشی در راستای افزایش آگاهی‌های زیست‌محیطی در همه سطوح گسترش یابد.

منابع

الف- فارسی

امامی میبدی، علی (۱۳۷۹)، *اصول اندازه‌گیری کارایی و بهره‌وری (علمی و کاربردی)*، چاپ دوم، تهران: مؤسسه پژوهش‌های بازرگانی، ۲۷۵ صفحه.

حکیمی‌پور، نادر و کامبیز هژبر کیانی (۱۳۸۷)، «تحلیل مقایسه‌ای کارایی بخش صنایع بزرگ در استان‌های ایران: با استفاده از روش تابع مرز تصادفی»، *مجله دانش و توسعه*، شماره۲۴، سال پانزدهم، صفحات ۱۶۷-۱۳۸.

رافعی، میثم (۱۳۸۹)، بررسی رابطه بین رشد اقتصادی و کارایی زیست‌محیطی در ایران و چند کشور منتخب، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه علامه طباطبائی.

مهرگان، نادر و اصغر مبارک (۱۳۸۷)، «بررسی تأثیر مؤلفه‌های اقتصاد نوین بر کارایی صنایع در ایران»، *فصلنامه اقتصاد مقداری*، دوره ۵، شماره ۲، تابستان، صفحات ۱۵۲-۱۳۱.

ناصرزاده، سمیه (۱۳۸۹)، ارزیابی زیست‌کارایی نیروگاه‌های حرارتی کشور با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها DEA، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علامه طباطبائی.

---

۱. ماناجی و جنا (۲۰۰۸)

ب- انگلیسی

Aigner, D. J., Lovell, C. A. K. and P. Schmidt (1977), "Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models", *Journal of Econometrics*, Vol. 6, pp. 21-37.

Aigner, D. J. and S. F. Chu (1977), "Estimating the Production Function", *American Economic Review*, Vol. 58, pp. 826-839.

Berg, S. A., Førsund, F. R. and E. S. Jansen (1992), "Malmquist Indices of Productivity Growth During the Deregulation of Norwegian Banking 1980-1989", *Scand Journal Econ*,Vol. 94, pp. 211-228.

Caves, D. W., Christensen, L. R. and E. Diewert (1982), "The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output and Productivity", *Econometrica*, Vol. 501, pp. 1393-1414.

Chambers, R. G., Färe, R. and S. Grosskopf (1996), "Productivity Growth in APEC Countries", *Pacific Economic Review*, Vol. 1, Issue 3, pp. 181-190.

Charnes, A., Cooper, W. W. and E. Rhodes (1978), "Measuring the Efficiency Of Decision Making Units", *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, pp. 429-444.

Cheng, G., Qian, Z. and Y. Guo (2010), "Overcoming the Infeasibility of Super Efficiency DEA Model: A Model with Generalized Orientation", Proceedings of the 8th International Conference on Data Envelopment Analysis.

Chung, Y. (1996), Directional Distance Functions and Undesirable Outputs, Ph.D. Dissertation, Southern Illinois University at Carbondale.

Chung, Y., Fare, R. and S. Grosskopf (1997), "Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach", *Journal of Environmental Management,* Vol. 51, pp. 229-240.

Cole, M. A. and R. J. Elliott (2003), "Determining the Trade-environment Composition Effect: The Role of Capital, Labor and Environmental Regulations", *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 46, pp. 363-383.

Cole, Matthew A. (2003), "Development, Trade and the Environment: How Robust is the Environmental Kuznets Curve?", *Environment and Development Economics*, Vol. 8, pp. 557-580.

Cooper, W. W., Seiford, L. M. and K. Tone (2007), *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Model, Applications, References and DEA-Solver Software*, NewYork, Springer, 490 pages.

Dinda, S, (2004), "Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey", *Ecological Economics*, Vol. 49, Issue 1, pp. 431-455.

Dyckhoff, H. and K. Allen (2001), "Measuring Ecological Efficiency with Data-Envelopment Analysis (DEA)", *European Journal of Operational Research*, Vol. 132, pp. 312-325.

Färe, R. and S. Grosskopf (2004), *New Directions: Efficiency and Productivity*, Kluwer Academic Publishers, 174 pages.

Färe, R. *et al* (1992), "Productivity Changes in Swedish Pharamacies 1980-1989: A Non-Parametric Malmquist Approach", *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 3, Issue 1-2, pp. 85-101.

Färe, R., Grosskopf, S. and D. Margaritis (2008), "Efficiency and Productivity: Malmquist and More", in *The Measurement of Productive Efficiency and Productive Growth, Techniques and Applications*', in Fried, H.O, Knox, C. L. L. and Shelton, S. S, New York: Oxford University Press, pp. 522-622.

Färe, R., Grosskopf, S. and C. Pasurka (2001), "Accounting for Air Pollution Emissions in Measures of State Manufacturing Productivity Growth", *Journal of Regional Sciences*, Vol. 41, Issue 3, pp. 381-409.

Farrell, M. J. (1957), "The Measurement of Productive Efficiency", *Journal of Royal Statistical Society*, Vol. 120, Issue 3, pp. 253-290.

Green, W. H. (2003), *Econometric Analysis*, Pearson education.Inc, New Jersey, 1026 pages.

Grosskopf, S. (1993), "Efficiency and Productivity", in *The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications,* Fried, H.O, Knox, C. L. L. and Shelton, S. S., New York: Oxford University Press, pp. 160-194.

Kaneko, Shinji and Shunsuke Managi (2004), "Environmental Productivity in China", *Economics Bulletin*, Vol. 17, No. 2, pp. 1-10.

Kumar, S. and M. Khanna (2009), "Measurement of Environmental Efficiency and Productivity: A Cross-country Analysis", *Environment and Development Economics*, Vol. 14, pp. 473-495.

Kumar, S. (2006), "Environmentally Sensitive Productivity Growth: A Global Analysis Using Malmquist–Luenberger Index", *Ecological Economics,* Vol. 56, Issue 6, pp. 280-293.

Lewis, H. F. and T. R. Sexton (2004), "Data Envelopment Analysis with Reverse Inputs and Outputs", *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 21, pp. 113-132.

Luenberger, D. G. (1992), "Benefit Functions and Duality", *Journal of Mathematical Economics*, Vol. 21, pp. 461-486.

Malmquist, Stern (1953), "Index Numbers and Indifference Curves", *Trabajos de Estatistica*, Vol. 4, Issue 1, pp. 209-242.

Managi, Shunsuke. and Pradyot Ranjan Jena (2008), "Environmental Productivity and Kuznets Curve in India", *Ecological Economics,* Vol. 65, pp. 432-440.

Nishimizu, M. and J. M. Page, Jr. (1982), "Total Factor Productivity Growth, Technological Progress and Technical Efficiency Change:

Dimensions of Productivity Change in Yugoslavia, 1965-78", *Economic Journal*, Vol. 92, pp. 936-920.

Oh ,Dong-Huyn and Almas Heshmati (2009), "A Sequential Malmquist-Luenberger Productivity Index", IZA Discussion Paper No. 4199.

Oh, Dong-Huyn (2009), "A Global Malmquist-Luenberger Productivity Index- An Application To OECD Countries 1990-2004", CESIS Electronic Working Paper Series, Paper No. 164.

Oh, Dong-Huyn (2010), "A Global Malmquist-Luenberger Productivity Index", *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 34, pp. 183-197.

Picazo-Tadeo, A. J., Reig-Martınez, E. and F. Hernandez-Sancho (2005), "Directional Distance Functions and Environmental Regulation", *Resource and Energy Economics*, Vol. 27, pp. 131-142.

Scheel, H. (2001), "Undesirable Outputs in Efficiency Valuations", *European Journal of Operational Research*, Vol. 132, pp. 400-410.

Seiford, L. M. and J. Zhu (2002), "Modeling Undesirable Factors in Efficiency Evaluation", *European Journal of Operational Research*, Vol. 142, pp. 16-20.

Shestalova, V. (2003), "Sequential Malmquist Indices of Productivity Growth: An Application to OECD Industrial Activities", *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 19, pp. 211-226.

Timmer, C. P. (1971), "Using a Probabilistic Frontier Production Function to Measure Technical Efficiency", *Journal of Political Economy*, Vol. 79, Issue.4, pp. 776-94.

Tone, K. (2004), "Dealing with Undesirable Outputs In DEA: A Slacks-Based Measure (SBM) Approach", Presented in: North American Productivity Workshop III, Toronto.

Xue, M. and P. T. Harker (2002), "Note: Ranking DMUs with Infeasible Super-efficiency in DEA Models", *Management Science*, Vol. 48, pp. 705-710.

Zaim, O. and F. Taskin (2000), "A Kuznets Curve in Environmental Efficiency an Application on OECD Countries", *Environmental and Resource Economics,* Vol. 17, pp. 21-36.