

مقایسه کارایی انرژی، اقتصادی و زیست محیطی در کشورهای توسعه یافته منتخب

نوع مقاله: پژوهشی

محمد طونی^۱
بهرام فتحی^۲
مجید انیسی^۳
محمد خرسندزاک^۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۷/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۶/۱۹

چکیده

این پژوهش به مقایسه کارایی انرژی، اقتصادی و زیست محیطی در ۳۵ کشور عضو سازمان توسعه و همکاری‌های اقتصادی (OECD) طی سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۲۰ می‌پردازد. با استفاده از مدل ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) و بازی چانه زنی نش (NBG)، کارایی سه بعدی کشورهای در تعامل اقتصاد، انرژی و محیط زیست سنجیده شد. داده‌ها شامل نهاده‌های موجودی سرمایه، نیروی کار و مصرف انرژی و ستانده‌های تولید ناخالص داخلی (GDP) و انتشار CO_2 از پایگاه‌های جهانی (WDI و IEA) استخراج شدند. بررسی کارایی سه بعدی (انرژی، اقتصادی و زیست محیطی) در ۳۵ کشور عضو OECD طی سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۲۰ با به کارگیری مدل ترکیبی DEA-NBG نشان داد که ایسلند، سوئیس و آمریکا با میانگین کارایی انرژی نزدیک به ۱ (حداکثر امتیاز) به عنوان برترین کشورها شناخته می‌شوند که حاکی از بهینه‌سازی زیرساخت‌های صنعتی و حمل و نقل آن‌هاست. در مقابل، استونی (۰.۳۵) و لهستان (۰.۳۷) به دلیل وابستگی به سوخت‌های فسیلی و سیستم‌های ناکارآمد، پایین‌ترین رتبه را در این شاخص دارند. در حوزه اقتصادی، آمریکا (۰.۹۹۹۳) با ثبات اقتصاد کلان و رقابت پذیری بالا عملکردی تقریباً کامل داشته‌است و سوئیس (۰.۹۳) نیز جایگاه برجسته‌ای دارد، حال آنکه شیلی (۰.۴۶) و استونی (۰.۳۲) به دلیل چالش‌هایی مانند وابستگی به صادرات مواد خام، در رتبه‌های پایین‌تر قرار گرفتند. در کارایی زیست محیطی، ایسلند (۰.۳۴۸) با بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر (ژئوترمال و برق آبی) پیش‌تاز است، اما آمریکا (۰.۰۰۰۴) و استرالیا (۰.۰۰۱۴) به دلیل صنایع سنگین و انتشار بالای کربن، ضعیف‌ترین نتایج را ثبت کردند.

واژه‌های کلیدی: کارایی انرژی، کارایی اقتصادی، کارایی زیست محیطی، تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)، بازی چانه زنی نش (NBG)، توسعه پایدار، کشورهای OECD
طبقه‌بندی JEL : Q43, Q56, O47

۱ گروه اقتصاد، واحد الیگودرز، دانشگاه آزاد اسلامی، الیگودرز، ایران
4849627927@iau.ir

۲ گروه اقتصاد، واحد شهریار، دانشگاه آزاد اسلامی، شهریار، ایران (نویسنده مسئول)
Bahram.fathi@iau.ac.ir

۳ گروه ریاضی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
Majid.anisi@qiau.ac.ir

۴ گروه ریاضی، واحد الیگودرز، دانشگاه آزاد اسلامی، الیگودرز، ایران
khorsand@iau.ac.ir

مقدمه

رشد اقتصادی در دهه‌های اخیر با چالش‌های زیست محیطی بی‌سابقه‌ای همراه بوده است. بر اساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی (IEA, 2021)، سیستم E3 (اقتصاد، انرژی، محیط زیست) به دلیل وابستگی متقابل این سه حوزه، چارچوبی حیاتی برای دستیابی به توسعه پایدار ارائه می‌کند. با این حال، مدل‌های مرسوم ارزیابی کارایی (مانند تحلیل پوششی داده‌های کلاسیک) در سنجش همزمان ابعاد اقتصادی، انرژی و زیست محیطی با محدودیت‌های جدی مواجه اند (Fathi et al., 2023). این شکاف روش شناختی، سیاست‌گذاران را در تدوین راهبردهای توأمان رشد اقتصادی و حفظ محیط زیست با دشواری روبه‌رو ساخته است. افزایش ۴۰٪ انتشار جهانی CO₂ از سال ۲۰۰۰ (بانک جهانی، ۲۰۲۳) و رشد ۵،۲ برابری مصرف انرژی، نشان‌دهنده شکست مدل‌های توسعه متکی بر بهره‌وری تک بعدی است. مطالعات تجربی تأیید می‌کنند که مدل‌های DEA مرسوم به دلیل بی‌توجهی به وابستگی متقابل ستانده‌ها (مانند رابطه معکوس GDP و CO₂) و عدم در نظر گرفتن عدم قطعیت داده‌ها، به ارزیابی‌های نادرست منجر می‌شوند (Wang et al., 2023) برای نمونه، در کشورهای OECD، کارایی زیست محیطی به طور متوسط تنها ۰،۳۴۸، اندازه گیری شده که بیانگر ناکارآمدی سیاست‌های فعلی است (IEA, 2022).

در جهان امروز، آشفته‌گی سه‌جانبه انرژی، اقتصاد و محیط‌زیست به‌گونه‌ای فزاینده درهم‌تنیده شده‌اند؛ به‌طوری‌که ناکارآمدی در یک حوزه، پایداری دو حوزه دیگر را به مخاطره می‌اندازد (IEA, 2023). کشورهای توسعه‌یافته‌ای مانند سوئیس و نروژ با اتخاذ سیاست‌های یکپارچه نظیر بهینه‌سازی شدت انرژی، توسعه مالی سبز و نوآوری‌های زیست محیطی، به شاخص‌های برتر جهانی دست یافته‌اند. برای نمونه، سوئیس با ترکیب فناوری‌های کم‌کربن، نظام آموزشی پیشرفته و زیرساخت‌های پایدار، به رتبه نخست شاخص عملکرد زیست‌محیطی (EPI) در اروپا دست یافته است (Wendling et al., 2022). در مقابل، کشورهای در حال توسعه مانند ایران با شدت انرژی ۸،۲ مگاژول بر دلار (معادل ۲،۳ برابر میانگین جهانی)، وابستگی ۹۴ درصدی به سوخت‌های فسیلی و انتشار سالانه ۶۷۰ میلیون تن CO₂، نه تنها منابع اقتصادی را تلف می‌کنند، بلکه بحران‌هایی چون گرمایش جهانی و تخریب اکوسیستم‌های آبی را تشدید می‌نمایند (World Bank, 2023; EIA, 2022). شواهد میدانی در بخش کشاورزی ایران نشان می‌دهد نظام‌های پرنهاده مانند گندم آبی با بهره‌وری انرژی ۰،۰۹۷ کیلوگرم بر مگاژول، در مقایسه با کشت‌های کم‌نهاده (مانند زعفران با ۹۳،۴۶ مگاژول بر دلار ارزش افزوده)، منجر به مصرف ۹۰ درصدی آب تجدیدناپذیر و انتشار ۲۵ درصدی گازهای گلخانه‌ای می‌شوند (Koocheki et al., 2021).

از طرفی الگوبرداری از سازوکارهای حقوقی: کشورهای پیشرفته با تدوین قوانین شفاف (مانند جریمه‌های سنگین اتلاف انرژی در نروژ) و مشوق‌های مالیاتی برای واحدهای کم‌مصرف، مسیر تحول انرژی را هموار ساخته‌اند، درحالی‌که ابهام در قوانین ایران (مانند ماده ۱۲ قانون رفع موانع تولید) مانع اجرای سیاست‌ها شده است. (OECD, 2022; Majlis Research Center, 2021). همچنین رشد شهرنشینی شتابان در کشورهای در حال توسعه بدون به‌کارگیری فناوری‌های پاک (نظیر سیستم‌های حمل‌ونقل الکتریکی در زوریخ)، منجر به آلودگی هوای مرگبار (سالانه ۴۰ هزار مرگ زودرس در ایران) و نابودی ۲۰۰ هزار هکتار جنگل سالانه شده است (WHO, 2023; FAO, 2022). مطالعات تطبیقی نشان می‌دهد سرمایه‌گذاری در نوآوری‌های زیست‌محیطی (با ضریب تأثیر ۲,۹۲) و توسعه مالی پایدار در نروژ، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر را به ۹۸ درصد رسانده، حال آنکه ایران علیرغم پتانسیل ۱۰۰ گیگاواتی انرژی خورشیدی، تنها ۱ درصد از آن را بهره‌برداری می‌کند. (IRENA, 2023; Zahedi et al., 2022). این مقایسه با ارائه راهبردهای انطباق‌پذیر، نه‌تنها شکاف عملکردی بین اقتصادهای توسعه‌یافته و در حال توسعه را کاهش می‌دهد، بلکه مسیر دستیابی به اهداف توسعه پایدار ۲۰۳۰ را هموار می‌سازد.

بررسی مطالعات مختلف نشان می‌دهد که، محمدیان (۱۴۰۲) به بررسی بررسی رابطه رشد اقتصادی و آلودگی در بخش حمل‌ونقل ایران پرداخت و نتایج نشان داد اصلاح قیمت انرژی به تنهایی برای کاهش کربن کافی نیست و نیازمند بهبود کارایی انرژی است.

دشتی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی رابطه علی یکطرفه از کارایی زیست محیطی به کارایی اقتصادی در بخش کشاورزی ایران را تأیید کرد (بهبود ۱٪ کارایی زیست‌محیطی $\approx$ افزایش ۰,۶۳٪ کارایی اقتصادی).

سلیمانی و مجبوری یزدی (۱۳۹۸) در پژوهشی نشان داد که، استراتژیهای زیست محیطی و تعهد مدیریت، تأثیر مثبت بر عملکرد زیست محیطی شرکتها دارد.

فتحی و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی نشان داد که، با ترکیب DEA و بازی چانه‌زنی نش، نشان دادند مدل‌های سنتی DEA قادر به دستیابی به تعادل سه بعدی (انرژی، اقتصاد، محیط‌زیست) نیستند.

اسکدر (۲۰۲۲) در پژوهشی نشان داد که، مصرف انرژی، رشد GDP و شهرنشینی را عوامل کلیدی افزایش CO₂ در کشورهای در حال توسعه معرفی کرد.

ریحان و همکاران (۲۰۲۴) در پژوهشی نشان داد که، تأثیر سوختهای فسیلی بر افزایش CO₂ در چین را ۴,۹۷٪ (بلندمدت) و انرژی‌های تجدیدپذیر را کاهش دهنده ۱,۳۹٪ آن دانستند.

روش پژوهش

در این پژوهش با استفاده از تکنیک پوششی داده ها در حالت بازده ثابت نسبت به مقیاس برای محاسبه کارایی انرژی، اقتصادی و زیست محیطی با بهره گیری از حاصل رب نش در کشورهای توسعه یافته پرداخته شده است در ادامه نیز با استفاده از بازی چانه زنی نش DEA- به محاسبه کارایی در حوزه های اقتصاد، انرژی و محیط زیست پرداخته شده است. در ادامه به تبیین شیوه محاسبه هریک از روش های محاسبه کارایی پرداخته می شود.

- کارایی انرژی

تابع تولید به شرح زیر معرفی می شود:

$$T = (K, L, E, GDP, CO_2) : (K, L, E) \Rightarrow (GDP, CO_2) \quad (1)$$

برای محاسبه کارایی انرژی در DMU_j ($j=1, 2, \dots, n$) ابتدا تابع فاصله ناپارامتریک شفارد برای مصرف انرژی تعریف شده است. که به صورت زیر می باشد.

$$(K_j, L_j, E_j, GDP_j, CO_{2j}) = \sup \alpha : (K_j, L_j, E_j / \alpha, GDP_j, CO_{2j}) \in T \quad (2)$$

کاهش مصرف انرژی توسط DMU_j تا جایی که امکان دارد با فرض ترکیب ثابت ورودی و ورودی در تابع تولید در نظر گرفته می شود (ژو، ۲۰۰۱). سپس، عملکرد کارایی انرژی با روش DEA به شرح زیر محاسبه می شود. در معادله (۲) کاهش مصرف انرژی توسط DMU_j با توجه به ثابت نگه داشتن ترکیبی ورودی و خروجی در مجموعه امکان تولید، تا آنجایی که امکان پذیر است مدنظر می باشد. در تابع فاصله انرژی شفارد $D_E(K_j, L_j, E_j, GDP_j, CO_{2j})$ میزانی از مصرف انرژی که کاهش یافته اندازه گیری می شود. در این مقاله عملکرد کارایی انرژی توسط روش DEA محاسبه می گردد که به شرح معادلات زیر می باشد.

$$\begin{aligned} E &= 1/D_E(K_j, L_j, E_j, GDP_j, CO_{2j}) = \min \beta \\ s.t. \quad &\sum_{i=1}^n \lambda_i L_i \leq L_j \\ &\sum_{i=1}^n \lambda_i E_i \leq \beta E_j \\ &\sum_{i=1}^n \lambda_i GDP_i \geq GDP_j \\ &\sum_{i=1}^n \lambda_i CO_{2i} = CO_{2j} \\ &\lambda_i \geq 0, i = 1, 2, 3, \dots, n \end{aligned} \quad (3)$$

- کارایی اقتصادی

برای محاسبه کارایی اقتصادی، از معادله (۳-۴) استفاده می شود، در حالی که هدف ارزیابی عملکرد کل واحد در نظر گرفته شده است (DMU) (کوک و همکاران ۲۰۱۴)

$$\text{Max: } EE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{m_1} u_i^{GDP} y_{i0}^{GDP}}{\sum_{r=1}^s v_r x_{r0}} \right] \quad \text{S.T:} \quad (4)$$

$$\left(\frac{\sum_{i=1}^{m_1} u_i^{GDP} y_{ij}^{GDP}}{\sum_{r=1}^s v_r x_{rj}} \right) \leq 1, \quad j = 1, \dots, n$$

$$v_r, u_i^{GDP} > 0 \quad i = 1, \dots, m_1, \quad r = 1, \dots, s$$

- کارایی زیست محیطی

بنگاه ها معمولا همراه با تولید محصول یا خدمات خود، خروجی های نامطلوبی مانند انتشار آلاینده ها دارند که در محاسبه کارایی باید مورد توجه قرار بگیرند. در محاسبه کارایی و با استفاده از روش تحلیل پوششی داده ها، هدف افزایش خروجی مطلوب و کاهش خروجی نامطلوب است اما از آن جهت که در رویکردهای تحلیل پوششی داده ها نمیتوان تفاوتی میان حداکثر کردن و حداقل کردن خروجی ها قائل شد، بایستی به گونه ای داد های خروجی نامطلوب را تغییر داد تا کارایی محاسبه شود. در منابع مختلف روشهایی برای حل این مشکل ارائه شده است. یکی از این روشها ضرب عدد 1 در مقادیر خروجی نامطلوب است. در مطالعاتی دیگر پیشنهاد شده است که مقادیر خروجی نامطلوب را معکوس کرده و سپس کسر حاصل را به عنوان خروجی به مدل ارائه داد. در این پژوهش نیز از روش معکوس کردن انتشار دی اکسید کربن استفاده شده است. که به صورت زیر می باشد: (لویس و سکستون، ۲۰۰۴) عملکرد زیست محیطی بر اساس کارایی خروجی محور با معکوس کردن خروجی نامطلوب به عنوان $CO_2^{-1} = \frac{1}{CO_2}$ اندازه گیری می شود.

$$\text{Max } EEE = \left[\frac{(\sum_{k=1}^{m_2} u_k^{CO_2} y_{k0}^{CO_2})^{-1}}{\sum_{r=1}^s v_r x_{r0}} \right]$$

S.T :

$$\left[\frac{(\sum_{k=1}^{m_2} u_k^{CO_2} y_{kj}^{CO_2})^{-1}}{\sum_{r=1}^s v_r x_{rj}} \right] \leq 1, \quad j = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$v_r, u_k^{CO_2} > 0 \quad k = 1, \dots, m_2, \quad r = 1, \dots, s$$

بازی چانه زنی نش - DEA

در این تحقیق با استفاده از مدل چانه زنی نش، عملکرد واحدهای تصمیم گیرنده (DMU) به طور همزمان اندازه گیری می شود. طبق مدل نش، مجموعه شدنی باید فشرده و محدب باشد و شامل برخی از بردارهای نتیجه نیز باشد. بنابراین هر نتیجه معین باید بزرگتر از نتیجه شکست باشد. نتایج شکست نقطه در شروعی برای چانه زنی هستند که نتیجه حاصل را در صورتی که یک بازیکن تصمیم بگیرد از چانه زنی کناره گیری نماید نشان می دهند. برای تخمین نقاط شکست از رویکرد کارایی متقاطع استفاده می شود. طبق تحقیقات جهان گشایی رضایی و همکاران (2012) این رویکرد بسیار به واقعیت نزدیک است. شاخص کارایی متقابل یک توسط مجموعه های از وزن های بهینه DMU به دست می آید.

مجموعه امکانات تولید را کوچکترین مجموعه ای در نظر گرفته شده که در اصول اول تا چهارم صدق کند. در واقع در تحلیل پوششی داده ها نیز واحدها سعی دارند که بهترین ترکیب وزن ها را برای سنجش واحد مطبوع شان در نظر بگیرند. روش اندازه گیری کارایی در تحلیل پوششی داده ها بر اساس حداقل فاصله ای است که هر واحد از مرز مجموعه امکان تولید دارد در واقع همان بحث کمینه سازی که زیر مجموعه ای از بهینه سازی است را تداعی می کند. در یک محیط مشارکتی، می توان مدل DEA با بازی چانه زنی ترکیب کرد تا اشکالات مدل کلاسیک DEA در رتبه بندی واحدها جبران شود (فتحی و همکاران، ۲۰۲۱). طبق مطالعه وو و همکاران (۲۰۰۹) و فتحی و همکاران (۱۳۹۶) یک مدل جدید مبتنی بر بازی چانه زنی - تحلیل پوششی داده ها برای به دست آوردن نقاط تعادل نش استفاده می شود. مدل پیشنهادی را می توان به صورت زیر در نظر داشت:

$$\begin{aligned} \max e_0 &= \left(\frac{\sum_{r=1}^s \mu_r z_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} - \theta_{cross_j} \right) \\ \text{s. t. } \frac{\sum_{r=1}^s \mu_r z_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} &\geq \theta_{cross_j} \\ \frac{\sum_{r=1}^s \mu_r z_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} &\leq 1, \quad j = 1, \dots, n \\ \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} &= 1 \\ \mu_r, v_i &> 0, i = 1, \dots, m, r = 1, \dots, s \end{aligned} \quad (6)$$

W_0 مقدار ارزش بازی را نشان می دهد. با توجه به روش کارایی متقابل، نقاط تهدید برای کارایی در حوزه انرژی، محیط زیست و اقتصاد به ترتیب به صورت θ_{GDP} ، θ_E و θ_{CO2} محاسبه می شود. بازی چانه زنی نش - مدل DEA بر اساس روش کارایی متقاطع یک راه حل بهینه پارتو است که راه حل

نهایی را به دست می آورد (نقاط تعادل در زمینه های انرژی، محیط زیست و اقتصاد). مدل زیر به عنوان بازی چانه زنی- مدل DEA این مطالعه در نظر گرفته شده است.

$$\begin{aligned}
 & \text{Max} \quad W_0 = \left[\frac{\sum_{i=1}^m u_i y_{i0}}{\sum_{r=1}^s v_r x_{r0}^E} - \right. \\
 & \left. \theta_E \right] \left[\frac{\sum_{i=1}^{m_1} u_i^{GDP} y_{i0}^{GDP}}{\sum_{r=1}^s v_r x_{r0}} - \theta_{GDP} \right] \left[\frac{(\sum_{k=1}^{m_2} u_k^{CO_2} y_{k0}^{CO_2})^{-1}}{\sum_{r=1}^s v_r x_{r0}} - \theta_{CO_2} \right] \\
 & s. t. \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^m u_i y_{i0}}{\sum_{r=1}^s v_r x_{r0}^E} \right) \geq \theta_E \quad (Y) \\
 & \left[\frac{\sum_{i=1}^{m_1} u_i^{GDP} y_{i0}^{GDP}}{\sum_{r=1}^s v_r x_{r0}} \right] \geq \theta_{GDP} \\
 & \left[\frac{(\sum_{k=1}^{m_2} u_k^{CO_2} y_{k0}^{CO_2})^{-1}}{\sum_{r=1}^s v_r x_{r0}} - \theta_{CO_2} \right] \geq \theta_{CO_2} \\
 & \frac{\sum_{i=1}^m u_i y_{i0}}{\sum_{r=1}^s v_r x_{r0}^E} \leq 1. \quad j = 1, \dots, n \\
 & \left(\frac{\sum_{i=1}^{m_1} u_i^{GDP} y_{i0}^{GDP}}{\sum_{r=1}^s v_r x_{r0}} \right) \leq 1. \quad j = 1, \dots, n \\
 & \left[\frac{(\sum_{k=1}^{m_2} u_k^{CO_2} y_{k0}^{CO_2})^{-1}}{\sum_{r=1}^s v_r x_{r0}} - \theta_{CO_2} \right] \leq 1. \quad j = 1, \dots, n \\
 & v_r, u_i^{GDP}, u_k^{CO_2} > 0 \quad i = 1, \dots, m_1 \quad k = 1, \dots, m_2. \quad r = 1, \dots
 \end{aligned}$$

برای داشتن یک بازی چانه زنی نش برای مدل فوق، باید شرایط نش (فشرده‌گی، تحدب و اندازه بردارهای پرداخت از مقادیر نقاط تهدید) ایجاد شود. سه محدودیت اول تضمین می کند که بردارهای عایدی بزرگتر از مقادیر تهدید هستند.

داده‌ها و متغیرهای پژوهش

در این پژوهش متغیرهای مورد استفاده برای محاسبه کارایی انرژی، اقتصادی و زیست محیطی معرفی شده، در مطالعات ژائو و همکاران^۱ (۲۰۰۸) و ژانگ و آنگ^۲ (۲۰۱۰) موجودی سرمایه (دلار آمریکا به قیمت ثابت سال ۲۰۱۰) نیروی کار (نفر)، مصرف انرژی (کیلو تن معادل نفت)، به عنوان نهاده و از تولید ناخالص داخلی (دلار آمریکا به قیمت ثابت سال ۲۰۱۰) و میزان انتشار دی‌اکسیدکربن (کیلو تن) به ترتیب به عنوان ستاده مطلوب و نامطلوب در مدل استفاده می‌گردد. داده‌های مربوط به

1 Zhou & et al.

2 Zhou & Ang

متغیرهای موجودی سرمایه (K)، نیروی کار (L) و مصرف انرژی (E) به عنوان ورودی و تولید ناخالص داخلی (GDP) و انتشار دی‌اکسیدکربن (CO₂) به ترتیب به عنوان ستانده‌های مطلوب و نامطلوب است. داده‌های مربوط به متغیرها به جزء موجودی سرمایه از مجموعه WDI^۱ سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۰ استخراج گردیده‌اند.

مصرف انرژی (EC): مصرف انرژی به استفاده از انرژی اولیه قبل از تبدیل به سوخت مصرفی اشاره دارد که معادل تولید محلی به اضافه واردات و تغییرات ذخایر، منهای صادرات و سوخت‌های عرضه شده به کشتی‌ها و هواپیماهای به کار گرفته شده در حمل و نقل بین‌المللی است (آژانس بین‌المللی انرژی) واحد مصرف انرژی برابر با کیلو تن معادل نفت می‌باشد.

نیروی کار (L): نیروی کار شامل مردمی است که سازمان جهانی کار آنها را به صورت زیر تعریف می‌کند. تمام مردمی که کار خود را برای تولید کالاها و خدمات در طی یک زمان مشخص عرضه می‌کنند که شامل بیکاران و شاغلان می‌شود. نیروی کار نیروهای انتظامی، بیکاران و جستجو کنندگان شغل در این مجموعه قرار می‌گیرند. درحالی که زنان خانه دار، کارگران در بخش غیر رسمی را در بر نمی‌گیرد.

تولید ناخالص داخلی (GDP): تولید ناخالص داخلی به قیمت خریداران مجموع ارزش افزوده ناخالص تمام تولیدکنندگان در داخل یک اقتصاد به اضافه مالیات بر محصول منهای هرگونه یارانه‌ای است که در ارزش محصول لحاظ نشده است. تولید ناخالص داخلی بدون در نظر گرفتن استهلاک دارائی‌های کارخانه‌ای و یا تهی‌سازی منابع طبیعی محاسبه گردیده است داده‌ها بر مبنای قیمت‌های ثابت سال ۲۰۰۵ و به دلار می‌باشند.

انتشار دی‌اکسید کربن (CO₂): انتشار گاز در اثر احتراق سوخت‌های فسیلی و کارخانجات سیمان است. داده‌ها شامل دی‌اکسیدکربن منتشر شده در اثر مصرف سوخت‌های جامد، مایع، گاز و اشتعال گازهاست. داده‌های انتشار بر اساس کیلو تن CO₂ می‌باشد.

موجودی سرمایه (K): موجودی سرمایه عبارت است از مجموع کالاهای سرمایه‌ای در اقتصاد که با یک معیار واحد اندازه‌گیری می‌شود وقتی که مقادیر کالاهای سرمایه‌ای مختلف مانند تجهیزات، ماشین‌آلات ساختمان‌ها و موجودی انبار به یک واحد مشترک تبدیل و با هم جمع می‌شوند. ملاکی از موجودی سرمایه فیزیکی جامعه را بدست می‌دهد. اندازه‌گیری مقدار فیزیکی موجودی کالاهای سرمایه‌ای در عمل بسیار مشکل است. بنابراین ارزش پولی آنها را در نظر می‌گیرند.

1 World Development Indicators

یافته و نتایج

در این مطالعه به استناد گزارش‌های سالانه بانک جهانی از داده‌های کشورهای عضو سازمان توسعه و همکاری‌های اقتصادی (۳۵ کشور) طی دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۲ شامل: موجودی سرمایه (دلار آمریکا به قیمت ثابت سال ۲۰۱۰)، نیروی کار (نفر) (L)، مصرف انرژی (کیلو تن معادل نفت) (E)، به عنوان نهاده و تولید ناخالص داخلی (دلار آمریکا به قیمت ثابت سال ۲۰۱۰) (Y) و میزان انتشار دی‌اکسید کربن (کیلو تن) (C) به ترتیب به عنوان ستاده مطلوب و نامطلوب استفاده شده است. در جدول (۱) و (۲) آمار توصیفی متغیرهای ورودی و خروجی گزارش شده است.

جدول ۱: آمار توصیفی متغیرهای نهاده و ستانده در کشورهای سازمان توسعه و

همکاری‌های اقتصادی

نوع متغیر	متغیر	حداقل	حداکثر	متوسط	انحراف از معیار
نهاده	موجودی سرمایه (میلیون دلار آمریکا)	۲۱۴۴/۸۲	۳۴۳۷۵۷/۶۱	۲۸۵۴۶۸/۰۴	۵۶۵۱۱۳/۷۷
	نیروی کار (هزار نفر)	۱۸۷/۹۰	۱۵۹۶۸۴/۴۱	۱۷۴۸۵/۹۱	۲۸۸۲۹/۹۸
	مصرف انرژی (کیلو تن معادل نفت خام)	۱۵۴۰/۱۰	۱۸۱۷۸/۱۴	۴۲۵۶/۴۳	۲۸۵۵/۱۰
ستانده	تولید ناخالص داخلی (میلیون دلار آمریکا)	۱۳۹۴۱/۱۶	۱۶۲۴۲۵۲۶/۴	۱۳۲۹۵۱/۹۵	۲۷۴۳۳۱۳/۲۸
	انتشار دی‌اکسید کربن (کیلو تن)	۱۸۰۰/۵	۵۲۸۹۶۸۰/۵	۳۵۰۹۱۰/۸۱	۸۷۲۱۳۰/۶۷

منبع: نتایج تحقیق

براساس اعداد ارائه شده در جدول (۱) کشورهای ایسلند و ایالات متحده آمریکا به ترتیب دارای حداکثر و حداقل میزان نیروی کار، موجودی سرمایه، تولید ناخالص داخلی و انتشار دی‌اکسید کربن هستند. از نظر مصرف انرژی نیز میزان متوسط معادل ۴۲۵۶/۴۳ کیلو تن معادل نفت خام بوده که

حداکثر متعلق به کشور ایسلند و حداقل متعلق به کشور ترکیه است. پس از برنامه نویسی روابط مربوط به مدل پژوهش در نرم افزار گمز^۱، نتیجه خروجی مدل در جدول‌های (۲) الی (۷) ارائه شده است. نتایج اندازه گیری کارایی اقتصادی، انرژی و محیط زیستی در جدول (۲) برای هر کشور نشان داده شده است. مدل تحلیل پوششی داده‌ها از اطلاعات مصرف انرژی به عنوان داده، تولید ناخالص داخلی و معیارهای زیست محیطی به عنوان ستانده به طور جداگانه استفاده می‌کند، از اینرو امکان محاسبه کارایی کشورهای مورد مطالعه ایجاد می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که کشورهای مختلف عملکرد متفاوتی دارند. در همه حوزه ها نمره کارایی ۱ نشان دهنده کارآمدی DMU است و نمره کمتر از ۱ نشان دهنده ناکارآمدی DMU ها است. هر چه امتیاز عملکرد بالاتر باشد، عملکرد DMU بهتر است.

جدول ۲: اندازه کارایی انرژی در کشورهای منتخب توسعه یافته

کشورها	کارایی انرژی				متوسط
	۲۰۱۷	۲۰۱۸	۲۰۱۹	۲۰۲۰	
استرالیا	۰,۳۲۲۶	۰,۸۱۸۳	۰,۸۳۲۵	۰,۳۰۱۶	۰,۵۶۸۸
اتریش	۰,۷۶۸۶	۰,۷۳۰۱	۰,۶۸۳۲	۰,۶۹۷۲	۰,۷۱۹۸
بلژیک	۰,۷۹۰۷	۰,۷۴۱۸	۰,۶۹۵۲	۰,۶۸۰۸	۰,۷۲۷۱
کانادا	۰,۷۱۴۰	۰,۶۹۶۲	۰,۶۹۰۱	۰,۶۹۰۷	۰,۶۹۷۷
شیلی	۰,۵۳۲۷	۰,۵۱۲۲	۰,۲۹۱۶	۰,۵۹۹۱	۰,۴۸۳۹
جمهوری چک	۰,۵۰۵۳	۰,۵۲۴۴	۰,۵۲۳۳	۰,۵۱۴۲	۰,۵۱۶۸
دانمارک	۰,۹۵۸۶	۰,۹۱۰۵	۰,۸۳۲۵	۰,۸۳۲۸	۰,۸۸۳۶
استونی	۰,۳۲۲۶	۰,۴۹۰۹	۰,۲۹۱۶	۰,۳۰۱۶	۰,۳۵۱۷
فنلاند	۰,۶۹۴۰	۰,۷۰۱۰	۰,۷۳۸۵	۰,۷۵۸۸	۰,۷۲۳۱
فرانسه	۰,۷۰۸۰	۰,۶۸۸۶	۰,۶۸۱۹	۰,۶۸۲۷	۰,۶۹۰۳
آلمان	۰,۶۷۶۴	۰,۷۵۴۷	۰,۷۶۲۸	۰,۷۷۳۱	۰,۷۴۱۸
یونان	۰,۸۶۹۲	۱	۱	۱	۰,۹۶۷۳
مجارستان	۰,۷۱۷۷	۰,۶۴۸۱	۰,۶۰۲۵	۰,۵۹۲۹	۰,۶۴۰۳
ایسلند	۱	۱	۱	۱	۱
ایرلند	۰,۹۱۷۱	۰,۸۸۸۰	۰,۸۵۷۱	۰,۸۱۲۹	۰,۸۶۸۸
اسرائیل	۰,۷۵۶۲	۰,۷۴۱۸	۰,۷۳۵۷	۰,۷۳۸۶	۰,۷۴۳۱

1 GAMZ

کشورها	کارایی انرژی				
	متوسط	۲۰۲۰	۲۰۱۹	۲۰۱۸	۲۰۱۷
ایتالیا	۰,۸۲۱۵	۰,۸۸۴۰	۰,۸۷۴۴	۰,۸۲۳۰	۰,۷۰۴۷
ژاپن	۰,۷۲۸۱	۰,۷۳۳۸	۰,۷۲۲۸	۰,۷۲۴۴	۰,۷۳۱۳
لتونی	۰,۶۳۷۲	۰,۳۰۱۶	۰,۲۹۱۶	۰,۹۵۵۸	۱
لوکزامبورگ	۰,۶۴۸۳	۰,۳۰۱۶	۰,۲۹۱۶	۱	۱
مکزیک	۰,۶۵۵۲	۰,۶۸۸۴	۰,۶۶۹۸	۰,۶۳۶۸	۰,۶۲۶۰
هلند	۰,۷۹۰۹	۰,۸۰۹۷	۰,۷۸۶۷	۰,۷۸۷۸	۰,۷۷۹۵
نیوزلند	۰,۶۷۵۹	۰,۶۸۴۸	۰,۶۸۰۳	۰,۶۶۳۰	۰,۶۷۵۳
نروژ	۰,۹۵۰۹	۰,۹۷۲۹	۰,۹۳۶۳	۰,۹۴۶۴	۰,۹۴۸۱
لهستان	۰,۳۷۷۱	۰,۵۹۵۷	۰,۲۹۱۶	۰,۲۹۸۵	۰,۳۲۲۶
پرتغال	۰,۸۰۸۱	۰,۸۳۷۷	۰,۸۳۶۵	۰,۸۳۹۸	۰,۷۱۸۴
اسلواکی	۰,۵۹۲۹	۰,۵۹۹۵	۰,۵۹۴۶	۰,۵۹۹۱	۰,۵۷۸۴
اسلوونی	۰,۷۴۹۴	۰,۷۹۵۷	۰,۷۵۲۶	۰,۷۴۴۱	۰,۷۰۵۲
کره جنوبی	۰,۴۴۶۵	۰,۴۴۹۶	۰,۴۵۶۵	۰,۴۴۲۷	۰,۴۳۷۴
اسپانیا	۰,۷۲۲۲	۰,۷۴۵۳	۰,۷۶۱۳	۰,۷۲۴۰	۰,۶۵۸۱
سوئد	۰,۶۲۱۹	۰,۷۰۵۲	۰,۶۹۸۱	۰,۷۶۱۷	۰,۳۲۲۶
سوئیس	۱	۱	۱	۱	۱
ترکیه	۰,۵۷۶۳	۰,۵۹۱۲	۰,۵۷۴۷	۰,۵۹۸۶	۰,۵۴۰۹
انگلیس	۰,۸۴۶۲	۰,۸۰۷۹	۰,۸۴۱۱	۰,۸۷۱۷	۰,۸۶۴۱
آمریکا	۱	۱	۱	۱	۱

منبع: نتایج تحقیق

در جدول (۲) عملکرد انرژی ۳۲ کشور توسعه یافته طی سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۲۰ را نشان می‌دهد. ایسلند، سوئیس و آمریکا با میانگین ۱ (حداکثر امتیاز) بهترین عملکرد را دارند، نشان‌دهنده بهره‌وری بالای انرژی در زیرساخت‌های صنعتی و حمل‌ونقل آنها. کشورهایی مانند یونان (۰,۹۶) و نروژ (۰,۹۵) نیز امتیازات بالایی کسب کرده‌اند. در مقابل، استونی (۰,۳۵) و لهستان (۰,۳۷) پایین‌ترین رتبه‌ها را دارند که احتمالاً ناشی از وابستگی به سوخت‌های فسیلی یا سیستم‌های انرژی ناکارآمد است. نوسانات شدید در برخی کشورها (مثل استرالیا: از ۰,۳۲ در ۲۰۱۷ به ۰,۸۱ در ۲۰۱۸) ممکن است نشان‌دهنده تغییرات سیاست‌گذاری یا تأثیر عوامل خارجی مانند قیمت جهانی انرژی باشد.

جدول ۳: اندازه کارایی اقتصادی در کشورهای منتخب توسعه یافته

کشورها	کارایی اقتصادی			
	متوسط	۲۰۲۰	۲۰۱۹	۲۰۱۸
استرالیا	۰,۳۲۲۳	۰,۸۱۵۸	۰,۳۰۱۲	۰,۵۶۷۳
اتریش	۰,۷۴۴۸	۰,۷۰۳۹	۰,۶۵۳۲	۰,۶۶۷۹
بلژیک	۰,۷۷۸۱	۰,۷۲۶۵	۰,۶۷۹۱	۰,۶۶۳۵
کانادا	۰,۷۱۲۸	۰,۶۹۴۸	۰,۶۸۸۷	۰,۶۸۹۴
شیلی	۰,۵۰۵۸	۰,۴۸۷۰	۰,۴۹۱۲	۰,۵۷۱۴
جمهوری چک	۰,۴۹۵۷	۰,۵۱۴۷	۰,۵۱۲۱	۰,۵۰۳۷
دانمارک	۰,۹۰۹۶	۰,۸۵۰۵	۰,۷۶۴۷	۰,۷۵۰۱
استونی	۰,۳۲۲۳	۰,۴۰۰۸	۰,۲۹۱۲	۰,۳۰۱۲
فنلاند	۰,۶۶۸۳	۰,۶۷۲۰	۰,۷۱۲۱	۰,۷۳۴۵
فرانسه	۰,۷۰۳۳	۰,۶۸۳۷	۰,۶۷۷۰	۰,۶۷۷۰
آلمان	۰,۶۷۳۷	۰,۷۵۲۲	۰,۷۶۰۳	۰,۷۷۰۴
یونان	۰,۸۴۴۶	۰,۹۶۹۹	۰,۹۵۴۲	۰,۹۵۸۴
مجارستان	۰,۶۸۲۱	۰,۵۸۵۲	۰,۵۲۶۴	۰,۵۲۸۲
ایسلند	۰,۶۶۱۰	۰,۶۴۸۹	۰,۶۴۵۴	۰,۶۵۰۴
ایرلند	۰,۸۴۳۸	۰,۸۲۵۰	۰,۷۸۸۸	۰,۷۲۰۶
اسرائیل	۰,۷۳۵۲	۰,۷۲۲۹	۰,۷۱۱۵	۰,۷۱۳۷
ایتالیا	۰,۶۹۹۱	۰,۸۱۶۷	۰,۸۶۷۴	۰,۸۷۵۹
ژاپن	۰,۷۲۷۹	۰,۷۲۰۹	۰,۷۱۹۴	۰,۷۳۰۲
لتونی	۰,۴۲۴۹	۰,۳۷۱۷	۰,۲۹۱۲	۰,۳۰۱۲
لوکزامبورگ	۰,۷۸۸۹	۰,۸۰۸۰	۰,۲۹۱۲	۰,۳۰۱۲
مکزیک	۰,۶۱۸۱	۰,۶۲۹۱	۰,۶۶۱۹	۰,۶۸۰۱
هلند	۰,۷۷۲۲	۰,۷۸۱۱	۰,۷۸۰۴	۰,۸۰۳۲
نیوزلند	۰,۶۱۶۳	۰,۶۰۹۳	۰,۶۳۵۲	۰,۶۴۸۵
نروژ	۰,۸۹۷۱	۰,۹۰۵۰	۰,۹۰۱۳	۰,۹۰۷۳
لهستان	۰,۳۲۲۳	۰,۲۹۸۱	۰,۲۹۱۲	۰,۵۸۷۹
پرتغال	۰,۶۷۳۵	۰,۷۸۶۵	۰,۷۷۴۱	۰,۷۸۲۱
اسلواکی	۰,۵۳۴۷	۰,۵۴۱۱	۰,۵۴۲۵	۰,۵۵۰۴
اسلوونی	۰,۵۲۰۱	۰,۵۳۸۲	۰,۵۱۶۰	۰,۵۶۷۹
کره جنوبی	۰,۴۳۵۹	۰,۴۴۰۸	۰,۴۵۴۵	۰,۴۴۷۶
اسپانیا	۰,۶۵۰۸	۰,۷۱۶۴	۰,۷۵۲۱	۰,۷۳۵۹
سوئد	۰,۳۲۲۳	۰,۷۳۴۳	۰,۶۶۲۵	۰,۶۷۰۲
سوئیس	۰,۹۳۵۹	۰,۹۳۹۰	۰,۹۴۶۰	۰,۹۳۶۸
ترکیه	۰,۵۳۰۰	۰,۵۸۷۸	۰,۵۶۲۶	۰,۵۸۰۳
انگلیس	۰,۸۵۹۳	۰,۸۶۷۲	۰,۸۳۶۳	۰,۸۰۲۰
آمریکا	۰,۹۹۹۶۰	۰,۹۹۹۵۷	۰,۹۹۹۵۷	۰,۹۹۹۵۹

منبع: نتایج تحقیق

در جدول (۳) کارایی اقتصادی کشورها را ارزیابی شد. آمریکا با میانگین ۰,۹۹۹ تقریباً کامل عمل کرده، که نشان‌دهنده ثبات اقتصاد کلان و رقابت‌پذیری بالا است. کشورهای سوئیس (۰,۹۳) و نروژ (۰,۹۰) نیز عملکرد درخشانی دارند. شیلی (۰,۴۶) و استونی (۰,۳۲) در رتبه‌های پایین‌تر قرار دارند، که ممکن است ناشی از چالش‌هایی مانند وابستگی به صادرات مواد خام یا محدودیت‌های

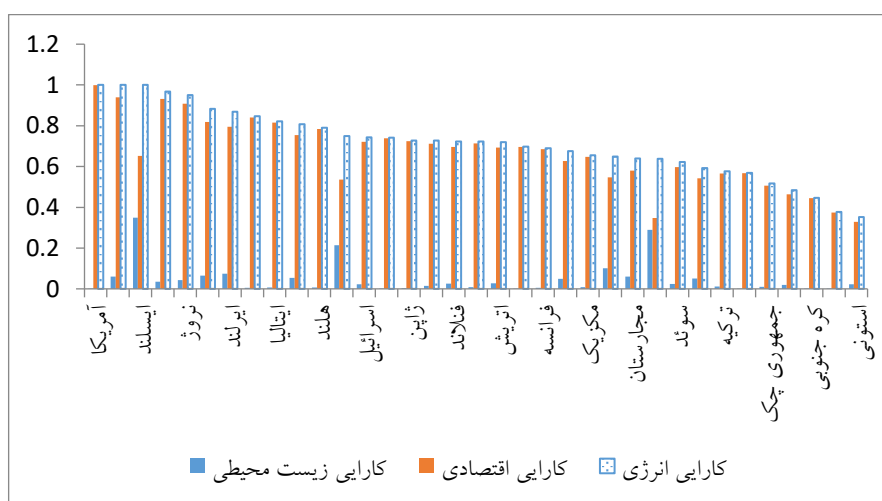
زیرساختی باشد. کاهش امتیاز برخی کشورهای اروپایی مانند مجارستان (۰,۵۸) در طول سال‌ها احتمالاً مرتبط با رکود منطقه‌ای یا بی‌ثباتی سیاسی است.

جدول ۴: اندازه کارایی زیست محیطی در کشورهای منتخب توسعه یافته

کشورها	کارایی محیط زیستی			
	۲۰۲۰	۲۰۱۹	۲۰۱۸	۲۰۱۷
استرالیا	۰,۰۰۰۳۴	۰,۰۰۰۳۶	۰,۰۰۰۳۴	۰,۰۰۰۳۴
اتریش	۰,۰۲۳۷۸	۰,۰۲۷۲۱	۰,۰۳۰۰۶	۰,۰۲۹۲۸
بلژیک	۰,۰۱۲۵۷	۰,۰۱۵۳۴	۰,۰۱۶۱۴	۰,۰۱۷۳۲
کانادا	۰,۰۰۱۲۵	۰,۰۰۱۳۷	۰,۰۰۱۳۶	۰,۰۰۱۲۸
شیلی	۰,۰۲۶۸۹	۰,۰۲۵۲۸	۰,۰۰۰۳۶	۰,۰۲۷۷۹
جمهوری چک	۰,۰۰۹۶۲	۰,۰۰۹۷۲	۰,۰۱۱۲۱	۰,۰۱۰۵۳
دانمارک	۰,۰۴۸۹۴	۰,۰۶۰۰۰	۰,۰۶۷۸۴	۰,۰۸۲۶۶
استونی	۰,۰۰۰۳۴	۰,۰۹۰۱۱	۰,۰۰۰۳۶	۰,۰۰۰۳۶
فنلاند	۰,۰۲۵۶۶	۰,۰۲۹۰۳	۰,۰۲۶۲۵	۰,۰۲۴۳۴
فرانسه	۰,۰۰۴۷۹	۰,۰۰۴۹۲	۰,۰۰۴۹۱	۰,۰۰۵۶۶
آلمان	۰,۰۰۲۶۸	۰,۰۰۲۵۶	۰,۰۰۲۴۲	۰,۰۰۲۶۶
یونان	۰,۰۲۴۶۳	۰,۰۳۰۱۲	۰,۰۴۵۸۲	۰,۰۴۱۵۷
مجارستان	۰,۰۳۵۵۶	۰,۰۶۲۸۵	۰,۰۷۶۰۷	۰,۰۶۴۶۶
ایسلند	۰,۳۳۹۰۴	۰,۳۵۱۱۱	۰,۳۵۴۵۷	۰,۳۴۹۵۶
ایرلند	۰,۰۷۳۳۳	۰,۰۶۲۹۹	۰,۰۶۸۳۲	۰,۰۹۲۲۱
اسرائیل	۰,۰۲۱۰۱	۰,۰۱۸۸۸	۰,۰۲۴۱۴	۰,۰۲۴۸۵
ایتالیا	۰,۰۰۵۶۳	۰,۰۰۶۲۴	۰,۰۰۶۹۵	۰,۰۰۸۰۲
ژاپن	۰,۰۰۳۴۸	۰,۰۰۳۵۰	۰,۰۰۳۴۱	۰,۰۰۳۵۸
لتونی	۰,۵۷۵۱۱	۰,۵۸۴۰۸	۰,۰۰۰۳۶	۰,۰۰۰۳۶
لوکزامبورگ	۰,۲۱۱۰۸	۰,۱۹۲۰۳	۰,۰۰۰۳۶	۰,۰۰۰۳۶
مکزیک	۰,۰۰۷۹۷	۰,۰۰۷۷۲	۰,۰۰۷۸۷	۰,۰۰۸۳۳
هلند	۰,۰۰۷۳۰	۰,۰۰۶۷۱	۰,۰۰۶۳۵	۰,۰۰۶۴۹
نیوزلند	۰,۰۵۹۰۶	۰,۰۵۳۶۹	۰,۰۴۵۱۳	۰,۰۳۶۳۱
نروژ	۰,۰۵۰۹۹	۰,۰۴۱۴۱	۰,۰۳۴۹۷	۰,۰۴۷۰۲
لهستان	۰,۰۰۰۳۴	۰,۰۰۰۳۶	۰,۰۰۰۳۶	۰,۰۰۷۸۶
پرتغال	۰,۰۴۴۹۵	۰,۰۵۳۲۶	۰,۰۶۲۴۸	۰,۰۵۵۶۲
اسلواکی	۰,۰۴۳۶۷	۰,۰۵۷۹۷	۰,۰۵۲۱۱	۰,۰۴۹۰۹
اسلوونی	۰,۱۸۵۰۹	۰,۲۰۵۹۵	۰,۲۳۶۶۴	۰,۲۲۷۸۵
کره جنوبی	۰,۰۰۱۵۳	۰,۰۰۱۸۸	۰,۰۰۲۰۳	۰,۰۰۱۹۸
اسپانیا	۰,۰۰۷۳۵	۰,۰۰۷۶۹	۰,۰۰۹۲۴	۰,۰۰۹۴۵
سوئد	۰,۰۰۰۳۴	۰,۰۲۷۴۷	۰,۰۳۵۶۰	۰,۰۳۵۰۰
سوئیس	۰,۰۶۴۰۷	۰,۰۶۰۹۶	۰,۰۵۴۰۵	۰,۰۶۳۲۰
ترکیه	۰,۰۱۰۸۷	۰,۰۱۰۸۶	۰,۰۱۲۰۲	۰,۰۱۰۸۵
انگلیس	۰,۰۰۴۷۹	۰,۰۰۴۵۳	۰,۰۰۴۷۹	۰,۰۰۵۸۵
آمریکا	۰,۰۰۰۴۰	۰,۰۰۰۴۳	۰,۰۰۰۴۳	۰,۰۰۰۴۱

منبع: نتایج تحقیق

در جدول (۴) تمرکز بر شاخص‌های زیست‌محیطی مانند کاهش آلاینده‌ها یا مدیریت منابع طبیعی دارد. ایسلند (۰,۳۴۸۶) با اختلاف قابل توجهی پیش‌تاز است، که احتمالاً به دلیل بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر (ژئوترمال و برق آبی) و جمعیت کم است. لتونی (۰,۲۹) و اسلونی (۰,۲۱) نیز عملکرد خوبی نشان می‌دهند. در مقابل، آمریکا (۰,۰۰۰۴) و استرالیا (۰,۰۰۱۴) کمترین امتیاز را دارند که نشان‌دهنده تأثیر صنایع سنگین، مصرف بالای سوخت فسیلی و انتشار کربن در این اقتصادهای بزرگ است. امتیاز پایین کره جنوبی (۰,۰۰۱۹) نیز احتمالاً ناشی از تمرکز صنعتی و تراکم جمعیتی بالا است. برای مقایسه بهتر کارایی انرژی، اقتصادی و زیست محیطی در کشورهای منتخب توسعه یافته به صورت نمودار آورده شده است.



نمودار ۱: مقایسه کارایی انرژی، اقتصادی و زیست محیطی در کشورهای توسعه یافته منتخب

نتایج مدل تحلیل پوششی داده‌ها- بازی چانه زنی نش^۱ (NBG-DEA)

مزیت استفاده از رویکرد NBG-DEA آن است که برخلاف مدل‌های کلاسیک که قدرت تشخیص مدل تحت تأثیر تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها بود و امتیاز کارایی واحدهای تصمیم‌گیری نزدیک بودند، آن است که در این رویکرد به دلیل بررسی واحدهای تصمیم‌گیری در محیط رقابتی شاخص‌های مربوط به ورودی یا خروجی تأثیرگذار نیستند. از اینرو این امکان وجود ندارد که کشوری در دسته بندی کارآمدها قرار بگیرد ولی در واقعیت کارآمد نباشد. برای دستیابی به این هدف ابتدا

1 Nash Bargaining Game-Data Envelopment Analysis

باید حداقل بازدهی مورد انتظار هر بازیکن در یک محیط رقابتی و بدون همکاری در قالب نقطه تهدید از طریق معادلات ۸، ۹ و ۱۰ محاسبه شود. نتایج برآورد نقاط تهدید در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول ۵: نتایج نقاط تهدید اقتصادی، انرژی و محیط زیست کشورهای توسعه یافته

در دوره ۲۰۱۷-۲۰۲۰

نقطه تهدید محیط زیستی	نقطه تهدید اقتصادی	نقطه تهدید انرژی	
۰,۰۰۰۳۳۸۵	۰,۳۲۲۳	۰,۰۵۰۷	۲۰۱۷
۰,۰۰۰۳۶۳۹	۰,۲۹۸۱	۰,۰۵۲۴	۲۰۱۸
۰,۰۰۰۳۵۷۷	۰,۲۹۱۲	۰,۰۵۳۲	۲۰۱۹
۰,۰۰۰۳۵۷۸	۰,۳۰۱۲	۰,۰۵۵۶	۲۰۲۰

منبع : محاسبات محقق

در بازی‌های همکارانه هریک از اجزای اقتصاد، انرژی و محیط زیست به عنوان یک بازیکن وارد بازی می‌شود. براساس مدل NBG-DEA باید سود چانه زنی هر بازیکن که برابر است با اختلاف نقاط تهدید و امتیاز کارایی محاسبه شود، برای مثال برای محاسبه بازده چانه زنی اقتصادی باید نقطه تهدید اقتصادی را از امتیاز کارایی اقتصادی طی سال‌های مورد بررسی کم کرد، نتایج محاسبات کارایی در هر سه حوزه اقتصاد، انرژی و محیط زیست در جداول (۷) و (۶) ارائه شده است.

همکاری بین بازیکنان سبب می‌شود تا دریافتی هر بازیکن نسبت به شرایط رقابتی که هر کس درصدد افزایش سود شخصی خود است، افزایش یابد. از طریق محاسبه دریافتی هر کشور در بازی چانه زنی نش طی سال‌های مورد بررسی امکان مقایسه کشورها با هم فراهم می‌شود. براساس نتایج ارائه شده در جدول (۶) در مقایسه با سایرین، کشورهای سوئیس، ایالات متحده آمریکا، ایسلند و یونان و نروژ بالاترین بازده چانه زنی انرژی را دارند. از نظر کارایی چانه زنی اقتصادی نیز کشورهای آمریکا، سوئیس، یونان، نروژ، انگلیس پنج ارزش بالاتر را به خود اختصاص داده‌اند. در حوزه محیط زیستی نیز کشورهای ایسلند، لتونی، اسلونی، لوکزامبورگ و ایرلند بالاترین ارزش کارایی چانه‌زنی را در مقایسه با سایر کشورها دارند.

جدول ۶: نتایج دریافتی کشورهای در بازی چانه زنی در حوزه های اقتصاد، انرژی و محیط زیست

	ENBP				GBP				EBP				
	۲۰۲۰	۲۰۱۹	۲۰۱۸	۲۰۱۷	۲۰۲۰	۲۰۱۹	۲۰۱۸	۲۰۱۷	۲۰۲۰	۲۰۱۹	۲۰۱۸	۲۰۱۷	
استرالیا	-	-۰۰۲۲	-۰۰۲۲	-	-	-۰۵۳۸۸	-۰۵۱۷۶	-۰۰۰۰۰	-۰۳۶۶۰	-۰۷۷۹۳	-۰۷۶۵۹	-۰۳۷۱۹	
اتریش	-۰۰۲۸۹	-۰۰۲۹۷	-۰۰۲۶۸	-۰۰۲۲۴	-۰۳۶۶۷	-۰۳۶۲۰	-۰۴۰۴۷	-۰۳۲۲۵	-۰۶۴۱۶	-۰۶۲۰۰	-۰۶۷۷۷	-۰۷۱۷۹	
بلژیک	-۰۰۱۷۰	-۰۰۱۵۸	-۰۰۱۵۰	-۰۰۱۲۲	-۰۳۶۲۲	-۰۳۸۸۹	-۰۴۲۸۲	-۰۴۵۵۸	-۰۶۲۵۲	-۰۶۴۲۰	-۰۶۸۹۴	-۰۷۴۰۰	
کانادا	-۰۰۰۰۹	-۰۰۰۱۰	-۰۰۰۱۰	-۰۰۰۰۹	-۰۳۸۸۲	-۰۳۹۷۵	-۰۳۹۶۷	-۰۳۹۰۵	-۰۶۳۵۰	-۰۶۳۶۸	-۰۶۴۳۸	-۰۶۴۳۴	
شیلی	-۰۰۲۷۴	-	-۰۰۲۴۹	-۰۰۲۶۶	-۰۳۷۰۱	-	-۰۱۸۸۸	-۰۱۸۳۵	-۰۵۴۳۵	-۰۳۳۸۳	-۰۴۵۹۸	-۰۴۸۲۰	
جمهوری چک	-۰۰۱۰۲	-۰۰۱۰۸	-۰۰۰۹۴	-۰۰۰۹۳	-۰۲۰۲۴	-۰۲۲۰۹	-۰۲۱۶۵	-۰۱۷۲۴	-۰۴۵۸۶	-۰۴۷۰۱	-۰۴۷۲۰	-۰۴۵۴۶	
دانمارک	-۰۰۸۲۲	-۰۰۶۷۵	-۰۰۵۹۶	-۰۰۴۸۶	-۰۴۴۸۹	-۰۴۷۲۵	-۰۵۵۲۴	-۰۵۸۷۴	-۰۷۷۷۱	-۰۷۷۹۲	-۰۸۵۸۱	-۰۹۰۷۹	
استونی	-۰۰۰۰۰	-	-۰۰۸۹۸	-	-	-	-۰۱۰۲۷	-	-۰۳۶۶۰	-۰۳۳۸۳	-۰۴۳۸۵	-۰۳۷۱۹	
فنلاند	-۰۰۲۴۰	-۰۰۲۶۰	-۰۰۲۸۷	-۰۰۲۵۲	-۰۴۳۲۲	-۰۴۲۰۹	-۰۳۷۳۸	-۰۳۶۶۰	-۰۷۰۲۲	-۰۶۸۵۲	-۰۶۸۸۶	-۰۶۴۲۲	
فرانسه	-۰۰۰۵۳	-۰۰۰۴۶	-۰۰۰۴۶	-۰۰۰۴۵	-۰۳۷۵۸	-۰۳۸۵۸	-۰۳۸۵۵	-۰۳۸۱۰	-۰۶۲۷۰	-۰۶۲۸۷	-۰۶۲۶۲	-۰۶۵۷۴	
آلمان	-۰۰۰۲۲	-۰۰۰۲۱	-۰۰۰۲۲	-۰۰۰۲۲	-۰۴۶۹۲	-۰۴۶۹۱	-۰۴۵۴۰	-۰۴۵۱۵	-۰۷۱۷۴	-۰۷۰۹۵	-۰۷۰۲۲	-۰۶۲۵۷	
یونان	-۰۰۴۱۲	-۰۰۴۵۵	-۰۰۴۹۸	-۰۰۴۲۲	-۰۶۵۷۲	-۰۶۶۳۰	-۰۶۷۱۷	-۰۵۲۲۲	-۰۹۴۴۴	-۰۹۴۶۸	-۰۹۴۷۶	-۰۸۱۸۵	
مجارستان	-۰۰۴۴۴	-۰۰۴۵۷	-۰۰۴۶۵	-۰۰۴۵۲	-۰۳۲۷۰	-۰۳۲۵۲	-۰۳۸۷۱	-۰۳۵۹۹	-۰۵۳۷۲	-۰۵۴۹۲	-۰۵۹۵۷	-۰۶۴۷۰	
ایسلند	-۰۳۴۹۲	-۰۳۵۴۲	-۰۳۵۰۸	-۰۳۳۸۷	-۰۳۴۹۲	-۰۳۵۴۲	-۰۳۵۰۸	-۰۳۳۸۷	-۰۹۴۴۴	-۰۹۴۶۸	-۰۹۴۷۶	-۰۹۴۹۲	
ایرلند	-۰۰۹۱۹	-۰۰۶۸۰	-۰۰۶۲۶	-۰۰۷۲۰	-۰۴۱۹۴	-۰۴۹۷۶	-۰۵۲۶۸	-۰۵۳۱۵	-۰۷۵۷۲	-۰۸۰۳۸	-۰۸۲۵۶	-۰۸۶۶۴	
اسرائیل	-۰۰۲۴۵	-۰۰۲۳۸	-۰۰۱۸۵	-۰۰۲۰۷	-۰۴۱۲۵	-۰۴۲۰۳	-۰۴۲۴۸	-۰۴۱۲۹	-۰۶۸۲۰	-۰۶۸۲۴	-۰۶۸۹۴	-۰۷۰۵۵	
ایتالیا	-۰۰۰۷۷	-۰۰۰۶۶	-۰۰۰۵۹	-۰۰۰۵۳	-۰۵۷۴۷	-۰۵۷۶۲	-۰۵۱۸۶	-۰۳۷۶۸	-۰۸۲۸۳	-۰۸۲۱۲	-۰۷۷۰۵	-۰۶۵۴۰	
ژاپن	-۰۰۰۲۲	-۰۰۰۳۱	-۰۰۰۳۱	-۰۰۰۳۱	-۰۴۲۹۰	-۰۴۲۸۲	-۰۴۲۲۷	-۰۴۰۵۶	-۰۶۷۸۲	-۰۶۶۹۵	-۰۶۷۲۰	-۰۶۸۰۶	
لتونی	-	-	-۰۵۸۲۷	-۰۵۷۴۸	-	-	-۰۷۳۶	-۰۱۰۲۶	-۰۳۶۶۰	-۰۳۳۸۳	-۰۹۰۳۴	-۰۹۴۹۲	
لوکزامبورگ	-	-	-۰۹۱۷	-۰۲۱۰۷	-	-	-۰۵۰۹۸	-۰۴۶۶۷	-۰۳۶۶۰	-۰۳۳۸۳	-۰۹۴۷۶	-۰۹۴۹۲	
مکزیک	-۰۰۰۸۰	-۰۰۰۷۵	-۰۰۰۷۴	-۰۰۰۷۶	-۰۳۷۸۸	-۰۳۷۰۷	-۰۳۳۰۹	-۰۲۹۵۸	-۰۶۳۳۸	-۰۶۱۶۵	-۰۵۸۴۴	-۰۵۷۵۲	
هلند	-۰۰۰۶۱	-۰۰۰۶۰	-۰۰۰۶۳	-۰۰۰۷۰	-۰۵۰۱۹	-۰۴۸۹۲	-۰۴۸۲۰	-۰۴۵۰۰	-۰۷۵۴۰	-۰۷۳۲۵	-۰۷۲۵۴	-۰۷۲۸۸	
نیوزلند	-۰۰۲۵۹	-۰۰۴۴۸	-۰۰۵۳۲	-۰۰۵۸۷	-۰۳۴۷۲	-۰۳۳۴۲	-۰۳۱۱۲	-۰۲۹۴۰	-۰۳۲۹۲	-۰۳۲۷۰	-۰۶۱۰۶	-۰۶۲۴۶	
نروژ	-۰۰۴۶۷	-۰۰۴۴۶	-۰۰۴۰۰	-۰۰۴۰۰	-۰۴۲۶۶	-۰۴۰۰۱	-۰۴۰۶۸	-۰۵۷۴۹	-۰۹۱۲۳	-۰۸۸۳۱	-۰۸۹۴۰	-۰۸۹۷۴	
لهستان	-۰۰۰۷۵	-	-۰۰۰۰۰	-۰۰۰۰۰	-۰۳۸۶۶	-	-	-	-۰۵۴۰۱	-۰۳۳۸۳	-۰۴۴۶۱	-۰۳۷۱۹	
پرتغال	-۰۰۵۵۲	-۰۰۶۲۱	-۰۰۵۲۹	-۰۰۴۴۶	-۰۴۸۰۸	-۰۴۸۲۸	-۰۴۸۸۴	-۰۳۵۱۲	-۰۷۸۲۰	-۰۷۸۲۲	-۰۷۸۷۴	-۰۶۶۷۷	
اسلوواکی	-۰۰۴۸۷	-۰۰۵۱۸	-۰۰۵۷۶	-۰۰۴۲۲	-۰۳۴۹۲	-۰۳۵۱۳	-۰۳۴۲۰	-۰۳۱۲۴	-۰۵۴۴۸	-۰۵۴۱۳	-۰۵۴۶۷	-۰۵۲۷۷	
اسلوونی	-۰۳۲۷۵	-۰۳۳۶۳	-۰۳۰۵۶	-۰۱۸۴۸	-۰۳۶۶۶	-۰۳۳۴۸	-۰۳۴۰۰	-۰۱۹۷۹	-۰۷۴۰۱	-۰۶۹۹۴	-۰۶۹۱۷	-۰۶۵۴۵	
کره جنوبی	-۰۰۰۱۶	-۰۰۰۱۷	-۰۰۰۱۵	-۰۰۰۱۲	-۰۱۴۶۲	-۰۱۴۲۲	-۰۱۴۲۷	-۰۱۱۳۷	-۰۳۹۲۹	-۰۴۰۲۲	-۰۳۹۰۳	-۰۳۸۶۸	
اسپانیا	-۰۰۰۹۱	-۰۰۰۸۹	-۰۰۰۷۳	-۰۰۰۷۰	-۰۴۳۴۷	-۰۴۶۰۹	-۰۴۱۸۲	-۰۳۳۸۵	-۰۶۸۹۷	-۰۷۰۸۱	-۰۶۷۱۶	-۰۶۰۷۴	
سوئد	-۰۰۳۴۶	-۰۰۳۵۲	-۰۰۳۷۱	-	-۰۳۶۹۰	-۰۳۷۱۳	-۰۴۳۶۱	-	-۰۶۴۹۶	-۰۶۴۶۸	-۰۷۰۹۳	-۰۳۷۱۹	
سوئیس	-۰۰۶۲۸	-۰۰۵۳۷	-۰۰۶۰۶	-۰۰۶۳۷	-۰۶۳۵۶	-۰۶۵۴۷	-۰۶۴۰۹	-۰۶۱۳۷	-۰۹۴۴۴	-۰۹۴۶۸	-۰۹۴۷۶	-۰۹۴۹۲	
ترکیه	-۰۰۱۰۵	-۰۰۱۱۷	-۰۰۱۰۵	-۰۰۱۰۵	-۰۲۷۹۱	-۰۲۷۱۴	-۰۲۸۹۶	-۰۲۰۷۷	-۰۵۳۵۵	-۰۵۲۱۴	-۰۵۴۶۲	-۰۴۹۰۲	
انگلستان	-۰۰۰۵۵	-۰۰۰۴۴	-۰۰۰۴۲	-۰۰۰۴۵	-۰۵۰۰۸	-۰۵۴۵۱	-۰۵۶۹۱	-۰۵۳۷۱	-۰۷۵۲۳	-۰۷۸۷۹	-۰۸۱۹۳	-۰۸۱۳۴	
آمریکا	-۰۰۰۰۱	-۰۰۰۰۱	-۰۰۰۰۱	-۰۰۰۰۱	-۰۶۹۸۴	-۰۷۰۸۴	-۰۷۰۱۴	-۰۶۷۷۳	-۰۹۴۴۴	-۰۹۴۶۸	-۰۹۴۷۶	-۰۹۴۹۲	

منبع: نتایج تحقیق

براساس نتایج ارائه شده در جدول (۷) کشورهای ایسلند، لوکزامبورگ، سوئیس، اسلوونی، ایرلند و دانمارک در همه حوزه های اقتصاد، انرژی و محیط زیست نسبت به سایرین شرایط بهتری دارند. علت پایین بودن کارایی چانه زنی نش در سه حوزه اقتصاد، انرژی و محیط زیست در کشورهایی مانند ایالات متحده آمریکا، کره جنوبی، کانادا، لهستان، استرالیا و آلمان آن است که این کشورها

نتوانسته‌اند از حداکثر مزایای بازی چانه زنی برای بهبود عملکردشان بهره مند شوند، یا شدت مصرف انرژی بالایی و یا انگیزه کافی برای کاهش هزینه‌های زیست محیطی ندارند.

جمع بندی

میانگین کارایی انرژی کشورهای عضو سازمان توسعه و همکاری اقتصادی در طول دوره مورد مطالعه ۰/۷۱۳ است. که در بین کشورها مورد مطالعه کشورهای آمریکا و سوئیس و ایسلند در همه و یونان، لوکزامبورگ در برخی از سال‌های مورد بررسی میانگین بهره وری یک دارند. این در حالی است که کشورهای استونی، لهستان، کره جنوبی، شیلی، جمهوری چک، استرالیا، ترکیه، اسلواکی و سوئد به ترتیب کمترین میانگین کارایی انرژی را دارند. از بین ۳۵ کشور مورد بررسی تنها ۳ کشور کارایی برابر یک و مابقی کارایی کمتر از ۰/۹ دارند که این امر نشان دهنده درجه خوبی از تشخیص مدل بکار گرفته شده است. تغییرات شدت انرژی مصرفی را می‌توان به عنوان یکی از دلایل تفاوت در کارایی انرژی بین کشورهای مختلف در نظر گرفت. در این مدل برای اندازه گیری کارایی اقتصادی، داده های میزان مصرف انرژی، نیروی کار و تولید ناخالص داخلی به عنوان خروجی در نظر گرفته می‌شوند. نتایج نشان می‌دهد که کشورهای آمریکا و سوئیس، یونان، نروژ و انگلیس نسبت به میانگین ۰/۶۶۵ پنج رتبه اول را دارند. از جمله راهکارهایی موجود برای افزایش کارایی اقتصادی، افزایش تولید و کاهش نهاده‌ها است. از بین کشورهای مورد بررسی ۱۵ کشور کارایی کمتر و عملکرد ضعیف تری دارند که این امر نشان دهنده استفاده غیر بهینه آن‌ها از منابع است. در ستون های انتهایی جدول (۲) نتایج کارایی زیست محیطی کشورها ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که با توجه به میانگین ۰/۰۴۷ اغلب این کشورها در حوزه محیط زیست نسبت به اقتصاد و انرژی عملکرد ضعیف‌تری داشته‌اند. در بین این کشورها ایالات متحده آمریکا با نمره ۰/۰۰۴ بدترین و ایسلند با نمره ۰/۳۴۸ بهترین وضعیت را دارند.

در صورت اتخاذ یک رویکرد جامع‌تر و بررسی همزمان کشورها از نظر سه شاخص کارایی اقتصادی، انرژی و محیط‌زیستی می‌توان کشورها را در سه دسته قرار داد. کشورهای آمریکا، سوئیس، یونان، نروژ و دانمارک از نظر کارایی اقتصادی و انرژی جزو پنج کشور برتر هستند ولی از نظر کارایی محیط زیستی در وضعیت مطلوبی به سر نمی‌برند. به بیان دیگر در این کشورها با توسل به افزایش مصرف انرژی رشد اقتصادی بهبود چشمگیری داشته ولی از لحاظ رویکردهای اولویت‌محور محیط زیستی در شرایط مناسبی به سر نمی‌برند و توسعه اقتصادی آن‌ها پایدار تلقی نمی‌شود. تنها کشوری که توانسته است بین بهره وری از منابع انرژی و محیط زیستی تعادل خوبی برقرار کند و از هر دو نظر در وضعیت مناسب و بالاتر نسبت به سایر کشورها قرار گیرد، کشور ایسلند است. کشور انگلیس نیز تنها از نظر کارایی اقتصادی مزیت دارد و در دو حوزه دیگر عملکرد خوبی نداشته است. متأسفانه در گروه مورد بررسی کشوری وجود ندارد که دارای مزیت نسبی در هر سه کارایی اقتصادی، انرژی و محیط زیستی باشد.

منابع

۱. بانک جهانی. (۲۰۲۳). داده‌های توسعه جهانی. بازیابی شده از <https://data.worldbank.org>
۲. فتحی، ب. و همکاران. (۱۴۰۲). کاربرد مدل ترکیبی DEA-NBG در ارزیابی کارایی سه بعدی. *پژوهشهای اقتصادی ایران*، ۲۸(۴)، ۱۲۳-۱۴۵.
۳. دشتی، م. و همکاران (۱۳۹۹). ارزیابی ارتباط کارایی اقتصادی و زیست‌محیطی در کشاورزی ایران. *مجله اقتصاد کشاورزی*، ۱۲(۴)، ۸۷-۱۱۰.
۴. محمدیان، ع. (۱۴۰۲). تحلیل رابطه رشد اقتصادی و آلودگی در بخش حمل و نقل ایران. *پژوهشهای اقتصادی ایران*، ۲۵(۳)، ۱۲۳-۱۴۵.
5. EIA. (2022). Iran Energy Outlook. U.S. Energy Information Administration.
6. FAO. (2022). Global Forest Resources Assessment. Food and Agriculture Organization.
7. Fathi. A.. et al. (2023). A Nash Bargaining Approach to Cross-efficiency in Energy-Economy-Environment Efficiency. *Energy Economics*. 118. 106512.
8. Rezaei. M.. et al. (2022). Environmental Efficiency and Economic Growth: A Game-Theoretic Analysis. *Journal of Cleaner Production*. 330. 129856.
9. IEA. (2023). Energy Efficiency 2023. International Energy Agency.
10. IRENA. (2023). Renewable Capacity Statistics 2023. International Renewable Energy Agency.
11. Koocheki, A. et al. (2021). "Energy Flow Analysis in Major Crop Productions of Iran". *Agricultural Systems*, 192, 103176.
12. Majlis Research Center. (2021). Analysis of Energy Subsidy Reform Challenges in Iran. Report No. 17890.
13. OECD. (2022). Environmental Policy Toolkit for Green Growth. Organisation for Economic Co-operation and Development.
14. Wendling, Z. A. et al. (2022). Environmental Performance Index. Yale University.
15. World Bank. (2023). World Development Indicators: Energy Use.
16. WHO. (2023). Ambient Air Pollution Database. World Health Organization.
17. Wang. C.. et al. (2023). Stochastic Super-efficiency DEA under Uncertainty. *European Journal of Operational Research*. 304(1). 213-225.
18. Zahedi, R. et al. (2022). "Solar Energy Potential in Iran: Strategies for Sustainable Development". *Renewable Energy*, 189, 1257-1271.
19. Zhang. Y.. & Ang. B. (2010). Non-parametric Measurement of Environmental Efficiency. *Ecological Economics*. 69(7). 1503-1512.