

اندازه‌گیری کارایی زیست محیطی انرژی در کشورهای در حال توسعه منتخب با استفاده از مدل‌های ناپارامتریک ایستا و پویا

بهرام فتحی^۱

دانشجوی دکتری علوم اقتصادی، پردیس بین الملل دانشگاه فردوسی مشهد

bahram125fathi@gmail.com

محمد حسین مهدوی عادل

استاد اقتصاد دانشگاه فردوسی مشهد،

mh-mahdavi@ferdowsi.um.ac.ir

محمد حسن فطرس

استاد اقتصاد دانشگاه بوعلی سینا همدان، mhfotos@hotmail.com

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۸/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۱۵

چکیده

هدف اصلی این تحقیق اندازه‌گیری کارایی زیست محیطی انرژی در کشورهای در حال توسعه با استفاده از مدل‌های ناپارامتریک ایستا و پویا طی دوره زمانی ۲۰۰۱-۲۰۱۲ است. برای محاسبه کارایی زیست محیطی انرژی از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) استفاده شده است. انتشار دی اکسید کربن به‌عنوان یک ستانده نامطلوب ضعیف در این تحقیق در نظر گرفته می‌شود. نتایج حاکی از آن است که مصرف انرژی کشورهای در حال توسعه منتخب به‌میزان ۱۸/۱ درصد در سال برای از طریق بهبود کارایی انرژی کاهش می‌یابد. هم‌چنین تجزیه و تحلیل کارایی پویا نشان می‌دهد که میانگین کارایی انرژی با ۲/۶ درصد در سال ۲۰۱۲ نسبت به سال پایه در کشورهای منتخب بهبود یافته است.

طبقه‌بندی JEL: C14، Q4، O57

کلید واژه‌ها: کارایی انرژی، انتشار CO₂، کشورهای در حال توسعه، مدل‌های ناپارامتریک، تحلیل پوششی داده‌ها

۱- مقدمه

امروزه رشد اقتصادی هدف اصلی بسیاری از سیاست‌های اقتصادی دولت‌هاست، که البته معمولاً به ایجاد زیان‌های زیست محیطی منجر می‌شود. از این رو از لحاظ توسعه پایدار این نگرانی وجود دارد که توسعه اقتصادی جهان صدمه جبران ناپذیری به محیط زیست وارد می‌آورد. بسیاری از اقتصاددانان بر این باورند که رشد و توسعه بخش صنعت، زمینه‌ی رشد و توسعه سایر بخش‌ها را فراهم می‌سازد. در واقع افزایش سهم بخش صنعت در تولید ناخالص ملی حتی برای کشورهایی که بر بخش‌های کشاورزی، معدن، نفت و خدمات تکیه دارند، برای رشد و توسعه ضروری محسوب می‌شود. تجربه کشورهای در حال توسعه نشان داده که پیگیری هدف توسعه اقتصادی با تأکید بر بخش صنعت و بهره‌برداری غیر مسئولانه از محیط زیست، مشکلات زیست محیطی بسیاری را به همراه خواهد داشت. در حقیقت آلودگی هوا، آب و خاک در مسیر تولید به‌عنوان یک محصول فرعی، اجتناب‌ناپذیر بوده و توسعه صنعتی از یک سو با ایجاد محصولات شیمیایی مضر و ضایعات صنعتی شامل فلزات سنگین و از سوی دیگر با افزایش مصرف انرژی و به تبع آن انتشار گازهای آلاینده، باعث آلودگی محیط زیست می‌شود. صنعت در کشورهای در حال توسعه به‌عنوان یکی از بخش‌های اساسی در فرآیند توسعه محسوب می‌شود با توجه به این که قسمت عمده‌ی انرژی مورد نیاز این بخش را نیز سوخت‌های فسیلی تشکیل می‌دهد، استفاده از راهکارهایی جهت کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی می‌تواند منجر به کاهش آلاینده‌ی و بهبود کارایی زیست محیطی شود. کارایی زیست محیطی یعنی تولید کالا و ارائه خدمات با به‌کارگیری انرژی و مواد اولیه کم‌تر که ضایعات، آلودگی و هزینه‌ی کم‌تری را نیز به‌دنبال داشته باشد. بهبود بهره‌وری انرژی به طور گسترده به‌عنوان یکی از راه‌های مقرون به صرفه برای افزایش امنیت انرژی، بهبود رقابت صنعتی و کاهش تغییرات آب و هوایی در نظر گرفته شده است. بهبود بهره‌وری انرژی صنعتی نقش مهمی برای کشورهای در حال توسعه به منظور افزایش امنیت انرژی و ترویج و توسعه کم‌کربن دارد، این امر می‌تواند به معنی اندازه‌گیری و مقایسه صنعتی عملکرد بهره‌وری انرژی این کشورها باشد، که ممکن است اطلاعات تجربی و متراکم را برای سیاست‌گذاران به منظور ارزیابی اثر بخشی سیاست‌های بهره‌وری انرژی فراهم نماید. تولید موفق از دید اقتصادی، تولیدی است که با کم‌ترین نهاده، بیش‌ترین ستاده را ایجاد کند و از دید مهندسی، تولید با کم‌ترین ضایعات و با کیفیت بالا، تولید مطلوب به حساب می‌آید. برای بررسی عملکرد یک

مؤسسه تولیدی، روش‌های مختلفی وجود دارد که یکی از آنها محاسبه‌ی بهره‌وری است که به نحوه‌ی استفاده از عوامل تولید در جهت تولید محصول مربوط می‌شود. هدف این مقاله محاسبه‌ی کارایی انرژی صنعتی کشورهای در حال توسعه با لحاظ کردن انتشار CO₂ در فرایند تولید در دو حالت ایستا و پویا می‌باشد.

ساختار مقاله به صورت زیراست: پس از مقدمه، به ادبیات نظری در زمینه کارایی پرداخته می‌شود. در قسمت سوم مقاله، مطالعات تجربی معرفی می‌شود، بخش چهارم مباحث مربوط به روش شناسی اندازه‌گیری کارایی و شاخص‌های کارایی را در بر دارد. بخش پنجم به نتایج تجربی اختصاص یافته و سرانجام در بخش آخر نتیجه‌گیری و پیشنهادات مطرح می‌شود.

۲- مبانی نظری

به‌طور معمول کارایی با نحوه‌ی تخصیص بهینه منابع کمیاب توسط بنگاه برای نیل به اهداف تولید ارتباط دارد. کارایی تولیدی یک بنگاه با توجه به رابطه‌ی 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 (فارل^۱، ۱۹۵۷). کارایی مفهومی نسبی است و برای سنجش کارایی، باید عملکرد بنگاه مورد نظر با کارایی در شرایط بالقوه تولید مقایسه گردد تا مشخص شود که کارایی بنگاه‌ها و واحدهای تولیدی از اندازه‌ی مورد انتظار و ایده آل تا چه حد فاصله دارد (مهرگان، ۱۳۸۷). برای ارزیابی کارایی یک بنگاه ابتدا باید که مرز کارایی بنگاه شناسایی شود و بر مبنای فاصله‌ی بنگاه از وضعیت ایده آل، میزان عدم کارایی و به تبع آن کارایی مشخص شود. برای حل این مسئله، دو رویکرد عمده وجود دارد. نخست، رویکرد پارامتریک^۲ 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 اقتصادسنجی تخمین می‌زنند. این رویکرد در ابتدا با استفاده از مدل مرزی معین دنبال شد که در آن عدم کارایی، تلفیقی از عدم کارایی واقعی و جزء اخلاص تخمین بود. برای رفع این مشکل مدل مرزی احتمالی^۳ توسط

1- Farrell

2- Parametric

3- Probabilistic

تیمر^۱ (۱۹۷۱) معرفی گردید. سرانجام ایگنر، لاول و اشمیت^۲ (۱۹۷۷) بارزترین مدل مرزی یعنی تابع تولید مرزی تصادفی^۳ را ارائه نمودند. این رویکرد در ادبیات اقتصادی به SFA^۴ معروف است. رویکرد دوم، رویکرد ناپارامتریک^۵ است. چارنز^۶، کوپر^۷ و رودز^۸ در سال ۱۹۸۷ مجموعه‌ای از مسائل برنامه‌ریزی خطی را برای فرموله کردن اندازه‌گیری شاخص کارایی فنی فارل ارائه دادند. روش آنها در ارزیابی کارایی به تحلیل پوششی داده‌ها^۹ (DEA) معروف شد. در این روش نیازی به مشخص نمودن شکل تابعی وجود ندارد و از روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی استفاده می‌گردد. مطالعه‌ی صورت گرفته توسط اینگر، لاول و اشمیت (۱۹۷۷) و چارنز، کوپر و رودز (۱۹۷۸) پایه‌ی مطالعات کارایی در رویکردهای مرزی پارامتریک و ناپارامتریک را تشکیل می‌دهند. ادبیات موجود در زمینه‌ی اندازه‌گیری بهره‌وری کل عوامل تولید شامل دو رویکرد مرزی^{۱۰} و غیر مرزی^{۱۱} است که هرکدام از این رویکردها نیز دارای دو شاخه از روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک هستند (گراسکوپف^{۱۲}، ۱۹۹۳). منظور از رویکردهای مرزی، آن شاخص‌هایی است که از یک مرز کارا برای اندازه‌گیری کارایی و بهره‌وری استفاده می‌کنند. رویکردهای غیر مرزی شامل آن دسته از روش‌هایی است که فرض می‌شود محصول تولیدی بنگاه در هر حالت برابر با محصول متناظر با این سطح از نهاده و تکنولوژی بر روی مرز کاراست، به عبارت دیگر بنگاه همواره بر روی مرز کارا قرار دارد (گراسکوپف، ۱۹۹۳).

حسابداری رشد^{۱۳}، شاخص دیویزیا^{۱۴} و شاخص تورنکوویست^{۱۵} جز شاخص‌های رویکرد غیر مرزی مبتنی بر روش‌های ناپارامتریک برای محاسبه‌ی رشد بهره‌وری کل عوامل تولید می‌باشند. شاخص‌های پارامتریک در رویکرد غیر مرزی مبتنی بر تخمین یک تابع

-
- 1- Timmer
 - 2- Aigner, Lovell and Schmidt
 - 3- Stochastic Frontier Production Function
 - 4- Stochastic Frontier Analysis (SFA)
 - 5- Non-parametric
 - 6- Charnes
 - 7- Cooper
 - 8- Rohdes
 - 9- Data Envelopment Analysis (DEA)
 - 10- Frontier
 - 11- Non-frontier
 - 12- Grosskopf
 - 13- Growth Accounting
 - 14- Divisia Index
 - 15- Tornqvist

تولید و یا دوگان یعنی یک تابع هزینه و استفاده از آن‌ها برای محاسبه‌ی رشد بهره‌وری کل عوامل تولید است. انتقادی که به رویکرد غیر مرزی وارد است توجه نکردن به مسئله عدم کارایی است (گراسکوپف، ۱۹۹۳). اندازه‌گیری بهره‌وری و کارایی با استفاده از رویکردهای مرزی تقریباً مشابه هم است. همان‌طور که پیشتر بیان شد، در رویکرد مرزی پارامتریک برای بنگاه یک مرز کارا تخمین زده می‌شود. برخی از این مطالعات انجام گرفته در این زمینه برای اندازه‌گیری تغییر فنی، یک تابع تولید مرزی و برخی دیگر تابع هزینه یا سود یا مسافت^۱ را تخمین زده و از آن برای محاسبه‌ی شاخص‌های بهره‌وری استفاده می‌نمایند. اما در روش‌های مرزی ناپارامتریک، مرز کارا با استفاده از روش DEA و تکنیک‌های برنامه‌ریزی خطی تعیین می‌گردد. از جمله شاخص‌های بهره‌وری که در این رویکرد مورد استفاده قرار می‌گیرد، شاخص بهره‌وری مالم کوئیست^۲ است.

مفهوم شاخص بهره‌وری مالم کوئیست برای اولین بار توسط مالم کوئیست (۱۹۵۳) مطرح گردید. کاوس و همکاران^۳ (۱۹۸۲) بر اساس ایده مالم کوئیست شاخص بهره‌وری مبتنی بر توابع مسافت شفارد را ارائه دادند. آن‌ها معتقد بودند که شاخص مالم کوئیست یک شاخص صرفاً تئوریک است که نمی‌توان در مطالعات تجربی از آن استفاده نمود به این ترتیب، از شاخص مالم کوئیست به‌عنوان یک نقطه شروع استفاده کردند. از اینرو شاخص دیگری بنام تورنکوئیست که محاسبه تجربی آن نسبتاً آسان است، در برخی روش‌های اندازه‌گیری تجربی مورد استفاده قرار گرفت. به این ترتیب گروهی از شاخص‌ها بر مبنای توابع مسافت به وجود آمدند. همزمان با کاوس و همکاران، نیشیمیزو و پیچ^۴ (۱۹۸۲) با استفاده از رویکرد تابع مرزی یک مطالعه‌ی تجربی در مورد شاخص بهره‌وری مالم کوئیست انجام دادند. در این مطالعه شاخص بهره‌وری به مولفه‌های تغییر فنی و تغییر کارایی تجزیه شد. سرانجام فاره، گراسکوپف، لیندگرن و روس^۵ (۱۹۹۲) با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها توابع مسافت مورد در شاخص مالم کوئیست را اندازه گرفته و روشی دیگر برای محاسبه شاخص بهره‌وری مالم کوئیست و مولفه‌های آن ارائه دادند.

-
- 1- Distance Function
 - 2- Malmquist
 - 3- Caves, Christensen and Diewert
 - 4- Nishimizu and Page
 - 5- Fare, Grosskopf, Lindgren and Roos

$$M^{t+1}(X^t, U^t, X^{t+1}, U^{t+1}) = \left[\frac{D^t(X^t, U^t) D^{t+1}(X^t, U^t)}{D^t(X^{t+1}, U^{t+1}) D^{t+1}(X^{t+1}, U^{t+1})} \right]^{1/2}$$

$$= \frac{D^t(X^t, U^t)}{D^{t+1}(X^{t+1}, U^{t+1})} \left[\frac{D^{t+1}(X^{t+1}, U^{t+1}) D^{t+1}(X^t, U^t)}{D^t(X^{t+1}, U^{t+1}) D^t(X^t, U^t)} \right]^{1/2}$$

در این رابطه، جزء اول تغییر کارایی و جزء دوم آن تغییر فنی است. مسئله‌ی دیگری که اخیراً و با افزایش نگرانی‌ها در مورد مسائل زیست محیطی ناشی از فعالیت‌های اقتصادی مورد توجه قرار گرفته، لحاظ کردن آسیب‌های زیست محیطی در اندازه‌گیری کارایی بنگاه‌های اقتصادی در سطح خرد و کلان است. در این بخش با تمرکز بر روی روش‌های مرزی و ناپارامتریک در اندازه‌گیری کارایی، روش‌های مختلف الگوسازی برای ستانده‌های نامطلوب ناشی از فرایندهای تولیدی بیان خواهند شد. 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 به‌عنوان نهاده در نظر گرفته شود. فاره و گراسکوپف (۲۰۰۴) معتقدند که از نظر فنی امکان‌پذیر نیست که نهاده مطلوب و نامطلوب جانشین هم شوند. از طرفی سیفورد و ژو^۱ (۲۰۰۲) بیان می‌کنند که اگر ستانده نامطلوب به‌عنوان نهاده در نظر گرفته شود، نتایج حاصل از روش DEA فرایند واقعی تولید را منعکس نمی‌کند. از طرفی کاهش ستانده‌ی نامطلوب و افزایش ستانده‌ی مطلوب یعنی برخورد نامتقارن با این دو ستانده، که در روش‌های معمولی DEA این مسئله مد نظر قرار نمی‌گیرد. روش ارائه شده توسط سیفورد و ژو برای حل مشکل، بدین صورت است که در ابتدا ستانده نامطلوب در منفی ضرب می‌شود و سپس یک بردار تبدیل حاصل می‌گردد که جمع آن با داده‌های منفی، یک بردار مثبت از داده‌ها را ایجاد می‌نماید. اما این روش می‌توان فقط در حالت بازدهی به مقیاس ثابت استفاده نمود. روش شیل^۲ (۲۰۰۱) این است که معکوس ستانده‌ی نامطلوب را به‌عنوان یک ستانده‌ی مطلوب در نظر بگیرند. کوپر و همکاران^۳ (۲۰۰۷) معتقدند که این روش منجر به تغییر شکل مرزهای کارایی شده و ممکن است تفاسیر متفاوتی از وضعیت کارایی بنگاه به‌دست دهد. از طرفی دیکهوف^۴ (۲۰۰۲) نیز سخت شدن تحلیل نتایج و از دست رفتن شکل خطی را مشکل این روش می‌داند. برای نمونه

1- Seiford and Zhu
2- Sheel
3- Cooper et al
4- Dyckhof

وی بیان می‌کند که عدد یک بر روی صفر معنی‌دار نخواهد بود. روش‌های فوق همگی روش‌های غیرمستقیم وارد کردن ستانده نامطلوب در مدل تولید هستند. در این مطالعه از رویکرد ناپارامتریک مبتنی بر مسائل برنامه‌ریزی خطی برای فرموله نمودن اندازه‌گیری شاخص کارایی با به‌کارگیری روش DEA استفاده شده است، در این روش بر خلاف روش پارامتریک نیازی به مشخص نمودن شکل تابعی وجود ندارد و از روش برنامه‌ریزی ریاضی استفاده می‌شود. اما انتقاد اصلی بر این مدل‌ها و مطالعات، عدم انعکاس مسائل زیست محیطی و انتشار آلودگی در اندازه‌گیری و تخمین میزان کارایی می‌باشد. برای حل این مشکل در ادامه روش‌هایی ارائه می‌شود که در آنها ستانده نامطلوب در اندازه‌گیری کارایی لحاظ شده است.

۳- مطالعات تجربی

بوید^۱ (۲۰۱۴) در برآورد تغییرات توزیع کارایی انرژی در صنعت مونتاژ خودرو به مقایسه‌ی ارزیابی از چگونگی این صنعت با تحلیل‌های مرزی نشان می‌دهد که این صنعت در طول زمان تغییر نموده و هم‌چنین کاهش زیادی در واریانس توزیع بهره‌وری سوخت‌های فسیلی وجود دارد.

بلانچارد و مارتین^۲ (۲۰۱۴) در اندازه‌گیری کارایی انرژی در چارچوب روش هزینه، کارایی انرژی را به کارایی فنی و تخصیصی تجزیه نمودند.

هالکوس و زرمیس^۳ (۲۰۱۳) ارتباط بین مصرف انرژی تجدیدپذیر و کارایی اقتصادی را با استفاده از برآوردگرهای شرطی تحلیل پوششی داده‌ها همراه با رگرسیون‌های ناپارامتریک برای یک نمونه ۲۵ عددی از کشورهای اروپایی در سال ۲۰۱۰ مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این مطالعه حاکی از اثر مثبت مصرف انرژی تجدیدپذیر بر کارایی اقتصادی کشورهای مورد بررسی در سطوح پایین مصرف انرژی است، در حالی که در سطوح بالاتر مصرف انرژی، نتیجه مشخصی به دست نیامده است.

بوچنس و پاپلر^۴ (۲۰۱۱) با بهره‌گیری از تجزیه و تحلیل همبستگی، تحلیل رگرسیون و تحلیل عاملی چند متغیره، ۶ شاخص ساختاری کارایی اقتصادی و شدت انرژی را به‌عنوان عوامل تعیین‌کننده توسعه پایدار اقتصادی برای ۳۳ کشور منتخب اروپایی در

1- Boyd

2- Blancard and Martin

3- Halkos and Tzeremes

4- Bojnec and Papler

سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۵ بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که سیاست‌های مشوق تحقیق و توسعه، سرمایه‌گذاری در منابع انسانی و محصولات صادراتی تکنولوژی، به موجب بهبود عملکرد کارایی اقتصادی و صرفه‌جویی انرژی و توسعه اقتصادی پایدار می‌شود. به‌علاوه نتایج به دست آمده در این تحقیق به وضوح تأیید می‌کند که توسعه اقتصادی پایدار را می‌توان با ترکیبی از کارایی اقتصادی و در عین حال مصرف کارآمد انرژی به دست آورد.

مطالعه بامپاتسو و همکاران^۱ (۲۰۱۳) نشان داد برای مقایسه بین کشوری می‌توان از کارایی فنی به‌عنوان شاخص ظرفیت بالقوه انرژی استفاده نمود.

پینگ ژانگ و همکاران^۲ (۲۰۱۱) از تجزیه و تحلیل DEA به‌منظور بررسی روند پویا در بهره‌وری انرژی کل عوامل در مجموعه‌ای از کشورهای در حال توسعه استفاده نمودند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد که چین بهترین روند بهبود کارایی را دارد و سیاست‌های انرژی مؤثر، نقش مهمی را در ارتقاء کارایی انرژی ایفا نموده است.

سویشی و گوتو^۳ (۲۰۱۱) در تحقیق خود یک روش جدید DEA برای اندازه‌گیری کارایی یکپارچه از نسل‌های سوخت‌های فسیلی با توجه به بررسی انتشار CO₂ را معرفی نمودند.

شی و همکاران^۴ (۲۰۱۰)، یک مدل گسترش یافته DEA را با ستانده‌های نامطلوب به‌عنوان ورودی‌هایی برای برای ارزیابی کارایی انرژی در بخش صنعت در چین توسعه دادند. نتایج حاکی از آن است که به دلیل توجه کم‌تر به کاهش آلودگی در چین، بهره‌وری کلی به صورت چشمگیری افزایش و بهره‌وری زیست محیطی کاهش یافته است.

یه و همکاران^۵ (۲۰۱۰)، کارایی انرژی کل عوامل در مناطق اصلی چین و تایوان را با استفاده از روش DEA با ستانده‌های نامطلوب بر اساس انتقال داده‌ها مقایسه نمودند. ژئو و آنگ^۶ (۲۰۰۸) و مندال^۷ (۲۰۱۰)، در مطالعات خود نشان دادند که استفاده از انرژی‌های فسیلی به ناچار خروجی‌های نامطلوب مانند انتشار CO₂ را به‌دنبال دارد و

-
- 1- Bampatsou et al.
 - 2- Ping Zhang et al.
 - 3- Sueyoshi and Goto
 - 4- Shi et al.
 - 5- Yeh et al.
 - 6- Zhou and Ang
 - 7- Mandal

تجزیه و تحلیل کارایی انرژی بدون در نظر گرفتن ستانده نامطلوب ممکن است منجر به اریب کارایی شود.

سیفی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از اطلاعات سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۷ مربوط به ۶ نیروگاه حرارتی برق استان‌های خراسان، کارایی زیست محیطی صنعت برق (آلاینده اکسیدهای نیتروژن) را مورد محاسبه قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که کارایی زیست محیطی نیروگاه‌های نمونه به‌طور متوسط ۹۳.۸۱ درصد می‌باشد.

راسخی و سلمانی (۱۳۹۲) رابطه میان شدت انرژی و کارایی اقتصادی و مشخصاً وجود رابطه U برعکس میان این دو را برای مجموعه کشورهای منتخب طی بازه زمانی (۲۰۱۱-۱۹۹۱) مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها با استفاده از روش تحلیل پنجره‌ای پوششی داده‌ها نشان داد که با افزایش شدت انرژی تا حد آستانه کارایی اقتصادی افزایش می‌یابد، اما پس از آن نقطه افزایش شدت انرژی کاهش کارایی اقتصادی را به دنبال دارد، بنابراین برای کشورهای منتخب طی دوره موردنظر، رابطه U برعکس بین شدت انرژی و کارایی اقتصادی تأیید می‌گردد.

نصرالهی و همکاران (۱۳۹۱) اندازه‌گیری کارایی نسبی صنایع تولیدی ایران طی برنامه سوم و دو سال اول برنامه چهارم توسعه جمهوری اسلامی ایران (۱۳۸۵-۱۳۷۹)، آلاینده‌های زیست محیطی را به‌عنوان خروجی نامطلوب مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که در تمامی سال‌های مورد بررسی تنها تولید رادیو و تلویزیون و دستگاه‌ها و وسایل ارتباطی کارا بوده است. همچنین در تمام سال‌های برنامه و از میان ۲۱ صنعت مورد بررسی همواره بیش از هفده صنعت ناکارا بوده است. به‌عبارت‌دیگر در این سال‌ها تنها بیست درصد از واحدها کارا بوده و از منابع خود به‌درستی استفاده نموده‌اند.

درویش و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای به بررسی ارزیابی کارایی تکنولوژی بخش انرژی با استفاده از مدل ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل سلسله مراتبی پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که اولویت تکنولوژی‌های کارایی انرژی تعیین‌کننده خط مشی انرژی و خط مشی تصمیم‌گیری ملی در زمینه انرژی خواهد بود.

شرزه‌ای و ابراهیم زادگان (۱۳۹۰) به برآورد «اثر بازگشت» افزایش کارایی انرژی بر مصرف خانوارهای ایرانی و انتشار دی‌اکسیدکربن پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که در همه سناریوها افزایش کارایی انرژی سبب افزایش مصرف برخی از کالاها و کاهش مصرف بقیه کالاها شده است. اثر بازگشت برآورد شده تقریباً ۹۸ درصد بوده که

افزایش کارایی انرژی، به مقدار بسیار جزئی مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن را کاهش می‌دهد.

آماده و رضایی (۱۳۹۰) کارایی زیست محیطی شرکت‌های برق منطقه‌ای کشور را اندازه‌گیری کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد در بین شرکت‌های برق منطقه‌ای، شرکت برق منطقه‌ای آذربایجان و خراسان، هم از نظر کارایی معمولی و هم از نظر کارایی زیست محیطی عملکرد ضعیفی دارند. هم‌چنین شرکت منطقه‌ای خوزستان برخلاف کارایی معمولی بالا، از کارایی زیست محیطی اندکی برخوردار می‌باشد. شرکت برق منطقه‌ای گیلان دارای کارایی معمولی و زیست محیطی واحد می‌باشد. در نهایت نتیجه آزمون کروسکال والیس نشان داد که لحاظ کردن میزان انتشار دی‌اکسیدکربن به‌عنوان ستانده نامطلوب، اثر معناداری بر کارایی شرکت‌ها دارد.

۴- روش شناسی تحقیق

در این مقاله به منظور استفاده از روش DEA در بررسی عملکرد کارایی انرژی با توجه به متغیرهای نامطلوب ابتدا مولفه‌های مختلف این مدل تعیین می‌گردد. از آنجایی که امروزه برکنترل و کاهش انتشار CO₂ تأکید شده و کشورها موظف به رعایت آن می‌باشند، انتشار CO₂ به‌عنوان ستانده نامطلوب در نظر گرفته شده است. در این مدل موجودی سرمایه (K)، نیروی کار (L) و مصرف انرژی (E) به‌عنوان نهاده تولید در نظر گرفته شده و تولید ناخالص داخلی (Y) و انتشار CO₂ (C) به ترتیب به‌عنوان ستانده‌های مطلوب و نامطلوب در مدل گنجانده شده‌اند. مدل به صورت ذیل می‌باشد.

$$T = (K, L, E, Y, C) : (K, L, E) \Rightarrow (Y, C) \quad (1)$$

از آن‌جاکه داده‌های محدود می‌تواند به تولید ستانده‌های محدود منتج گردد، T به‌عنوان تابع تولید در نظر گرفته می‌شود. در این مقاله هدف استفاده از روشی است که علاوه بر سازگاری با مفاهیم تئوری تولید، قادر به کاهش خروجی‌های نامطلوب و افزایش خروجی‌های مطلوب باشد.

$$(K', L', E', Y, C) \in T, \text{ or } (K, L, E, Y', C) \in T \quad (2)$$

$$T \text{ if } (K, L, E, Y, C) \in T \\ \text{and } (K', L', E') \geq (K, L, E) \text{ or } (Y' \leq Y)$$

در این مدل کاهش انتشار CO₂ به‌عنوان هدف مدل در نظر گرفته شده است. از آنجایی که امروزه در بیشتر کشورهای جهان استفاده از انرژی‌های فسیلی متداول است،

کاهش انتشار CO₂ نمی‌تواند به صورت متغیر آزاد در نظر گرفته شود. به همین دلیل، فرض می‌شود که دو خروجی مطلوب و نامطلوب با یکدیگر در معادله (۱) با دسترسی ضعیف ارتباط دارند. این بدان معنا است که کاهش متناسب در تولید ناخالص داخلی و تولید گازهای گلخانه‌ای CO₂ امکان‌پذیر است. به علاوه در این مدل نیازمند فرضیه عدم اشتراک در T می‌باشد که نشان می‌دهد تنها راه برای حذف تمام تولید گازهای گلخانه‌ای CO₂، توقف عام فعالیت‌های تولیدی می‌باشد. فرض عدم اشتراک و امکان‌پذیری ضعیف برای اولین بار توسط فاره و همکاران (۱۹۹۴) بیان شده که در معادلات ذیل به صورت ریاضی نشان داده شده است.

$$(I) \text{ if } (K, L, E, Y, C) \in T \text{ and } 0 < \theta \leq 1, \Rightarrow (K, L, E, \theta Y, \theta C) \in T \quad (۳)$$

$$(ii) \text{ if } (K, L, E, Y, C) \in T \text{ and } C = 0, \Rightarrow Y = 0$$

تاکنون مدل‌سازی تکنولوژی تولید زیست محیطی برای تابع تولید مشترک خروجی مطلوب و نامطلوب معرفی شده است. با توجه به این موضوع، گام بعدی توصیف تکنولوژی تولید زیست محیطی در چارچوب DEA ناپارامتری است. فرض می‌شود که $i = 1, 2, \dots$ کشور وجود دارد و برای هر کشور متغیرهای ورودی و خروجی مطلوب و نامطلوب در اقتصاد به صورت $(K_i, L_i, E_i, Y_i, C_i)$ تعریف می‌شود. فن آوری زیست محیطی DEA در بازده ثابت نسبت به مقیاس به شرح زیر است:

$$T = (K, L, E, Y, C): \sum_{i=1}^I \lambda_i K_i \leq K \quad (۴)$$

$$\sum_{i=1}^I \lambda_i L_i \leq L_0$$

$$\sum_{i=1}^I \lambda_i E_i \leq E_0$$

$$\sum_{i=1}^I \lambda_i Y_i \geq Y_0$$

$$\sum_{i=1}^I \lambda_i C_i = C_0$$

$$\lambda_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, I$$

در معادله (۴) متغیر λ_i ($i = 1, 2, \dots, I$) با توجه به سطح تأثیرگذاری فعالیت‌ها در واحدهای تصمیم‌گیرنده‌ای (DMU) تعیین می‌شود که وزن تکنولوژی زیست محیطی DEA را ایجاد می‌نماید.

شاخص کارایی انرژی ایستا

برای محاسبه عملکرد کارایی انرژی در DMU_j ($j = 1, 2, \dots, I$) ابتدا تابع فاصله ناپارامتریک گرا شفارد برای مصرف انرژی (معادله ۵) تعریف شده است.

$$D_E(K_j, L_j, E_j, Y_j, C_j) = \sup_{\alpha} \left(K_j, L_j, \frac{E_j}{\alpha}, Y_j, C_j \right) \in T \quad (5)$$

در معادله (۵) کاهش مصرف انرژی در حد امکان توسط DMU_j با توجه به ثابت نگه داشتن ترکیبی ورودی و خروجی در مجموعه تولید، مدنظر می‌باشد. در تابع فاصله انرژی شفارد $D_E(K_j, L_j, E_j, Y_j, C_j)$ میزان کاهش مصرف انرژی اندازه‌گیری می‌شود. با این تفاسیر، این یک شاخص دو جانبه است که می‌تواند به‌عنوان یک شاخص کارایی انرژی برای مقایسه عملکرد کارایی انرژی از کشورهای مختلف به‌طور هم‌زمان مورد استفاده قرار گرفته شود. در اینجا باید گفت تابع فاصله انرژی شفارد به‌عنوان شاخص کارایی انرژی ایستا (شاخص SEEI) در نظر گرفته می‌شود. در این مقاله شاخص کارایی انرژی ایستا توسط روش DEA محاسبه می‌گردد که به شرح معادلات زیر می‌باشد.

$$SEEI_j = 1/D_E(K_j, L_j, E_j, Y_j, C_j) = \min \beta \quad (6)$$

$$s. t. \sum_{i=1}^I \lambda_i L_i \leq L_j$$

$$\sum_{i=1}^I \lambda_i E_i \leq \beta E_j$$

$$\sum_{i=1}^I \lambda_i Y_i \geq Y_j$$

$$\sum_{i=1}^I \lambda_i C_i = C_j$$

$$\lambda_i \geq 0, i = 1, 2, 3, \dots, I$$

در معادله (۶) کاهش مقدار انرژی ورودی تا حد امکان با توجه به سطح مشخص نهاده‌های غیر انرژی و خروجی‌های مطلوب و نامطلوب، مدنظر بوده است. تفسیر نتیجه (SEEI) به شرح زیر است:

SEEI_j = 1 از لحاظ فنی عملکرد کارایی را دارند

SEEI_j < 1 از DMU_j از لحاظ فنی عملکرد نا کارایی را دارند

SEEI_j > 1 از DMU_j از لحاظ فنی عملکرد کارایی را دارند

شاخص کارایی انرژی پویا

مدل DEA که در رابطه (۴) تشریح گردید عمدتاً برای مقایسه مقطعی کارایی انرژی بین انواع DMUs استفاده می‌شود. در ادامه ایده‌های گسترش یافته شاخص بهره‌وری مالم کوئیسست به‌وسیله فاره و همکاران (۱۹۹۴) و نیز شاخص انتشار کربن مالم کوئیسست

توسعه یافته توسط ژو و همکاران^۱ (۲۰۱۰) ذکر می‌گردد. بنابراین شاخص عملکرد انرژی پویا جهت سنجش در طول زمان پیشنهاد می‌گردد.

S, t دو دوره زمانی است که $(t < s)$ می‌باشد. فرض کنید $(K_j^t, L_j^t, E_j^t, Y_j^t, C_j^t)$ و $D_E^t(K_j^t, L_j^t, E_j^t, Y_j^t, C_j^t)$ توابع فاصله انرژی سفارد DMU_j بر اساس ورودی و خروجی‌های دوره t برای تکنولوژی‌های DEA زیست محیطی برای دوره‌های t و s هستند همچنین فرض می‌شود $(K_j^s, L_j^s, E_j^s, Y_j^s, C_j^s)$ و $D_E^s(K_j^s, L_j^s, E_j^s, Y_j^s, C_j^s)$ توابع فاصله سفارد انرژی DMU_j بر اساس ورودی‌ها و خروجی‌ها دوره s برای تکنولوژی‌های DEA زیست محیطی برای دوره‌های t و s است. $DEPI$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$DEPI_j(t, s) = \left[\frac{D_E^t(K_j^t, L_j^t, E_j^t, Y_j^t, C_j^t) \times D_E^s(K_j^s, L_j^s, E_j^s, Y_j^s, C_j^s)}{D_E^s(K_j^s, L_j^s, E_j^s, Y_j^s, C_j^s) \times D_E^t(K_j^t, L_j^t, E_j^t, Y_j^t, C_j^t)} \right]^{1/2} \quad (7)$$

$DEPI_j(t, s)$ می‌تواند با استفاده از تغییر در عملکرد کارایی انرژی از دوره t به دوره s اندازه‌گیری گردد. $DEPI_j(t, s) > 1$ یا $DEPI_j(t, s) < 1$ نشان می‌دهد که عملکرد انرژی بهبود یافته و یا بدتر شده است. در محاسبه $DEPI$ به محاسبه چهار تابع فاصله‌ای انرژی سفارد به شکل $(K_j^{l_1}, L_j^{l_1}, E_j^{l_1}, Y_j^{l_1}, C_j^{l_1})$, $l_1, l_2 \in \{s, t\}$ نیاز می‌باشد.

$$D_E^{l_1}(K_j^{l_1}, L_j^{l_1}, E_j^{l_1}, Y_j^{l_1}, C_j^{l_1})^{-1} = \min \beta \quad (8)$$

$$s. t. \sum_{i=1}^I \lambda_i K_i^{l_1} \leq K_j^{l_2}$$

$$\sum_{i=1}^I \lambda_i L_i^{l_1} \leq L_j^{l_2}$$

$$\sum_{i=1}^I \lambda_i E_i^{l_1} \leq \beta E_j^{l_2}$$

$$\sum_{i=1}^I \lambda_i Y_i^{l_1} \geq Y_j^{l_2}$$

$$\sum_{i=1}^I \lambda_i C_i^{l_1} = C_j^{l_2}$$

$$\lambda_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, I$$

شاخص عملکرد انتشار کربن مالم کوئیسست که توسط ژو و همکاران (۲۰۱۰) معرفی گردید به دو قسمت زیر تجزیه می‌شود:

$$EFFCH_j(t, s) = \frac{D_E^t(K_j^t, L_j^t, E_j^t, Y_j^t, C_j^t)}{D_E^s(K_j^s, L_j^s, E_j^s, Y_j^s, C_j^s)} = \frac{SEEI_j^s}{SEEI_j^t} \quad (9)$$

$$TECHCH_j(t, s) = \left[\frac{D_E^s(K_j^s, L_j^s, E_j^s, Y_j^s, C_j^s) \times D_E^t(K_j^t, L_j^t, E_j^t, Y_j^t, C_j^t)}{D_E^t(K_j^t, L_j^t, E_j^t, Y_j^t, C_j^t) \times D_E^s(K_j^s, L_j^s, E_j^s, Y_j^s, C_j^s)} \right]^{1/2} \quad (10)$$

در رابطه (۹) تغییر شاخص کارایی انرژی ایستای DMU اندازه‌گیری می‌گردد. رابطه (۱۰) تغییرات تکنولوژیکی است که چگونگی انتقال تکنولوژی DEA محیط زیستی از دوره t به s را نشان می‌دهد.

۵- نتایج تجربی

در این بخش ابتدا داده‌ها را معرفی کرده و سپس نتایج بررسی می‌گردد.

داده‌ها

در این مطالعه یک گروه از کشورها بر اساس طبقه بندی بانک جهانی^۱ (WDI) به عنوان کشورهای در حال توسعه با درآمد متوسط در نظر گرفته می‌شوند. این کشورهای منتخب شامل: آلبانی، آذربایجان، آرژانتین، آفریقا جنوبی، اسلواکی، اکراین، اروگوئه، ازبکستان، ارمنستان، اندونزی، الجزایر، اکوادور، ایران، بلغارستان، بنگلادش، پاراگوئه، تاجیکستان، تانزانیا، رومانی، قزاقستان، کلمبیا، کاستاریکا، کامرون، لهستان، مالزی، مکزیک، نیجریه، ونزوئلا می‌باشد. آمار مورد نیاز برای محاسبه مدل، از داده‌های بانک جهانی طی دوره زمانی ۲۰۱۲-۲۰۰۱ تهیه شده است. داده‌های استفاده شده در این تحقیق، موجودی سرمایه (دلار آمریکا به قیمت ثابت سال ۲۰۰۵)، نیروی کار (نفر)، مصرف انرژی (کیلو تن معادل نفت)، به‌عنوان نهاده و تولید ناخالص داخلی (دلار آمریکا به قیمت ثابت سال ۲۰۰۵) و میزان انتشار دی اکسید کربن (کیلو تن) به ترتیب به‌عنوان ستاده مطلوب و نامطلوب از مدل استفاده می‌گردد. داده‌های مربوط به متغیرهای موجودی سرمایه (K)، نیروی کار (L) و مصرف انرژی (E) به‌عنوان ورودی و تولید ناخالص داخلی (Y) و انتشار CO2 (C) به ترتیب به‌عنوان ستانده‌های مطلوب و نامطلوب از گزارش سالانه‌ی بانک جهانی جمع‌آوری گردیده‌اند، هم‌چنین نتایج آمار توصیفی متغیرهای مدل در جدول ۱ محاسبه شده است.

جدول ۱- آمار توصیفی متغیرها برای کشورهای در حال توسعه منتخب

متغیرها	واحد	متوسط	حداکثر	حداقل	انحراف معیار
نهاده‌ها	K	دلار آمریکا به قیمت ثابت سال ۲۰۰۵	$2/48 e + 10$	$2/36 e + 11$	$3/82 e + 10$
	L	نفر	۱۴۰۸۸۱۶	$1/18 e + 0.8$	۲۱۳۸۱۴۰۴
	E	کیلو تن معادل نفت	۴۳۵۳۸/۱۹	۲۱۳۶۲۳/۱	۱۷۶۳/۳۵۷
ستانده‌ها	Y	دلار آمریکا به قیمت ثابت سال ۲۰۰۵	$1/30 e + 11$	$1/0.3 e + 12$	$1/45 e + 0.9$
	C	کیلو تن	$2/29 e + 0.9$	$1/0.7 e + 12$	$4/95 e + 10$

منبع: محاسبات تحقیق

عملکرد کارایی ایستا

در این تحقیق با استفاده از نرم افزار GAMS^۱، روش چند مرحله‌ای تحلیل پوششی داده‌ها با رویکرد تابع تولید مشترک با ستانده مطلوب و نامطلوب در دو حالت ایستا و پویا و نیز شاخص مالم کوئیسست برای تغییرات شاخص‌های بهره‌وری طی در دوره‌ی ۲۰۰۱-۲۰۱۲ اندازه‌گیری شده و عملکرد کارایی انرژی ایستا و پویا مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. همان‌گونه که در بخش روش شناسی توضیح داده شد، برای بررسی کارایی انرژی در کشورهای منتخب رابطه ۶ محاسبه شده است. از نتایج حاصل از روابط مذکور برای محاسبه کارایی اثرات ثابت زمانی استفاده شده است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری کارایی کشورهای در حال توسعه منتخب (جدول ۲) نشان می‌دهد همان‌طور که پیش‌بینی می‌شود کشورهای مورد مطالعه متفاوت است. با توجه به نتایج دیده می‌شود که میانگین عملکرد انرژی ایستا در کشورهای منتخب طی دوره مورد نظر ۰/۸۱۹ است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود به‌طور ضمنی با حذف کشورهای ناکارا ممکن است مصرف انرژی به میزان ۱۸/۱ درصد کاهش یابد. کشورهای اسلواکی، رومانی و اندونزی بالاترین کارایی را دارند در حالی که کشورهای نیجریه، قزاقستان و تانزانیا کم‌ترین میزان کارایی را در بین کشورها به خود اختصاص داده‌اند. هم‌چنین با توجه به جدول ۲، اکثر کشورها دارای کارایی کم‌تر از ۰/۹ هستند که نشان دهنده درجه خوبی از تشخیص مدل DEA است. در هر یک از مدل‌های برنامه ریزی خطی تلاش می‌شود

که کارایی هر کشور تا آنجا که ممکن است بالا برده شود، هر چند گنجاندن خروجی‌های نامطلوب ممکن است نتایج متفاوتی از کارایی انرژی در مقایسه با حالتی که تنها خروجی مطلوب در نظر گرفته شده را فراهم کند. طبق محاسبات انجام شده عملکرد کارایی ایران طی دوره این به‌طور متوسط $0/903$ درصد می‌باشد. بر این اساس می‌توان با افزایش ستانده مطلوب به‌طور متوسط به میزان $10/7$ درصد و کاهش نهاده‌ها به‌طور متوسط به میزان $9/7$ درصد عملکرد تولید را بهبود بخشیده و به کارایی بهتر دست یافت. جایگاه عملکرد کارایی ایران در مقایسه با میانگین کشورهای در حال توسعه منتخب از وضعیت بهتری برخوردار است. بر اساس نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت برای بهبود عملکرد کارایی در کشورهای منتخب می‌بایست با افزایش ستانده مطلوب به‌طور متوسط به میزان $22/1$ درصد و کاهش نهاده‌ها به‌طور متوسط به میزان $18/1$ درصد، عملکرد تولید را بهبود بخشید و به کارایی بالاتری دست یافت. یکی از دلایلی که می‌توان برای تغییرات کارایی انرژی در نظر گرفت، شدت انرژی و بالطبع انتشار CO_2 است، به‌طوری‌که برخی از این کشورها با کارایی پایین علی‌رغم وجود عوامل اثرگذار دیگر به لحاظ شدت انرژی بالا نتوانسته‌اند کارایی بالایی را داشته باشند، به‌عنوان نمونه بیش‌ترین میانگین رشد انتشار CO_2 با $8/03$ و کم‌ترین با $3/17$ - به ترتیب مربوط به کشور قزاقستان و رومانی است (میانگین رشد کشور ایران $3/45$ می‌باشد). ملاحظه می‌شود رومانی با داشتن رشد انتشار CO_2 کارایی کم‌تری دارد هر چند کارایی این کشور علل دیگری نیز دارد، بنابراین تحولات شدت انرژی می‌تواند ناشی از تغییر در کارایی مصرف انرژی یا تغییر ساختار اقتصاد باشد. در صورت ثابت بودن حجم تولید ناخالص داخلی و افزایش کارایی مصرف انرژی، شدت انرژی کاهش می‌یابد. از سوی دیگر تغییر در ساختار اقتصاد و تولید می‌تواند باعث تغییر در شدت انرژی گردد.

جدول ۲- عملکرد کارایی انرژی صنعتی ایستا در کشورهای منتخب از سال ۲۰۰۱-۲۰۱۲

کشور ها	۲۰۰۱	۲۰۰۲	۲۰۰۳	۲۰۰۴	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	میانگین
آلبانی	۰/۸۱۲	۰/۶۴۱	۰/۶۶۷	۱/۰۰۰	۰/۶۴۱	۰/۶۳۰	۰/۸۰۸	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۸۵۵	۰/۹۴۹
آذربایجان	۰/۹۱۸	۰/۹۰۳	۰/۹۵۴	۰/۸۵۴	۰/۸۶۶	۰/۹۱۳	۰/۹۳۳	۰/۹۲۳	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۹۳۸
آرژانتین	۰/۸۰۸	۰/۸۱۵	۰/۸۴۸	۰/۹۹۵	۰/۷۸۵	۰/۷۸۷	۰/۹۱۸	۰/۸۴۰	۰/۷۴۵	۰/۶۸۹	۰/۶۴۱	۰/۶۹۸	۰/۶۹۸
آفریقا جنوبی	۰/۷۵۳	۰/۷۲۴	۰/۷۳۱	۰/۶۱۴	۰/۶۷۰	۰/۷۲۱	۰/۶۵۵	۰/۸۴۷	۰/۷۴۶	۰/۷۲۷	۰/۶۲۲	۰/۶۳۸	۰/۷۰۴
اسلواکی	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
اکراین	۰/۹۹۷	۰/۹۳۹	۰/۹۷۱	۰/۸۹۱	۱/۰۰۰	۰/۹۸۶	۰/۹۶۱	۰/۹۲۰	۰/۹۳۰	۰/۹۵۷	۰/۸۹۵	۰/۸۶۹	۰/۹۴۳
اروگوئه	۰/۹۹۳	۰/۹۸۱	۰/۹۹۲	۰/۸۸۰	۰/۹۶۴	۰/۹۶۲	۰/۹۸۵	۰/۹۵۷	۰/۹۲۲	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۹۷۰
ازبکستان	۱/۰۰۰	۰/۸۲۳	۰/۸۵۵	۰/۹۶۶	۰/۸۴۱	۰/۸۶۸	۰/۹۰۲	۰/۹۶۷	۰/۶۸۹	۰/۷۳۶	۰/۸۲۸	۰/۸۴۲	۰/۸۶۰
ارمنستان	۰/۹۶۶	۰/۸۵۱	۰/۸۶۶	۱/۰۰۰	۰/۷۲۲	۰/۸۸۸	۰/۹۸۹	۰/۹۹۳	۰/۹۱۰	۰/۹۳۲	۰/۹۱۶	۰/۸۹۹	۰/۹۱۵
اندونزی	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
الجزایر	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۸۳۸	۰/۷۹۲	۰/۷۷۶	۰/۷۸۴	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۷۲۴	۰/۹۱۰
اکوادور	۰/۸۶۶	۰/۸۹۵	۱/۰۰۰	۰/۸۳۵	۰/۹۹۱	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۹۲۱	۰/۸۸۸	۰/۸۰۴	۰/۷۰۴	۰/۷۸۰	۰/۸۹۰
ایران	۱/۰۰۰	۰/۹۷۵	۰/۹۳۰	۰/۶۵۷	۱/۰۰۰	۰/۸۸۵	۰/۹۲۲	۰/۹۲۳	۱/۰۰۰	۰/۹۱۱	۰/۷۷۱	۰/۸۶۲	۰/۹۰۳
بلغارستان	۱/۰۰۰	۰/۷۲۰	۰/۷۱۹	۰/۴۹۶	۰/۷۱۴	۰/۵۹۲	۰/۹۲۴	۰/۹۰۰	۰/۸۴۷	۰/۷۹۳	۰/۷۵۲	۰/۸۴۵	۱/۰/۷۷۵
بنگلادش	۱/۰۰۰	۰/۷۵۰	۰/۷۶۲	۰/۹۸۳	۰/۷۸۸	۰/۷۴۹	۰/۹۴۰	۰/۸۴۱	۰/۷۷۷	۰/۷۳۷	۰/۶۲۰	۰/۶۱۰	۰/۷۹۶
پاراگوئه	۰/۸۹۸	۰/۸۳۷	۰/۸۰۱	۰/۹۸۶	۰/۸۲۳	۰/۸۱۳	۰/۹۱۳	۰/۷۷۷	۰/۷۶۲	۰/۷۲۵	۰/۷۴۳	۰/۷۰۳	۰/۸۱۵
تاجیکستان	۰/۷۷۲	۰/۷۱۹	۰/۶۸۷	۰/۵۳۴	۰/۶۸۰	۰/۶۸۸	۰/۷۷۴	۰/۷۶۸	۰/۶۴۰	۰/۶۹۲	۰/۶۴۲	۰/۶۰۱	۰/۶۸۳
تانزانیا	۰/۷۴۰	۰/۶۶۱	۰/۶۸۸	۱/۰۰۰	۰/۵۵۹	۰/۶۰۵	۰/۷۳۵	۰/۶۴۷	۰/۵۹۴	۰/۶۲۳	۰/۵۹۱	۰/۵۵۲	۰/۶۶۶
رومانی	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
قزاقستان	۰/۶۳۹	۰/۶۹۱	۰/۵۷۵	۰/۶۱۲	۰/۵۱۶	۰/۵۱۱	۰/۵۵۶	۰/۶۲۸	۰/۵۸۵۸	۰/۵۸۶	۰/۵۳۶	۰/۵۲۱	۰/۵۸۰
کلمبیا	۰/۶۸۳	۰/۵۷۰	۰/۵۵۷	۰/۳۸۸	۰/۵۸۹	۰/۵۴۰	۰/۷۲۵	۰/۷۹۳	۰/۵۸۱	۰/۹۷۳	۰/۶۰۲	۰/۵۴۲	۰/۶۲۹
کاستاریکا	۰/۸۰۸	۰/۶۶۶	۰/۶۴۰	۰/۶۸۰	۰/۶۳۷	۰/۶۶۷	۰/۷۵۹	۰/۷۳۲	۰/۶۹۵	۰/۶۵۶	۰/۶۶۷	۰/۶۴۳	۰/۶۷۹
کامرون	۰/۷۵۲	۰/۷۵۱	۰/۷۰۱	۰/۶۱۱	۰/۶۸۴	۰/۶۶۲	۰/۹۲۰	۰/۷۷۰	۰/۸۱۶	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۸۶۲	۰/۷۹۴
لهستان	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۶۱۹	۰/۷۱۳	۰/۶۱۵	۰/۶۰۲	۰/۸۵۲
مالزی	۰/۸۱۱	۰/۷۲۲	۰/۸۲۳	۰/۸۰۸	۰/۶۷۷	۰/۷۶۹	۰/۹۵۶	۰/۸۷۳	۰/۷۱۲	۰/۷۹۰	۰/۷۹۷	۰/۸۰۶	۰/۷۹۵
مکزیک	۰/۷۰۳	۰/۶۵۱	۰/۶۳۶	۰/۵۶۸	۰/۷۰۱	۰/۷۲۳	۰/۹۸۰	۰/۸۰۰	۰/۶۹۹	۰/۶۷۰	۰/۶۱۸	۰/۶۳۷	۰/۷۰۳
نیجریه	۰/۶۶۷	۰/۶۲۷	۰/۵۳۳	۰/۵۰۱	۰/۶۹۶	۰/۶۴۱	۰/۷۳۱	۰/۵۸۶	۰/۵۶۴	۰/۵۱۲	۰/۴۶۰	۰/۴۲۳	۰/۵۷۸
ونزوئلا	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۸۴۶	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۷۱۸	۰/۷۴۵	۰/۹۱۳	۰/۷۶۳	۰/۷۳۱	۰/۶۵۳	۰/۶۵۴	۰/۸۳۵
متوسط سالیانه	۰/۹۶۷	۰/۸۱۸	۰/۸۰۸	۰/۸۰۹	۰/۷۹۹	۰/۷۹۱	۰/۸۸۳	۰/۸۵۵	۰/۸۰۵	۰/۸۲۰	۰/۷۷۳	۰/۷۵۴	۰/۸۱۹

منبع: محاسبات تحقیق

عملکرد کارایی انرژی پویا

مدل استفاده شده در این تحقیق بر اساس مطالعات تجربی فاره و همکاران^۱ (۲۰۰۷) و ژئو و همکاران^۲ (۲۰۱۰) است. با استفاده از اطلاعات کشورهای نمونه مورد بررسی، تکنیک ارزیابی داده‌های تلفیقی برای تحلیل تفاوت بین کشوری استفاده شده است. این روش ترکیبی از داده‌های سری زمانی و مقطعی و نتایج حاصل از اندازه‌گیری کارایی انرژی پویا به شرح جدول پیوست ۱ است. در این قسمت ارزیابی تغییرات در کارایی انرژی پویا طی دوره‌های دوسال متوالی از ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۲ برای کشورهای منتخب محاسبه شده است. همان‌طور که از نتایج ارزیابی مدل مشخص است، طی دوره یک تغییر مثبت و تجربه کلی ۱/۰۲۶٪، نشان می‌دهد که کارایی انرژی صنعتی با ۲/۶ درصد از سال ۲۰۰۱ بهبود یافته است. با این حال، چهار دوره از زمان به‌عنوان نمونه ۲۰۰۲-۲۰۰۱، ۲۰۰۴-۲۰۰۳، ۲۰۰۵-۲۰۰۴ و ۲۰۰۸-۲۰۰۷، یک تغییر منفی را نشان می‌دهد. میانگین کارایی کشورها در دوره نمونه نشان می‌دهد که تمام کشورها به غیر از الجزایر و بنگلادش، بهبود در کارایی انرژی صنعتی داشته‌اند. در میان این کشورها آلبانی، لهستان و ازبکستان بالاترین نرخ رشد میانگین سالانه (بیش‌تر از ۱۰ درصد) را داشته‌اند.

در جدول پیوست ۲ شاخص عملکرد کارایی انرژی ایستا با استفاده از معادله‌های ۹ و ۱۰ به اثرات تغییر شاخص کارایی ایستا و تغییر تکنولوژیکی تجزیه شده است، براساس نتایج به‌دست آمده کشورهای اسلواکی، رومانی و اندونزی تغییر در کارایی تکنولوژیکی را در تمام دوره تجربه نمی‌کنند، این بدان معنی است که آنها همیشه در مرز تولید بوده‌اند. در میان کشورهای منتخب، ۱۹ کشور کاهش در کارایی سالانه دارند، به‌عبارتی این کشورها در رسیدن به مرز بهترین عملکرد موفق نبوده‌اند.

جدول پیوست ۳ نتایج حاصل از تجزیه تغییر تکنولوژیکی برای تمام کشورهای منتخب را نشان می‌دهد. از ۳۰۸ مورد، تنها برای ۸۳ مورد تغییر منفی در تکنولوژی ثبت شده است. به عبارت دیگر ۷۳ درصد تغییر مثبت در تکنولوژی اتفاق افتاده است. کشورهای آلبانی، اکراین و لهستان بهبود سالانه بیش از ۱۰ درصد داشته‌اند. علاوه بر این در طول دوره تمامی کشورها بهبود تکنولوژی داشته و فقط در دوره‌های ۲۰۰۲-۲۰۰۱، ۲۰۰۴-۲۰۰۳ افت تکنولوژی وجود دارد.

1- Fareet al(2007)

2- Zhou.et al(2010)

تغییرات کارایی انرژی صنعتی کشورهای منتخب در همه موارد بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۲ بررسی شده، هم‌چنین اجزای ترکیبی شاخص کارایی انرژی پویا تا سال ۲۰۱۲ محاسبه شد. در جدول ۳ نتایج بر مبنای سال پایه ۲۰۰۱ محاسبه گردیده است. در این جدول بهبود عملکرد کارایی انرژی صنعتی پویا به میزان ۵۴/۲ درصد طی دوره برای کشورهای منتخب را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که بالاترین شاخص کارایی انرژی پویا مربوط به کشور آلبانی (۴/۱۴۹) است که بیش‌تر به دلیل بالاتر بودن تغییرات فنی رخ داده است. کم‌ترین میزان مربوط به بنگلادش (۰/۶۸۲) و به دلیل پایین بودن تغییرات کارایی است. شاخص کارایی انرژی در ایران (۱/۴۹۲) است که به طور متوسط ۰/۸۶۲ ناشی از تغییرات کارایی و ۱/۷۳۰ ناشی از تغییرات فنی است. بالا بودن تغییرات کارایی انرژی در ایران بیش‌تر به دلیل بالاتر بودن تغییرات کارایی تکنولوژیکی است.

جدول ۳- تفکیک شاخص کارایی انرژی پویا در سال ۲۰۱۲

کشورها	تغییرات فنی	تغییرات کارایی	شاخص کارایی انرژی پویا
آلبانی	۳/۴۱۲	۱/۲۱۶	۴/۱۴۹
آذربایجان	۲/۳۴۹	۱/۰۸۹	۲/۵۵۸
آرژانتین	۱/۲۳۱	۰/۷۰۶	۰/۸۶۹
آفریقا جنوبی	۱/۴۶۸	۰/۸۴۶	۱/۲۴۲
اسلواکی	۱/۵۳۹	۱/۰۰۰	۱/۵۳۹
اکراین	۲/۴۳۷	۰/۸۷۱	۲/۱۲۳
اروگوئه	۲/۲۴۷	۱/۰۰۷	۲/۲۶۲
ازبکستان	۲/۹۴۹	۰/۸۴۱	۲/۲۸۲
ارمنستان	۱/۳۴۹	۰/۹۳۰	۱/۲۵۵
اندونزی	۱/۱۳۳	۱/۰۰۰	۱/۱۳۳
الجزایر	۱/۱۰۱	۰/۷۲۴	۰/۷۹۷
اکوادور	۱/۳۷۸	۰/۹۰۱	۱/۲۴۲
ایران	۱/۷۳۰	۰/۸۶۲	۱/۴۹۲
بلغارستان	۱/۶۳۹	۰/۸۴۵	۱/۳۸۵
بنگلادش	۱/۱۱۸	۰/۶۱۰	۰/۶۸۲
پاراگوئه	۱/۳۹۲	۰/۷۸۳	۱/۰۹۰
تاجیکستان	۱/۶۵۵	۰/۷۷۹	۱/۲۸۹
تانزانیا	۱/۱۱۸	۰/۷۴۷	۰/۸۳۵
رومانی	۱/۶۰۳	۱/۰۰۰	۱/۶۰۳

کشورها	تغییرات فنی	تغییرات کارایی	شاخص کارایی انرژی پویا
قزاقستان	۱/۳۴۹	۰/۸۱۵	۱/۱۰۰
کلمبیا	۱/۸۱۲	۰/۷۹۳	۱/۴۳۷
کاستاریکا	۱/۴۰۰	۰/۹۰۹	۱/۲۷۲
کامرون	۱/۳۴۷	۱/۱۴۷	۱/۵۴۴
لهستان	۳/۳۸۴	۰/۶۰۲	۳/۲۴۱
مالزی	۱/۴۲۱	۰/۹۹۴	۱/۴۱۳
مکزیک	۱/۳۵۸	۰/۹۰۶	۱/۲۳۱
نیجریه	۱/۶۰۶	۰/۶۳۴	۱/۰۱۹
ونزوئلا	۱/۳۷۹	۰/۶۵۴	۰/۹۰۲
میانگین سالیانه	۱/۷۸۲	۰/۸۶۴	۱/۵۴۲

منبع: محاسبات تحقیق

۶- نتیجه گیری و پیشنهادات

با توجه به اهمیت توسعه پایدار کشورها بایستی به منابع انرژی و زیست محیطی به‌عنوان یک دارایی مشترک و ضروری توجه داشته باشند. در برخورد با چالش‌ها، بایستی عوامل زیست محیطی را در نظر گرفت و در این راستا توسعه اقتصادی باید علاوه بر رشد اقتصادی، مستلزم افزایش صرفه‌جویی انرژی، بهبود کارایی انرژی و کارایی زیست محیطی باشد. بنابراین یکی از مهم‌ترین کارهایی که بر عهده متخصصان فن گذارده شده است، یافتن راه‌حلهایی به منظور کاستن اثرات جانبی منفی ناشی از رشد اقتصادی و مصرف انرژی به محیط زیست است. برای این مهم چندین مدل تحلیل پوششی داده‌های ناپارامتریک با انتشار دی‌اکسید کربن برای ارزیابی کارایی انرژی زیست محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. انتشار دی‌اکسید کربن به‌عنوان یک ستانده نامطلوب ضعیف در این تحقیق در نظر گرفته شده است. نتایج تجربی این مطالعه نشان می‌دهد که هرگز طریق بهبود کارایی انرژی مصرف انرژی به میزان ۱۸/۱ درصد در سال برای کشورهای در حال توسعه‌ی منتخب کاهش می‌یابد. تجزیه و تحلیل کارایی پویا نشان می‌دهد که میانگین کارایی انرژی، با ۲/۶ درصد در سال ۲۰۱۲ نسبت به سال پایه (۲۰۰۱) در کشورهای منتخب بهبود یافته است. با تجزیه شاخص عملکرد کارایی انرژی به دو قسمت مرتبط با آن، ملاحظه می‌شود که تغییر کارایی انرژی استاتیک تأثیر منفی داشته در حالی که تغییرات تکنولوژی، تأثیر مثبتی بر تغییر عملکرد کارایی انرژی پویا داشته است. این نشان می‌دهد که بهبود کارایی انرژی این کشورها عمدتاً توسط بهبود

تکنولوژی اتفاق می‌افتد. هرچند عملکرد کارایی انرژی صنعتی نه تنها از تکنولوژی و کارایی فنی بلکه از برخی عوامل دیگر هم چون عوامل سیاسی، اقتصادی و اجتماعی نیز تأثیر می‌پذیرد. در مجموع، برای قرار گرفتن این گروه از کشورها در شرایط بهتر کارایی زیست محیطی انرژی، موارد زیر پیشنهاد می‌گردد:

۱- با شناخت و مطالعه کامل وضعیت خود درصدد رفع ضعف قوانین و مقررات زیست محیطی برآمده و با وضع قوانین و مقررات بر آلاینده‌ها و بنگاه‌ها و اعمال دقیق آن، روند انتشار آلودگی را مدیریت نمایند.

۲- از طریق بهبود بخش تحقیق و توسعه، زمینه‌های جایگزینی را با تکنولوژی‌های مخرب و آلاینده تکنولوژی‌های پاک و سازگار با محیط زیست با کم‌ترین هزینه فراهم نمایند و جریان سرمایه‌گذاری را به گونه‌ای مدیریت کنند که افزایش کارایی زیست محیطی را در پی داشته باشد.

۳- مصرف انرژی باید به گونه‌ای مدیریت شود که مصرف سطح معینی از آن بیش‌ترین کارایی زیست محیطی را داشته باشد. این مسئله به ویژه در مورد کشورهای که اقتصاد وابسته به انرژی دارند اهمیت بیش‌تری پیدا می‌یابد. در این راستا باید هماهنگی بیش‌تری میان عرضه انرژی و رشد اقتصادی برقرار شود. به طور کلی کشورهای در حال توسعه به منظور افزایش کارایی زیست محیطی انرژی و کنترل آلودگی ناشی از مصرف انرژی باید سیاست دو گانه‌ای را در پیش گیرند. نخست آنکه در بخش عرضه انرژی، با سرمایه‌گذاری در زیر ساخت‌ها، موجبات کارایی زیست محیطی انرژی عرضه شده را فراهم آورند و دیگر آنکه در بخش تقاضای انرژی، سیاست‌های کاهش مصرف انرژی را در پیش گرفته و با به‌کارگیری شیوه‌ها و روش‌های نوین در تولید، از مصرف غیرضروری انرژی و اتلاف آن تا حد ممکن جلوگیری نمایند. به نظر می‌رسد این سیاست راه مؤثری برای کاهش انتشار آلودگی از طریق کاهش و کنترل تقاضا و نیز حفظ ذخایر انرژی در این کشورها باشد.

۴- کشورهای در حال توسعه باید سرمایه‌گذاری‌های لازم را در راستای بهبود کارایی فنی و تکنولوژی زیست محیطی انجام دهند. هم‌چنین برای بهبود کارایی محیط زیست توسط سیاست‌گذاران، سیاست توسعه دانش و تکنولوژی مفید و این که این چه‌طور می‌تواند مؤثر باشد، توصیه می‌گردد.

فهرست منابع

آماده، حمید، رضایی، علی (۱۳۹۰)، اندازه‌گیری کارایی زیست محیطی با استفاده از مدل کارایی سراسری ستانده مطلوب و نامطلوب تفکیک‌ناپذیر سراسری در بخش تولید انرژی الکتریکی شرکت‌های برق منطقه‌ای، مطالعات اقتصاد انرژی: دوره ۸، شماره ۳۰، پاییز، ۱۵۴-۱۲۵.

درویش‌متولی، محمدحسین، معتمدی، مجید، درویش‌متولی، محمود (۱۳۹۰)، ارزیابی کارایی تکنولوژی‌های بخش انرژی بر اساس مدل ترکیبی AHP / DEA، مطالعات کمی در مدیریت، دوره ۲، شماره ۲، تابستان، ۲۱-۱.

راسخی، سعید، سلمانی، پروین (۱۳۹۲)، رابطه شدت انرژی و کارایی اقتصادی در کشورهای منتخب با استفاده از الگوی گشتاور تعمیم‌یافته: کاربردی از تحلیل پنجره‌ای پوششی داده‌ها، پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی، دوره ۲۱، شماره ۶۷، پاییز، ۲۴-۵.

سیفی، احمد، سلیمی‌فر، مصطفی، فنودی، هانیه (۱۳۹۲)، اندازه‌گیری کارایی زیست‌محیطی: بررسی موردی نیروگاه‌های حرارتی تولید برق در استان‌های خراسان جنوبی، رضوی و شمالی، اقتصاد انرژی ایران، دوره ۲، شماره ۷، تابستان، ۴۱-۱۷.

شرزهای، غلامعلی، ابراهیم‌زادگان، هه‌ژار (۱۳۹۰)، برآورد اثر بازگشت افزایش کارایی انرژی در ارتباط با مصرف خانوارها و انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران، مطالعات اقتصاد انرژی، دوره ۸، شماره ۳۰، پاییز، ۶۱-۳۳.

مهرگان، نادر و اصغر مبارک (۱۳۷۸)، بررسی تأثیر مولفه‌های اقتصاد نوین بر کارایی صنایع در ایران، فصلنامه اقتصاد مقدار، دوره ۵، شماره ۲، تابستان، صفحات ۱۵۲-۱۳۱.

نصرالهی، زهرا، صادقی، آرانی‌زهرا، غفاری‌گولک، مرضیه (۱۳۹۱)، اندازه‌گیری کارایی صنایع تولیدی ایران با رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها و با تأکید بر ستاده‌های نامطلوب (آلاینده‌های زیست محیطی)، سیاست‌های اقتصادی (نامه مفید)، دوره ۸ (۱۸)، شماره ۱ (۹۰)، تابستان، ۱۱۰-۸۷.

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

- Bampatsou, C. et al (2013), Technical efficiency of economic systems of EU-15 countries based on energy consumption, *Energy Policy* 55 426–434.
- Blancard, S. Martin. E (2014), Energy efficiency measurement in agriculture with imprecise energy content information, *Energy Policy* Vol, 66, 198–208.
- Boyd, G. A. (2014), estimates the changes in the distribution of energy efficiency in the U.S. Automobile assembly industry, *Energy Economics*, Vol, 42, 81–87.
- Bojnec, S. & D. Papler (2011), "Economic Efficiency, Energy Consumption and Sustainable Development", *Journal of Economics and Management*, Vol. 12, P. 353-374.
- Caves, D. W., Christensen, L. R. & E. Diewert (1982), "The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output and Productivity", *Econometrica*, Vol. 501, pp. 1393-1414.
- 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.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M. & K. Tone (2007), *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Model, Applications, References and DEA-Solver Software*, New York, Springer, 490 pages.
- Dyckhoff, H. & K. Allen (2001), "Measuring Ecological Efficiency with Data-Envelopment Analysis (DEA)", *European Journal of Operational Research*, Vol. 132, pp. 312-325.
- Färe, R., Grosskopf, S., Lovell, A. K., Pasurka, C., 1989. Multilateral productivity comparisons when some output are undesirable: an nonparametric approach. *The Review of Economics and Statistics* 71, 90–98.
- 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 Pharmacies 1980-1989: A Non-Parametric Malmquist Approach", *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 3, Issue 1-2, pp. 85-101.
- Farrell, M. J. (1957), "The Measurement of Productive Efficiency", *Journal of Royal Statistical Society*, Vol. 120, Issue 3, pp. 253-290.
- Fare, R., Grosskopf, S., Pasurka Jr., C.A., 2007. Pollution abatement activities and traditional productivity. *Ecological Economics* 62, 673–682.
- Fare, R., Grosskopf, S., Norris, M., Zhang, Z., 1994. Productivity growth, technical progress and efficiency change in industrialized countries. *American Economic Review* 84, 66–83.

- 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.
- Halkos, G. E. & N. G. Tzeremes(2013), "Renewable Energy Consumption and Economic Efficiency: Evidence from European Countries", *Journal of Renewable and Sustainable*, Vol. 5, PP. 41803.
- Nishimizu, M., & J. M. Page, Jr. (1982), "Total Factor Productivity Growth, Technological Progress and Technical Efficiency Change: Dimensions of Productivity Change in Yugoslavia, 1965-78", *EconomicJournal*, Vol. 92, pp. 936-920.
- Scheel, H. (2001), "Undesirable Outputs in Efficiency Valuations", *European Journal of Operational Research*, Vol. 132, pp. 400-410.
- Seiford, L. M., & J. Zhu (2002), "Modeling Undesirable Factors in Efficiency Evaluation", *European Journal of Operational Research*, Vol. 142, pp. 16-20.
- Shi, G.M., Bi, J., Wang, J.N., 2010. Chinese regional industrial energy efficiency evaluation based on a DEA model of fixing non-energy inputs. *Energy Policy* 38, 6172–6179.
- Sueyoshi, T., Goto, M., 2011. DEA approach for unified efficiency measurement: assessment of Japanese fossil fuel power generation. *Energy Economics* 33, 292–303.
- 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.
- World Bank, (2014), *World Development Indicators (WDI)*, CD-ROM. Washington
- Yeh, T.L., Chen, T.Y., Lai, P.Y., 2010. A comparative study of energy utilization efficiency between Taiwan and China. *Energy Policy* 38, 2386–2394.
- Zhang, X., *et al* (2011), Total-factor energy efficiency in developing countries, *Energy Policy*, Vol, 39, 644–650.
- Zhou, P., Ang, B.W., Han, J.Y., 2010. Total factor carbon emission performance: a Malmquist index analysis. *Energy Economics* 32, 194–201.
- Zhou, p, Ang, B.W. (2008), Linear programming models for measuring economy-wide energy efficiencyPerformance, *Energy Policy*, Vol, 36, 2911– 2916.

پیوست ۱- شاخص عملکرد کارایی انرژی پویا طی دوره ۲۰۱۱/۲۰۱۲ تا ۲۰۰۱/۲۰۰۲ در کشورهای منتخب

کشورها	۲۰۰۲	۲۰۰۳	۲۰۰۴	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	میانگین
آلبانی	۱/۰۵۵	۱/۰۶۴	۱/۸۹۲	۱/۱۶۳	۱/۴۶۸	۱/۶۶۸	۱/۴۰۱	۱/۲۳۴	۱/۱۶۹	۱/۱۳۹	۱/۸۳۹	۱/۲۵۴
آذربایجان	۱/۰۴۳	۱/۰۹۸	۱/۴۹۷	۱/۰۱۹	۱/۱۱۹	۱/۲۰۲	۰/۹۸۶	۱/۰۱۳	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۹۴
آرژانتین	۰/۹۹۳	۱/۰۴۲	۱/۵۹۰	۰/۶۰۲	۱/۰۴۹	۱/۰۰۷	۰/۷۸۹	۰/۹۴۰	۰/۹۵۵	۱/۰۱۴	۱/۰۵۱	۱/۰۱۲
آفریقا جنوبی	۱/۰۲۲	۱/۰۳۸	۱/۴۲۳	۰/۸۳۱	۱/۱۱۴	۰/۸۷۲	۱/۱۳۳	۰/۹۱۲	۰/۹۹۵	۰/۹۶۹	۱/۰۲۵	۱/۰۳۰
اسلواکی	۱/۰۷۰	۱/۰۰۰	۱/۱۹۲	۱/۰۵۲	۱/۰۵۰	۱/۰۷۵	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۲۲	۰/۹۹۴	۱/۰۴۱
اکراین	۱/۰۰۲	۱/۰۷۶	۱/۶۲۵	۱/۱۲۲	۱/۰۵۹	۱/۰۸۱	۰/۹۲۷	۱/۰۴۰	۱/۰۲۷	۰/۹۶۸	۰/۹۸۴	۱/۰۸۳
اروگوئه	۱/۰۴۶	۱/۰۵۲	۱/۴۱۳	۱/۰۵۹	۱/۰۹۶	۱/۱۲۰	۰/۹۵۳	۰/۹۸۵	۱/۰۸۴	۱/۰۶۳	۱/۰۳۴	۱/۰۸۲
ازبکستان	۱/۰۳۰	۱/۱۵۰	۱/۷۱۳	۰/۹۴۹	۱/۱۶۹	۱/۰۸۴	۱/۰۹۳	۰/۷۴۶	۱/۰۷۴	۱/۱۳۵	۱/۰۲۲	۱/۱۰۶
ارمنستان	۰/۹۴۱	۱/۰۵۹	۱/۴۳۳	۰/۷۱۷	۱/۱۹۷	۱/۰۱۴	۰/۹۲۲	۰/۹۵۱	۱/۰۳۰	۱/۰۴۵	۰/۹۸۳	۱/۰۳۵
اندونزی	۱/۰۲۹	۱/۰۲۳	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۴۲	۱/۰۰۲	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۱۱	۱/۰۲۰	۱/۰۱۲
الجزایر	۰/۹۵۸	۱/۰۱۰	۱/۴۲۸	۰/۷۴۲	۱/۰۲۳	۱/۱۴۴	۰/۷۶۱	۱/۰۰۲	۰/۹۷۷	۱/۰۵۳	۰/۸۴۷	۰/۹۹۵
اکوادور	۱/۰۹۹	۱/۱۵۵	۱/۲۰۴	۰/۹۱۴	۱/۰۵۵	۱/۰۲۸	۰/۷۹۶	۱/۰۱۳	۰/۹۳۰	۰/۹۸۹	۱/۰۰۵	۱/۰۲۶
ایران	۱/۰۷۳	۰/۹۷۶	۱/۳۰۰	۱/۲۰۸	۰/۹۲۶	۱/۰۴۱	۰/۸۴۲	۱/۱۲۰	۰/۹۳۱	۰/۹۷۱	۱/۱۱۱	۱/۰۴۵
بلغارستان	۰/۸۴۲	۱/۰۱۵	۱/۲۳۶	۱/۰۹۶	۰/۸۵۷	۱/۵۰۴	۰/۸۳۴	۰/۹۷۵	۰/۹۵۴	۱/۰۶۰	۱/۱۲۹	۱/۰۴۶
بنگلادش	۰/۸۷۰	۱/۰۲۹	۱/۷۴۸	۰/۶۱۳	۰/۹۷۱	۱/۱۶۰	۰/۷۲۹	۰/۹۵۷	۰/۹۶۸	۰/۹۵۱	۰/۹۸۳	۰/۹۹۸
پاراگوئه	۰/۹۶۷	۰/۹۹۵	۲/۱۵۵	۰/۶۵۵	۱/۰۰۳	۱/۰۷۳	۰/۷۱۰	۱/۰۱۱	۰/۹۷۰	۱/۱۳۴	۰/۹۴۶	۱/۰۵۶
تاجیکستان	۰/۹۹۷	۰/۹۸۴	۱/۳۹۲	۱/۰۲۴	۱/۰۴۱	۱/۰۰۹	۰/۸۶۶	۰/۸۶۱	۱/۰۹۸	۱/۰۳۷	۰/۹۳۸	۱/۰۳۲
تانزانیا	۰/۹۴۸	۱/۰۷۷	۱/۹۰۲	۰/۴۵۱	۱/۰۸۲	۱/۱۶۸	۰/۷۵۸	۰/۹۴۵	۱/۰۶۸	۱/۰۶۱	۰/۹۳۱	۱/۰۳۵
رومانی	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۳۳۶	۰/۷۶۸	۱/۰۳۳	۱/۲۷۵	۱/۱۰۱	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۷۷	۱/۰۰۰	۱/۰۵۱
قزاقستان	۱/۱۴۵	۰/۸۶۰	۱/۸۰۴	۰/۶۵۵	۱/۰۱۶	۱/۰۱۱	۰/۹۲۰	۰/۹۶۴	۱/۰۲۶	۱/۰۴۳	۰/۹۷۰	۱/۰۳۸
کلمبیا	۰/۸۸۵	۰/۹۸۶	۱/۴۹۲	۱/۱۵۵	۰/۹۳۱	۱/۳۵۶	۰/۹۷۰	۰/۷۵۳	۱/۷۰۰	۰/۶۷۵	۰/۹۰۱	۱/۰۷۳
کاستاریکا	۰/۹۸۱	۰/۹۹۸	۱/۸۴۵	۰/۷۶۲	۱/۰۶۲	۱/۰۹۶	۰/۸۲۸	۰/۹۸۳	۰/۹۴۸	۱/۰۷۱	۰/۹۶۳	۱/۰۴۹
کامرون	۱/۱۹۰	۰/۹۴۰	۰/۴۸۵	۰/۸۵۰	۰/۹۷۲	۱/۲۹۶	۱/۷۰۵	۱/۱۱۴	۱/۱۴۱	۱/۰۵۸	۰/۹۱۶	۱/۰۶۱
لهستان	۱/۰۱۷	۱/۰۰۰	۱/۴۱۹	۱/۰۰۰	۱/۳۹۴	۱/۴۲۳	۰/۶۸۲	۱/۳۴۵	۱/۲۷۶	۰/۹۸۶	۰/۹۷۳	۱/۱۳۹
مالزی	۰/۹۳۲	۱/۱۸۳	۱/۷۳۱	۰/۶۷۲	۱/۱۱۸	۱/۱۲۷	۰/۷۷۰	۰/۸۴۵	۱/۱۲۲	۱/۱۰۰	۱/۰۰۷	۱/۰۶۳
مکزیک	۰/۹۷۰	۱/۰۱۴	۱/۵۶۴	۰/۹۵۴	۱/۱۰۸	۱/۱۷۲	۰/۶۶۴	۰/۹۰۲	۰/۹۸۶	۱/۰۶۸	۱/۰۲۲	۱/۰۳۹
نیجریه	۰/۹۹۲	۰/۸۷۳	۱/۷۶۴	۱/۰۵۹	۰/۹۷۲	۱/۰۹۳	۰/۶۸۵	۰/۹۹۸	۰/۹۲۹	۱/۰۱۶	۰/۹۱۸	۱/۰۲۷
ونزوئلا	۱/۰۸۹	۰/۸۳۲	۱/۶۱۹	۱/۰۰۰	۰/۶۲۰	۱/۰۰۷	۱/۰۷۰	۰/۹۰۳	۰/۹۹۲	۱/۰۳۵	۰/۹۹۳	۱/۰۱۴
میانگین سالانه	۰/۹۷۸	۱/۰۱۹	۱/۵۴۳	۰/۸۹۶	۱/۰۵۵	۱/۱۶۰	۰/۸۸۹	۰/۹۸۶	۱/۰۴۸	۱/۰۲۷	۰/۹۸۶	۱/۰۲۶

منبع: محاسبات تحقیق

پیوست ۲- اجزای تغییر عملکرد کارایی انرژی ایستا در شاخص عملکرد کارایی پویا طی دوره
۲۰۰۱/۲۰۰۲ تا ۲۰۱۱/۲۰۱۲ در کشورهای منتخب

کشورها	۲۰۰۲	۲۰۰۳	۲۰۰۴	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	میانگین
آلبانی	۰/۹۱۶	۱/۰۳۸	۱/۴۹۹	۰/۶۴۱	۰/۹۸۳	۱/۲۸۳	۱/۲۳۸	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۸۵۵	۱/۰۴۱
آذربایجان	۰/۹۸۳	۱/۰۵۶	۰/۸۹۵	۱/۰۱۵	۱/۰۵۴	۱/۰۲۲	۰/۹۸۹	۱/۰۸۴	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۹
آرژانتین	۰/۸۹۷	۱/۰۴۱	۱/۱۷۳	۰/۷۸۹	۱/۰۰۲	۱/۱۶۶	۰/۹۱۵	۰/۸۸۸	۰/۹۲۵	۰/۸۷۵	۱/۰۵۹	۰/۹۷۶
آفریقا جنوبی	۰/۹۶۱	۱/۰۱۱	۰/۸۴۰	۱/۰۹۱	۱/۰۷۵	۰/۹۰۹	۱/۲۹۳	۰/۸۸۱	۰/۹۷۴	۰/۸۵۶	۱/۰۲۵	۰/۹۹۲
اسلواکی	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
اکراین	۰/۹۴۲	۱/۰۳۴	۰/۹۱۷	۱/۱۲۲	۰/۹۸۶	۰/۹۷۵	۰/۹۵۸	۱/۰۱۰	۱/۰۲۹	۰/۹۳۵	۰/۹۷۱	۰/۹۸۹
اروگوئه	۰/۹۸۷	۱/۰۱۱	۰/۸۸۷	۱/۰۹۶	۰/۹۹۸	۱/۰۲۴	۰/۹۷۱	۰/۹۶۴	۱/۰۸۵	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۲
ازبکستان	۰/۸۲۳	۱/۰۳۹	۱/۱۳۰	۰/۸۷۰	۱/۰۳۱	۱/۰۳۹	۱/۰۷۲	۰/۷۱۳	۱/۰۶۷	۱/۱۳۵	۱/۰۱۷	۰/۹۹۳
ارمنستان	۰/۸۸۰	۱/۰۱۷	۱/۱۵۵	۰/۷۷۲	۱/۱۵۱	۱/۱۱۳	۱/۰۰۳	۰/۹۱۷	۱/۰۲۴	۰/۹۸۳	۰/۹۸۲	۰/۹۹۹
اندونزی	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
الجزایر	۱/۰۰۰	۰/۸۳۸	۰/۹۴۵	۰/۹۷۹	۱/۰۱۰	۱/۲۷۶	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۷۲۴	۰/۹۷۹
اکوادور	۱/۰۳۳	۱/۱۱۸	۰/۸۳۵	۱/۱۸۸	۱/۰۰۹	۱/۰۰۰	۰/۹۲۰	۰/۹۶۵	۰/۹۰۵	۰/۸۷۶	۱/۱۰۹	۰/۹۹۶
ایران	۰/۹۷۵	۰/۹۵۳	۰/۷۰۷	۱/۵۲۲	۰/۸۸۵	۱/۰۴۲	۱/۰۰۱	۱/۰۸۴	۰/۹۱۱	۰/۸۴۶	۱/۱۱۹	۱/۰۰۴
بلغارستان	۰/۷۲۰	۰/۹۹۸	۰/۶۹۰	۱/۴۴۱	۰/۸۲۹	۱/۵۶۱	۰/۹۷۳	۰/۹۴۲	۰/۹۳۶	۰/۹۴۸	۱/۱۲۴	۱/۰۱۵
بنگلادش	۰/۷۵۰	۱/۰۱۶	۱/۲۹۱	۰/۸۰۱	۰/۹۵۰	۱/۲۵۵	۰/۸۹۵	۰/۹۲۴	۰/۹۴۸	۰/۸۴۱	۰/۹۸۴	۰/۹۶۹
پاراگوئه	۰/۹۳۲	۰/۹۵۸	۱/۲۳۰	۰/۸۳۵	۰/۹۸۷	۱/۱۲۳	۰/۸۵۱	۰/۹۸۰	۰/۹۵۲	۱/۰۲۵	۰/۹۴۶	۰/۹۸۴
تاجیکستان	۰/۹۳۲	۰/۹۵۵	۰/۷۷۸	۱/۲۷۴	۱/۰۱۲	۱/۱۲۴	۰/۹۹۳	۰/۸۳۳	۱/۰۸۰	۰/۹۲۹	۰/۹۳۶	۰/۹۸۶
تانزانیا	۰/۸۹۴	۱/۰۴۱	۱/۴۵۴	۰/۵۵۹	۱/۰۸۱	۱/۲۱۶	۰/۸۸۱	۰/۹۱۸	۱/۰۴۹	۰/۹۴۸	۰/۹۳۴	۰/۹۹۸
رومانی	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
قزاقستان	۱/۰۸۲	۰/۸۳۱	۱/۰۶۵	۰/۸۴۴	۰/۹۹۰	۱/۰۸۹	۱/۱۲۸	۰/۹۳۲	۱/۰۰۲	۰/۹۱۵	۰/۹۷۲	۰/۹۸۶
کلمبیا	۰/۸۳۴	۰/۹۷۷	۰/۶۹۶	۱/۵۲۰	۰/۹۱۷	۱/۳۴۲	۱/۰۹۴	۰/۷۳۲	۱/۶۷۶	۰/۶۱۹	۰/۸۹۹	۱/۰۲۸
کاستاریکا	۰/۹۴۱	۰/۹۶۱	۱/۰۶۳	۰/۹۳۶	۱/۰۴۸	۱/۱۳۷	۰/۹۶۵	۰/۹۵۰	۰/۹۴۳	۱/۰۱۷	۰/۹۵۶	۰/۹۹۳
کامرون	۰/۹۹۸	۰/۹۳۴	۰/۸۷۲	۱/۱۱۹	۰/۹۶۷	۱/۳۹۰	۰/۸۳۷	۱/۰۶۰	۱/۲۲۶	۱/۰۰۰	۰/۸۶۲	۱/۰۲۴
لهستان	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۸۶۴	۰/۹۷۸	۰/۹۶۴
مالزی	۰/۸۹۱	۱/۱۳۹	۰/۹۸۳	۰/۸۳۷	۱/۱۳۷	۱/۲۴۲	۰/۹۱۴	۰/۸۱۵	۱/۱۰۹	۱/۰۰۸	۱/۰۱۱	۱/۰۰۸
مکزیک	۰/۹۲۶	۰/۹۷۷	۰/۸۹۳	۱/۲۳۶	۱/۱۰۲	۱/۲۶۸	۰/۸۱۶	۰/۸۷۳	۰/۹۵۹	۰/۹۲۲	۱/۰۳۱	۱/۰۰۱
نیجریه	۰/۹۴۰	۰/۸۵۰	۰/۹۴۰	۱/۳۹۸	۰/۹۲۱	۱/۱۴۱	۰/۸۰۱	۰/۹۶۳	۰/۹۰۸	۰/۸۹۹	۰/۹۲۰	۰/۹۷۰
ونزوئلا	۱/۰۰۰	۰/۸۴۶	۱/۱۸۳	۱/۰۰۰	۰/۷۱۸	۱/۰۲۷	۰/۸۳۶	۰/۹۵۸	۰/۸۹۳	۱/۰۰۲	۱/۰۰۲	۰/۹۷۲
میانگین سالیانه	۰/۹۳۷	۰/۹۸۷	۱/۰۰۴	۱/۰۳۱	۰/۹۹۴	۱/۱۳۵	۰/۹۷۷	۰/۹۴۱	۱/۰۲۶	۰/۹۴۰	۰/۹۷۹	۰/۹۹۶

منبع: محاسبات تحقیق

پیوست ۳- اجزای تغییر فنی زیست محیطی از شاخص کارایی انرژی پویا طی دوره ۲۰۰۱/۲۰۰۲ تا ۲۰۱۱/۲۰۱۲ در کشورهای منتخب

کشورها	۲۰۰۲	۲۰۰۳	۲۰۰۴	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	میانگین
آلبانی	۱/۱۸۵	۱/۰۲۴	۱/۲۶۲	۱/۸۱۴	۱/۴۹۴	۱/۳۰۰	۱/۱۳۲	۱/۲۳۴	۱/۱۶۹	۱/۱۳۹	۰/۹۸۱	۱/۲۴۹
آذربایجان	۱/۰۶۱	۱/۰۴۰	۱/۶۷۳	۱/۰۰۵	۱/۰۶۲	۱/۱۷۶	۰/۹۹۷	۱/۰۱۸	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۹۴
آرژانتین	۱/۱۰۷	۱/۰۰۰	۱/۳۵۵	۰/۷۶۳	۱/۰۴۷	۰/۹۴۹	۰/۸۶۲	۱/۰۵۹	۱/۰۳۳	۱/۱۵۶	۰/۹۹۲	۱/۰۲۹
آفریقا جنوبی	۱/۰۶۴	۱/۰۲۶	۱/۶۹۳	۰/۷۶۲	۱/۰۳۶	۰/۹۶۰	۰/۸۷۶	۱/۰۳۵	۱/۰۲۱	۱/۱۳۱	۱/۰۰۰	۱/۰۵۵
اسلواکی	۱/۰۷۰	۱/۰۰۰	۱/۱۹۲	۱/۰۵۲	۱/۰۵۰	۱/۰۷۵	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۲۲	۰/۹۹۴	۱/۰۴۱
اکراین	۱/۰۶۴	۱/۰۴۰	۱/۷۷۱	۱/۰۰۰	۱/۰۷۵	۱/۱۰۹	۰/۹۶۸	۱/۰۲۹	۰/۹۹۸	۱/۰۳۵	۱/۰۱۴	۱/۱۰۰
اروگوئه	۱/۰۶۰	۱/۰۴۰	۱/۵۹۴	۰/۹۶۶	۱/۰۹۷	۱/۰۹۴	۰/۹۸۲	۱/۰۲۲	۰/۹۹۹	۱/۰۶۳	۱/۰۳۴	۱/۰۸۷
ازبکستان	۱/۲۵۲	۱/۱۰۷	۱/۵۱۵	۱/۰۹۰	۱/۱۳۴	۱/۰۴۳	۱/۰۱۹	۱/۰۴۷	۱/۰۰۷	۱/۰۰۹	۱/۰۰۵	۱/۱۱۲
ارمنستان	۱/۰۶۸	۱/۰۴۱	۱/۲۴۰	۰/۹۲۹	۱/۰۴۰	۰/۹۹۲	۰/۹۱۹	۱/۰۳۷	۱/۰۰۵	۱/۰۶۴	۱/۰۰۱	۱/۰۳۱
اندونزی	۱/۰۲۹	۱/۰۲۳	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۴۲	۱/۰۰۲	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۱۱	۱/۰۲۰	۱/۰۱۲
الجزایر	۰/۹۵۸	۱/۲۰۵	۱/۵۱۱	۰/۷۵۸	۱/۰۱۳	۰/۸۹۶	۰/۷۶۱	۱/۰۰۲	۰/۹۹۷	۱/۰۵۳	۱/۱۶۹	۱/۰۲۸
اکوادور	۱/۰۶۳	۱/۰۳۳	۱/۴۴۳	۰/۷۷۰	۱/۰۴۶	۱/۰۲۸	۰/۸۶۴	۱/۰۵۰	۱/۰۲۸	۱/۱۲۹	۰/۹۹۶	۱/۰۴۱
ایران	۱/۱۰۰	۱/۰۱۸	۱/۸۳۹	۰/۷۹۴	۱/۰۴۶	۰/۹۹۹	۰/۸۴۱	۱/۰۳۳	۱/۰۲۳	۱/۱۴۷	۰/۹۹۳	۱/۰۷۶
بلغارستان	۱/۱۶۹	۱/۰۱۷	۱/۷۹۲	۰/۷۶۱	۱/۰۳۴	۰/۹۶۳	۰/۸۵۷	۱/۰۳۵	۱/۰۱۹	۱/۱۱۸	۱/۰۰۴	۱/۰۷۰
بنگلادش	۱/۱۶۰	۱/۰۱۳	۱/۳۵۴	۰/۷۵۶	۱/۰۲۲	۰/۹۲۵	۱/۸۱۵	۱/۰۳۶	۱/۰۲۰	۱/۱۳۰	۰/۹۹۹	۱/۰۲۲
پاراگوئه	۱/۰۳۸	۱/۰۳۹	۱/۷۵۲	۰/۷۸۳	۱/۰۱۶	۰/۹۵۵	۰/۸۳۴	۱/۰۳۲	۱/۰۱۹	۱/۰۰۶	۰/۹۹۹	۱/۰۵۲
تاجیکستان	۱/۰۷۰	۱/۰۳۱	۱/۷۹۰	۰/۸۰۴	۱/۰۲۹	۰/۹۸۶	۰/۸۷۳	۱/۰۳۴	۱/۰۱۷	۱/۱۱۷	۱/۰۰۳	۱/۰۶۸
تانزانیا	۱/۰۶۰	۱/۰۳۵	۱/۳۰۹	۰/۸۰۶	۱/۰۰۱	۰/۹۶۱	۰/۸۶۰	۱/۰۲۹	۱/۰۱۹	۱/۱۱۸	۰/۹۹۷	۱/۰۱۸
رومانی	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۳۳۶	۰/۷۶۸	۱/۰۳۳	۱/۲۷۵	۱/۱۰۱	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۷۷	۱/۰۰۰	۱/۰۵۴
فراقستان	۱/۰۵۸	۱/۰۳۵	۱/۶۹۴	۰/۷۷۶	۱/۰۲۶	۰/۹۲۹	۰/۸۱۵	۱/۰۳۵	۱/۰۲۴	۱/۱۴۰	۰/۹۹۸	۱/۰۴۸
کلمبیا	۱/۰۶۱	۱/۰۱۰	۲/۱۴۳	۰/۷۶۰	۱/۰۱۶	۱/۰۱۱	۰/۸۸۵	۱/۰۲۸	۱/۰۱۵	۱/۰۹۱	۱/۰۰۲	۱/۰۹۳
کاستاریکا	۱/۰۴۳	۱/۰۳۸	۱/۷۳۶	۰/۸۱۴	۱/۰۱۳	۰/۹۶۴	۰/۸۵۸	۱/۰۳۵	۱/۰۰۵	۱/۰۵۳	۰/۹۹۸	۱/۰۵۱
کامرون	۱/۱۹۲	۱/۰۰۷	۱/۷۰۳	۰/۷۵۹	۱/۰۰۵	۰/۹۳۲	۰/۸۴۲	۱/۰۵۱	۰/۹۳۱	۱/۰۵۸	۱/۰۶۲	۱/۰۴۹
لهستان	۱/۰۱۷	۱/۰۰۰	۱/۴۱۹	۱/۰۰۰	۱/۳۹۴	۱/۴۲۳	۱/۱۰۳	۱/۲۴۵	۱/۲۰۵	۱/۱۴۲	۰/۹۹۵	۱/۱۷۷
مالزی	۱/۰۴۶	۱/۰۳۹	۱/۷۶۱	۰/۸۰۳	۰/۹۸۳	۰/۹۸۰	۰/۸۴۳	۱/۰۳۶	۱/۰۱۲	۱/۰۹۱	۰/۹۹۶	۱/۰۵۴
مکزیک	۱/۰۴۸	۱/۰۳۷	۱/۸۵۲	۰/۷۷۲	۱/۰۰۶	۰/۹۲۴	۰/۸۱۴	۱/۰۳۳	۱/۰۲۸	۱/۱۵۹	۰/۹۹۲	۱/۰۵۱
نیجریه	۱/۰۵۶	۱/۰۲۸	۱/۸۷۶	۰/۷۶۲	۱/۰۵۵	۰/۹۵۸	۰/۸۵۶	۱/۰۳۶	۱/۰۲۳	۱/۱۳۱	۰/۹۹۸	۱/۰۷۱
ونزوئلا	۱/۰۸۹	۰/۹۸۴	۱/۳۶۹	۱/۰۰۰	۰/۸۶۳	۰/۹۷۲	۰/۸۷۳	۱/۰۸۱	۱/۰۳۵	۱/۱۵۹	۰/۹۹۱	۱/۰۳۸
میانگین سالیانه	۱/۰۷۸	۱/۰۳۳	۱/۵۶۷	۰/۸۸۷	۱/۰۶۰	۱/۰۲۸	۰/۹۰۹	۱/۰۴۷	۱/۰۲۳	۱/۰۹۵	۱/۰۰۸	۱/۰۶۷

منبع: محاسبات تحقیق