فصل‌نامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی/ سال دوازدهم / شماره ۴۹/ تابستان ۱۳۹۵/ صفحات ۲۲۴-۲۰۱

# اندازه‌گیری کارایی و پتانسیل صرفه‌جویی در مصرف انرژی در کشورهای آسیا: تحلیل مرز تصادفی

**وحید شهابی نژاد**

**عضو هیأت علمی دانشکده مدیریت و اقتصاد بافت، دانشگاه شهید باهنر کرمان،**

**v.shahabinejad@uk.ac.ir**

**تاریخ دریافت: ۹۴/۰۴/۳۱ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۲۰**

## چکیده

در این مطالعه کارایی کل عامل انرژی (TFEE) و پتانسیل صرفه‌جویی انرژی (EC) ۳۷ کشور آسیایی با استفاده از مدل مرز تصادفی انرژی- نهاده، بر پایه تابع تولید ترانسلوگ در دوره ۲۰۱۱-۱۹۸۰، اندازه گیری شده است. نتایج در سال ۲۰۱۱ نشان می‌دهد که کشورهای سریلانکا، ماکائو، ویتنام، فیلیپین و هند بهترین عملکرد و کویت، قطر و بحرین بدترین عملکرد را در کارایی انرژی داشته‌اند. همچنین نتایج مربوط به برآورد پتانسیل صرفه‌جویی در مصرف انرژی نشان می‌دهد که مجموع پتانسیل صرفه‌جویی انرژی این کشورها ۲۷۳۳.۳۴ میلیون تن معادل نفت خام (Mtoe) است که حدود ۴۰ درصد کل مصرف انرژی این کشورها می‌باشد. در ایران میزان کارایی انرژی ۰/۴۵ می‌باشد که ما را در رده بیستم بین این کشورها قرار می‌دهد، همچنین میزان پتانسیل صرفه‌جویی انرژی در کشور ۱۳۱.۲۱ میلیون تن معادل نفت خام برآورد شده، که از کل مصرف انرژی ۲۹ کشور از جمله پاکستان، ترکیه، سنگاپور و مالزی بیشتر و از کشورهای چین، هند، روسیه و ژاپن کمتر می‌باشد. به‌طور کلی می‌توان گفت، ظرفیت بالایی برای بهبود کارایی انرژی در ایران و اغلب کشورهای آسیایی وجود دارد.

**طبقه بندی JEL:** N75, O13, O47, Q47, Q49

**کلید واژه‌ها:** کارایی کل عامل انرژی، پتانسیل صرفه‌جویی در مصرف انرژی، مدل مرز تصادفی انرژی- نهاده، کشورهای آسیا

**۱- مقدمه**

در سال‌های اخیر تغییرات آب و هوایی به طور فزاینده‌ای افزایش یافته است که عامل اصلی آن، انتشار فزاینده گازهای گلخانه‌ای در اثر مصرف سوخت‌های فسیلی می‌باشد. بهبود کارایی انرژی یکی از راه‌های مقرون به صرفه جهت مبارزه با تغییرات آب و هوایی است (آنگ و همکاران[۱]، ۲۰۱۰؛ لین و دو[۲]، ۲۰۱۴). به این ترتیب ارزیابی کارایی انرژی توجه زیادی را به خود جلب نموده و تعداد تحقیقات در این زمینه افزایش یافته است. به‌طور کلی در ادبیات موضوعی تحقیق دو طبقه بندی کلی از شاخص‌های کارایی انرژی وجود دارد: شاخص‌های کارایی جزئی عامل انرژی (PFEE[۳]) و کارایی کل عامل انرژی (TFEE[۴]). شاخص‌های PFEE به شکل رابطه‌های نسبی بین نهاده انرژی و تولید تعریف می‌شوند. شدت انرژی (نسبت نهاده انرژی به تولید) و بهره‌وری انرژی (نسبت تولید به نهاده انرژی) دو شاخص شناخته شده PFEE هستند (پترسون[۵]، ۱۹۹۶؛ نل و ونزیل[۶]، ۲۰۱۰؛ برنت[۷]، ۱۹۹۹). محققان مختلفی (برای مثال، چوی و همکاران[۸]، ۱۹۹۵؛ انگ و ژانگ[۹]، ۲۰۰۰؛ انگ و لیو[۱۰]، ۲۰۰۱؛ وانگ[۱۱]، ۲۰۰۷) در زمینه مکانیسم تغییرات PFEE تحقیق کرده‌اند. به‌دلیل سادگی، شاخص‌های PFEE در عمل به‌طور وسیعی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به عنوان مثال لین و مبارک[۱۲] (۲۰۱۴) و لین و وانگ (۲۰۱۴)، به ترتیب، از روش هم انباشتگی برای تحلیل عوامل مؤثر بر تغییرات شدت انرژی در صنعت کاغذ و بخش آهن و فولاد چین، استفاده نموده‌اند. از طرفی به‌دلیل اینکه شاخص‌های PFEE سایر نهاده‌های تولیدی (نیروی کار و سرمایه) را در محاسبه کارایی انرژی لحاظ نمی‌کنند، در مطالعات اخیر (بوید[۱۳]، ۲۰۰۸؛ هو و وانگ[۱۴]، ۲۰۰۶؛ استرن[۱۵]، ۲۰۱۲) مورد نقد واقع شده‌اند. جدا از شاخص‌های PFEE، شاخص‌های

1- Ang et al.
2- Lin and Du
3- partial factor energy efficiency
4- total factor energy efficiency
5- Patterson
6- Nel and Van Zyl
7- Berndt
8- Choi et al
9- Ang and Zhang
10- Ang and Liu
11- Wang
12- Lin and Moubarak
13- Boyd
14- Hu and Wang
15- Stern

TFEE، در یک چارچوب چند-عاملی[1] به شکل نسبت مصرف بهینه به‌میزان واقعی نهاده انرژی تعریف می‌شوند. ایده شاخص‌های TFEE بر اساس نظریه تولید نئوکلاسیک می‌باشد. به‌طور کلی دو روش جهت تخمین شاخص‌های TFEE وجود دارد: روش تحلیل فراگیر داده‌ها (DEA[2]) و روش مرز تصادفی(SFA[3]). DEA یک روش ناپارامتریک می‌باشد که از تکنیک برنامه‌ریزی خطی جهت تخمین مرز استفاده می‌کند و در آن تحمیل فرم تابع بر روی مرز، مورد نیاز نیست. استفاده از روش DEA جهت تخمین کارایی انرژی، به لحاظ محاسباتی ساده است و می‌توان از مشخصات نادرست احتمالی مدل صرف نظر کرد. از این جهت، روش DEA در تخمین کارایی انرژی طرفداران زیادی دارد. تحقیقات وی و همکاران[4] (۲۰۰۷)، زو و انگ[5] (۲۰۰۸)، خوشنویسان و همکاران[6] (۲۰۱۳)، ژائو و همکاران[7] (۲۰۱۴)، وو و همکاران[8]، (۲۰۱۲) و سیو و همکاران[9] (۲۰۱۴)، مطالعاتی از این دست است. علیرغم امتیازهای روش DEA، اثر جزء اخلال آماری در این روش لحاظ نمی‌شود. بنابراین نتایج مطالعات تجربی با استفاده از مدل‌های DEA به خاطر حساسیت به نقاط پرت و خطای اندازه گیری داده‌ها مورد انتقاد قرار گرفته است (سیمار[10]، ۲۰۰۳). به این دلیل اخیرا محققان روش SFA را جهت تخمین TFEE توصیه می‌کنند. به عنوان مثال می‌توان به مطالعات باک و یانگ[11](۲۰۰۷)، ژو و همکاران[12] (۲۰۱۲)، لین و وانگ (۲۰۱۴) و رحمان و حسن[13](۲۰۱۴)، اشاره کرد. به هر حال پس از اولین بحران نفتی در سال ۱۹۷۳، بسیاری از کشورهای توسعه یافته اقداماتی در زمینه بهبود بهره‌وری انرژی انجام داده‌اند (گیلر و همکاران[14]، ۲۰۰۷). اخیرا شورای اروپا اهدافی را مطرح کرده که به اهداف ۲۰/۲۰/۲۰ معروف شده‌اند (شورای اتحادیه اروپا، ۲۰۰۷، هونما و هو، ۲۰۱۴) و عبارتند از:

1- multi-factor
2- data envelopment analysis
3- stochastic frontier analysis
4- Wei et al
5- Zhou and Ang
6- Khoshnevisan et al
7- Zhao et al
8- Wu et al
9- Cui et al
10- Simar
11- Buck and Young
12- Zhou et al
13- Rahman and Hasan
14- Celler et al

- کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG[1]) به میزان ۲۰ درصد از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰.

- افزایش کارایی انرژی جهت کاهش مصرف انرژی اتحادیه اروپا به میزان ۲۰ درصد تا سال ۲۰۲۰.

- اطمینان از دستیابی به سهم۲۰ درصدی انرژی تجدیدپذیر از کل مصرف انرژی اتحادیه اروپا تا سال ۲۰۲۰.

به نظر می‌رسد کارایی انرژی تنها فاکتور در این اهداف است که انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش، ثبات انرژی را بهبود، هزینه‌های انرژی را کاهش و رقابت اقتصادی را افزایش خواهد داد. از اینرو کارایی انرژی می‌تواند به‌عنوان بزرگترین منبع انرژی در اروپا در نظر گرفته شود (اتحادیه اروپا، ۲۰۱۱، هونما و هو، ۲۰۱۴). این قاعده در سایر کشورها، مخصوصا کشورهای در حال توسعه نیز و اگرچه مصرف انرژی به عنوان یکی از منابع رشد و توسعه اقتصادی مطرح است و رابطه مثبت رشد اقتصادی و مصرف انرژی تایید شده، اما مصرف انرژی منبع بزرگی برای تولید گازهای گلخانه‌ای و مشکلات زیست محیطی می‌باشد (ساری و سویتاس[2]، ۲۰۰۹؛ هرینگ[3]، ۱۹۹۹). از اینرو با توجه به فشارهای وارده بر محیط زیست در روند رشد و توسعه اقتصادی، بایستی حد متعادل مصرف انرژی را پیدا نمود که پیش زمینه آن نیز شناخت وضع موجود است. این شناخت از طریق جمع آوری آمار، اطلاعات و محاسبه کارایی انرژی حاصل می‌شود. از اینرو در ادامه ضمن بیان مختصری از روش تحلیلی مرز تصادفی، مبانی نظری مربوط به تابع مسافت نهاده انرژی تشریح شده و سپس ضمن اشاره به مطالعات صورت گرفته، با توضیح داده‌ها و متغیرهای تحقیق به محاسبه و مقایسه شاخص TFEE در کشورهای منتخب آسیا خواهیم پرداخت.

## ۲- روش شناسی تحقیق

در این بخش به روش SFA به‌صورت مختصر توضیح داده خواهد شد. به‌طور کلی، تابع تقاضا در اقتصاد نئوکلاسیک بدون در نظر گرفتن فروض شکست بازار، تحت فرض حداکثرسازی سود یا حداقل سازی هزینه به‌دست می‌آید. پاپ و چاواز[4] (۱۹۹۴)

1- greenhouse gas
2- Sari and Soytas
3- Herring
4- Popp and Chavas

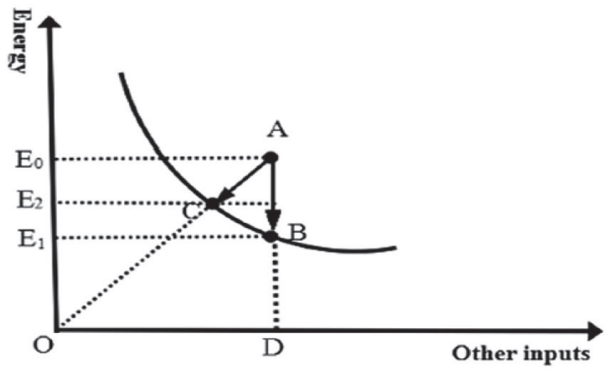
معتقدند اگر عواملی نظیر اثرات خارجی، قیمت‌های تنظیم شده و بازار رقابت ناقص فرض فوق را از درجه اعتبار ساقط کنند، تابع تقاضای به‌دست آمده اریب و متناقض خواهد بود. معمولا دولت‌ها دست به اصلاح و تعدیل قیمت حامل‌های انرژی می‌زنند، از این جهت قیمت پرداخت شده انرژی به‌وسیله مصرف کننده معمولا کمتر از قیمت رقابت کامل است. شکاف بین قیمت بازار و قیمت واقعی ایجاد شده به‌وسیله هزینه و مکانیسم قیمت‌گذاری، با یارانه دولت حذف می‌شود. همچنین قیمت بازاری سوخت‌های فسیلی، هزینه‌های زیست محیطی و هزینه‌های بین نسلی را منعکس نمی‌کند. به‌عنوان مثال، دولت چین مداخله در بازار زغال سنگ را کنار گذاشت و در حال حاضر قیمت زغال سنگ توسط عرضه و تقاضای بازار تعیین می‌شود، هرچند که قیمت بازاری آن به‌دلیل شکست بازار، اثر جانبی آلودگی هوا را منعکس نمی‌کند. انحراف در قیمت‌های انرژی، انتقال اطلاعات بازار به تولید کننده انرژی را دچار مشکل می‌کند و در نهایت منجر به اختلال در رفتار تولیدکننده می‌شود، به عبارت دیگر، ممکن است تولیدکنندگان بیش از حد از زغال‌سنگ، نفت، گاز و برق استفاده نمایند. استفاده بیش از حد از انرژی به معنای ناکارایی در تولید است که موجب اختلال در فرض حداکثرسازی سود یا حداقل سازی هزینه می‌شود. جهت کمی سازی کارایی تولید، دبرو[1] (۱۹۵۱) اندازه گیری کارایی تکنیکی ستاده-گرا[2] و فارل[3](۱۹۵۷) اندازه گیری کارایی فنی نهاده-گرا[4] را پیشنهاد نمودند. این دو کارایی فنی تحت عنوان کارایی دبرو-فارل شناخته شده است (کمب هاکار[5]، ۲۰۰۰). لاول و همکاران[6] (۱۹۹۴) نشان دادند کارایی فنی دبرو- فارل معکوس توابع مسافت نهاده و ستاده پیشنهاد شده توسط شفرد[7] (۱۹۷۰) است که برای اولین بار تابع مسافت نهاده را به شکل زیر معرفی نمود:

$$D_I(y,x)=\max\left\{\lambda:\frac{x}{\lambda}/\lambda\in L^t(y)\right\} \qquad (۱)$$

که در آن $L^t(y)$ مجموعه تکنولوژی، x بردار نهاده‌ها و y بردار ستاده‌ها می‌باشند. فرمول نشان می‌دهد که در زمان t با بردارهای ستاده y داده شده و تکنولوژی موجود، بردارهای نهاده x با بزرگترین نسبت کاهش یافته‌اند؛ به عبارت دیگر تابع مسافت نهاده

1- Debreu
2- output-oriented
3- Farrell
4- input-oriented
5- Kumbhakar
6- Lovell
7- Shepahard

انرژی شفرد، حداکثر کاهش نهاده انـرژی را بـا یـک سـطح تکنولـوژی مشـخص نشـان می‌دهد، در حالی‌که سایر نهاده‌ها و ستاده ثابت می‌باشند. این ایـده در نمـودار ۱ نشـان داده شده است. واحد تصمیم گیر A که خارج از منحنی تولید یکسان قـرار دارد بیـانگر مصرف مازاد انرژی می‌باشد، این واحد با کاهش مصرف انرژی از $E_0$ به $E_1$ می‌توانـد بـه نقطه B روی مرز تولید برسد. بنابراین مقدار تابع مسافت نهاده انـرژی شـفرد بـا نسـبت $AD/AB$ محاسبه می‌شود (لین و دو، ۲۰۱۴).




**شکل ۱- شرح گرافیکی تابع مسافت انرژی شفارد**

با توجه بـه تـابع مسـافت نهـاده انـرژی شـفارد، بـرای هـر سـتاده شـدنی خـواهیم داشت، $D_I(y,x) \geq 1$. اگر $D_I(y,x) = 1$، نقطه $(x,y)$ روی مرز تولید قرار دارد و نشان می‌دهد که فرایند تولید به لحاظ فنی کاراست. لاول و همکاران (۱۹۹۴) نشان دادند که تابع مسافت نهاده دارای خاصیت همگنی خطی می‌باشد. یعنی تابع مسافت نهاده نسبت به نهاده‌ها همگن از درجه یک می‌باشد:

$$D(\lambda x, y, t) = \lambda D(x, y, t) \qquad \forall \lambda > 0 \qquad (۲)$$

با توجه به تابع مسافت نهاده فوق، ژو و همکاران (۲۰۰۸) تابع مسافت زیر- برداری[1] را برای نهاده انرژی پیشنهاد کردند:

$$D_E(K_{it}, L_{it}, E_{it}, Y_{it}) = \sup[\alpha: \left(K_{it}, L_{it}, \frac{E_{it}}{\alpha}, Y_{it}\right) \in T, T \qquad (۳)$$
$$= \{(K_{it}, L_{it}, E_{it}, Y_{it}) : (K_{it}, L_{it}, E_{it},) \text{ can produce } Y_{it}\}]$$

1- Sub-vector

اگر $\alpha = E_{it}$ قرار دهیم،

$$\ln D(K_{it}, L_{it}, E_{it}, Y_{it}, T) = \ln(E) + \ln D\left(\frac{K_{it}}{E_{it}}\frac{L_{it}}{E_{it}}, 1, Y_{it}, T\right) \quad (۴)$$

کولی و پرلمان[1] (۱۹۹۹) یک تابع مسافت چندنهاده و چندستاده را بر پایه تابع تولید ترانسلوگ پایه‌گذاری کردند، این مقاله تابع مسافت چندنهاده و چندستاده را به یک تابع مسافت چندنهاده و تک ستاده، ساده کرده است.

$$\begin{aligned}\ln D(K_{it}, L_{it}, E_{it}, Y_{it}, T) &= \beta_0 + \beta_Y \ln Y_{it} + \beta_E \ln E_{it} + \beta_L \ln L_{it} + \beta_K \ln K_{it} + \\ &\beta_t T + \beta_{EE} \ln E_{it} \times \ln E_{it} + \beta_{EL} \ln E_{it} \times \ln L_{it} + \beta_{EK} \ln E_{it} \times \ln K_{it} + \beta_{LL} \ln L_{it} \times \\ &\ln L_{it} + \beta_{LK} \ln L_{it} \times \ln K_{it} + \beta_{KK} \ln K_{it} \times \ln K_{it} + \beta_{EY} \ln E_{it} \times \ln Y_{it} + \\ &\beta_{LY} \ln L_{it} \times \ln Y_{it} + \beta_{KY} \ln K_{it} \times \ln Y_{it} + \beta_{YY} \ln Y_{it} \times \ln Y_{it} + \beta_{TL} T \ln L_{it} + \\ &\beta_{TE} T \ln E_{it} + \beta_{TK} T \ln K_{it} + \beta_{TY} T \ln Y_{it} + \beta_{tt} T \times T + \vartheta_{it} \quad (۵)\end{aligned}$$

$\vartheta_{it}$ یک متغیر تصادفی از جزء اخلال آماری و خطای تقریب می‌باشد.

با توجه به باتیز و کول (۱۹۹۲) و قرار دادن $\ln D(K_{it}, L_{it}, E_{it}, Y_{it}, T) = u_{it}$؛

$$u_{it} = \ln D(K_{it}, L_{it}, E_{it}, Y_{it}, T) = \ln(E_{it}) + \ln D\left(\frac{K_{it}}{E_{it}}\frac{L_{it}}{E_{it}}, 1, Y_{it}, T\right) \quad (۶)$$

از این‌رو

$$\begin{aligned}-\ln(E_{it}) &= \ln D\left(\frac{K_{it}}{E_{it}}\frac{L_{it}}{E_{it}}, 1, Y_{it}, T\right) - u_{it} = \beta_0 + \beta_Y \ln Y_{it} + \beta_l \ln l_{it} \quad (۷) \\ &+\beta_k \ln k_{it} + \beta_t T + \beta_{ll} \ln l_{it} \times \ln l_{it} + \beta_{lk} \ln l_{it} \times \ln k_{it} + \beta_{kk} \ln k_{it} \times \ln k_{it} \\ &+\beta_{lY} \ln l_{it} \times \ln Y_{it} + \beta_{kY} \ln k_{it} \times \ln Y_{it} + \beta_{YY} \ln Y_{it} \times \ln Y_{it} + \beta_{Tl} T \ln l_{it} \\ &+\beta_{Tk} T \ln k_{it} + \beta_{TY} T \ln Y_{it} + \beta_{tt} T \times T + \vartheta_{it} - u_{it}\end{aligned}$$

در رابطه فوق، $k_{it} = K_{it}/E_{it}$, $l_{it} = L_{it}/E_{it}$ می‌باشند.

شرایط همگنی خطی برای k و l به صورت زیر می‌باشند:

$$\begin{aligned}&\beta_l + \beta_k = 0; \\ &\beta_{il} + \beta_{ik} = 0; \\ &\beta_{ly} + \beta_{ky} = 0; \\ &\beta_{Tl} + \beta_{Tk} = 0; \quad (۸) \\ &E_{it} = f(k_{it}, l_{it}, Y_{it}, T)\exp^{\vartheta_{it} - u_{it}}\end{aligned}$$

1- Coelli and Perelman

تابع فوق یک مدل SFA انرژی-نهاده[1] می‌باشد که در آن $E_{it}$ میزان واقعی نهاده انرژی، $f(k_{it}, l_{it}, Y_{it}, T)$ تابع تقاضای مشتق شده انرژی بر حسب تولید فنی است. همان‌طورکه در رابطه (۷) مشاهده می‌شود دو جزء اخلال $\vartheta_{it}$ و $\mu_{it}$ وجود دارد که بیانگر انحراف نقاط مشاهده شده از مرز تولید هستند. جزء اخلال $\mu_{it}$ نشان دهنده میزان ناکارایی انرژی یا فاصله از مرز تولید است که بنا به تعریف کارایی، غیرمنفی و دارای توزیعی یکطرفه می‌باشد و نیز فرض می‌شود، $u_{it} \sim N(\mu, \sigma_u^2)$، مستقل از جزء اخلال $\vartheta_{it}$ در مدل است. $\vartheta_{it}$ جزء اخلال معمولی و عوامل خارج از کنترل واحد تولیدی نظیر خطاهای اندازه گیری یا تأثیر متغیرهای غیر مهم کنار گذاشته شده از مدل را اندازه می‌گیرد. فرض بر این است که این جزء اخلال دارای توزیع مستقل دوطرفه نرمال با امید ریاضی صفر و واریانس ثابت $\sigma_\vartheta^2$ است $\vartheta_{it} \sim N(0, \sigma_v^2)$. همان‌طورکه گفته شد ناکارایی از مشخصه های اصلی مدل مرزی تصادفی است، بر این اساس پارامتربندی‌های مختلفی برای آن صورت گرفته است. اگر ناکارایی در طول زمان تغییر کند مدل مرز تصادفی به مدل ناکارای متغیر با زمان معروف است. از مهم‌ترین پارامتربندی های ناکارایی بر اساس زمان، مدل باتیز و کول[2](۱۹۹۲) می‌باشد که در زیر به آن پرداخته شده است. در صورتی که ناکارایی در طول زمان تغییر نکند مدل از نوع ناکارای نا متغیر با زمان خواهد بود. در هر دو مدل یاد شده جزء ناکارایی به صورت پیش فرض دارای توزیع نرمال منقطع است با این وجود امکان آزمون سایر توزیع های یک‌طرفه نظیر توزیع نیمه نرمال و توزیع نمایی نیز وجود دارد.

رابطه (۷) با استفاده از روش حداکثر راستنمایی برآورد می‌شود، بدین صورت که ابتدا تابع حداکثر راستنمایی برای مدل ناکارای متغیر با زمان نوشته می‌شود و با فرض توزیع نرمال منقطع برای جزء ناکارایی، برآوردهای مربوط به پارامترهای تابع و اجزاء اخلال به‌دست می‌آید. با حداکثرسازی تابع راستنمایی و برآورد مدل (۷) علاوه بر ضرایب $\sigma_v^2$ و $\sigma_\mu^2$، ضرایب $\eta$، $\mu$ و $\gamma$ نیز تخمین زده می‌شوند. پارامتر $\eta$ در واقع نرخ تغییرات ناکارایی است که در پارامتربندی جزء ناکارایی توسط باتیز و کول به صورت زیر ظاهر می‌شود (شهابی نژاد و همکاران، ۲۰۱۳).

$$u_{it} = u_i \eta_t = u_i \exp(-\eta[t - T]), t \in t(i) \qquad (۹)$$

1- Energy-input SFA model
2- Battese and Coelli

در رابطه فوق $T$ دوره آخر در پانل $i$ام، $\eta$ نرخ تغییر در ناکاریی، $u_{it}$، متغیرهای تصادفی غیر منفی و $i.i.d$ هستند که بیانگر ناکارایی کشور $i$ام در تولید بوده و فرض بر این است که دارای توزیع نرمال منقطع به صورت $N(u,\sigma_u^2)$ می‌باشند. $t(i)$، مجموعه‌ای از دوره‌های $T$ بوده و ممکن است شامل تمامی دوره‌ها یا زیرمجموعه ای از آنها باشد (پیرس و گارسیا[1]، ۲۰۰۴). چنانچه $\eta$ از لحاظ آماری صفر باشد، در اینصورت ناکارایی در طول زمان تغییر نخواهد کرد و به آن ناکارایی ایستا گفته می‌شود. اگر $\eta$ مثبت باشد، عبارت $-\eta[t-T]=\eta[T-t]$ نیز برای $t<T$ مثبت بوده و خواهیم داشت؛ $-\eta[t-T]>1$ که دلالت بر این دارد که ناکارایی در طول زمان با شیب فزاینده در حال کاهش است و به عبارت دیگر کارایی با نرخ کاهنده در حال افزایش می‌باشد. اگر $\eta$ منفی باشد، آنگاه $-\eta[t-T]<0$ و ناکارایی در طول زمان با نرخ کاهنده در حال افزایش می‌باشد و یا اینکه کارایی با نرخ فزاینده در حال کاهش می‌باشد (لیائو و همکاران[2]، ).

پارامترهای $\gamma={\sigma_u^2}/{\sigma_s^2}$ و $\mu$ نیز به ترتیب معنی داری جزء ناکارایی و پیش فرض توزیع نرمال منقطع برای جزء ناکارایی مدل را ارزیابی می‌کنند. $\gamma$ مقداری بین صفر و یک دارد و معنی‌دار نبودن آن به مفهوم این است که جزء ناکارایی از مدل حذف و مدل به یک مدل اقتصادسنجی معمولی تبدیل می‌شود. معنی‌دار نشدن $\mu$ نیز به این معناست که پیش فرض توزیع نرمال منقطع پیش فرض مناسبی برای جزء ناکارایی نمی‌باشد (استاتا کارپ[3]، ۲۰۰۹).

در کارایی دبرو فارل یک مرز به عنوان معیار در نظر گرفته می‌شود. در یک سطح ستاده $Y_{it}$ در زمان $t$، شکاف بین نهاده انرژی واقعی و نهاده انرژی روی مرز، نشان دهنده مصرف بیش از حد انرژی و عامل ناکارایی فنی می‌باشد. با جدا کردن جزء ناکارا از خطای مرکب $\vartheta_{it}-u_{it}$، می‌توان کارایی نهاده انرژی را به شکل زیر به‌دست آورد:

$$EIE_{it}=\frac{E(E_{it}|u_{it}=0,k_{it},l_{it},Y_{it},T)}{E(E_{it}|u_{it}\neq 0,k_{it},l_{it},Y_{it},T)}=\exp(-u_{it}) \qquad (۱۰)$$

با توجه به معادله کارایی نهاده انرژی فوق، می‌توان پتانسیل صرفه‌جویی در مصرف را برای هر یک از واحدهای مورد تحقیق به‌دست آورد:

1- Pires and Garcia
2- Liao et al
3- Statacorp

$$EC=E(E_{it})*(1-EIE_{it}) \quad (۱۱)$$

در رابطه فوق $E(.)$ بیانگر امید شرطی، $E_{it}$ $EI$ کارایی نهاده انرژی و $EC$ پتانسیل صرفه‌جویی انرژی می‌باشند.

## ۳- مروری بر مطالعات انجام شده

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه کارایی انرژی صورت گرفته که در ادامه به تعدادی از آنها اشاره خواهد شد. هونما و هو (۲۰۱۴) سطح کارایی کل عامل انرژی صنعت ۱۴ کشور توسعه یافته را طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۵ با استفاده از روش DEA اندازه گیری نمودند. آنها در مطالعه خود از چهار نهاده نیروی کار، ذخیره سرمایه، انرژی و سایر نهاده‌های غیرانرژی واسطه‌ای و همچنین ارزش افزوده (به‌عنوان تنها ستاده) استفاده کرده‌اند. نتایج نشان‌دار که ژاپن می‌تواند در استفاده بهینه و نگهداشت انرژی موفق تر عمل کند، زیرا کارایی کل عامل انرژی در این کشور از ۰.۹۸۶ در سال ۱۹۹۵ به ۰.۹۲۷ در سال ۲۰۰۵ کاهش یافته است. در پایان نیز جهت بهبود وضعیت صنایع ناکارا در مصرف انرژی، استقرار تکنولوژی‌های صرفه‌جویی در مصرف انرژی از کشورهای موفق نظیر آلمان، انگلیس و آمریکا را پیشنهاد کرده‌اند. هونما و هو (۲۰۱۳) کارایی انرژی را برای ۱۷ بخش اقتصاد ژاپن طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۸ با استفاده از روش تحلیل فراگیر داده‌ها محاسبه کردند. در این مطالعه انرژی، نیروی کار و سرمایه به عنوان نهاده و ارزش افزوده هر بخش به عنوان تنها ستاده در نظر گرفته شده است. یافته‌های اصلی این تحقیق نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از ناکارآمدی انرژی در اقتصاد ژاپن، در صنایع انرژی بر نظیر کاغذ، شیمیایی، سیمان و سرامیک و فلزهای اصلی و همچنین بخش‌های کشاورزی، جنگلداری و شیلات، حمل ونقل و ارتباطات و تولیدات متفرقه وجود دارد. طبق نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، فضای زیادی جهت افزایش کارایی انرژی در بخش‌های صنعتی وجود دارد، همچنین برای ۸ بخش از صنایع انرژی بر، ناکارایی مصرف انرژی خیلی بیشتر از استفاده از سایر منابع است.

از دیگر مطالعات صورت گرفته در زمینه کارایی انرژی با روش تحلیل فراگیر داده‌ها می‌توان به مطالعه وانگ و همکاران (۲۰۱۲)، هو و وانگ (۲۰۰۶)، ژانگ و همکاران[1] (۲۰۱۱) اشاره کرد.

1- Zhang et al

اما در خصوص استفاده از روش SFA تعداد مطالعات صورت گرفته در زمینه کارایی انرژی کمتر بوده از جمله: لین و لانگ[1] (۲۰۱۴) به تحلیل کارایی و پتانسیل صرفه‌جویی انرژی در صنایع شیمیایی پرداختند، در این مطالعه از تابع تولید ترانس-لاگ استفاده شده و میانگین کارایی انرژی صنایع در سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۰۵، ۰/۶۸۹۷ به‌دست آمده است. علاوه بر این کارایی انرژی در شرق چین بالاتر از نواحی غربی و مرکزی برآورد شده است. همچنین متوسط پتانسیل صرفه‌جویی در مصرف انرژی در صنایع شیمیایی چین ۸۹/۴۲ میلیون تن معادل زغال‌سنگ، برآورد شده که پتانسیل در شرق چین بالاتر از سایر مناطق بوده است. در ادامه این تحقیق قیمت انرژی و مقیاس تشکیلات سازمانی از جمله عوامل مثبت در افزایش کارایی بوده در حالی‌که ساختار مالکیت اثر منفی در کارایی انرژی داشته است.

هو و هونما (۲۰۱۴) با استفاده از تحلیل مرز تصادفی کارایی کل عامل انرژی را برای ۱۰ صنعت در ۱۴ کشور توسعه یافته طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۵ محاسبه کردند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تقریبا بیشتر از نیمی از صنایع مورد بررسی تغییرات ناچیزی در روند ناکارایی دارند، با این حال صنایع ساخت و ساز، کاغذ و نساجی به‌طور معناداری افزایش ناکارایی (کاهش کارایی) داشته‌اند. همچنین تعداد زیادی از صنایع کشورهای OECD ظرفیت بالایی برای افزایش کارایی انرژی دارند. هونما و هو (۲۰۱۴) کارایی انرژی را در ۴۷ منطقه ژاپن طی دوره ۲۰۰۸-۱۹۹۶ با استفاده از مدل SFA پیشنهاد شده توسط ژو و همکاران (۲۰۱۲) اندازه‌گیری کردند. در این مدل که برخلاف روش DEA جزء اخلال آماری را نیز در نظر می‌گیرد، نتایج با هم مقایسه شده است و به‌طور معناداری میزان کارایی از هر دو روش با هم همبستگی دارند. میائو و جین[2](۲۰۱۴) با یک مدل مرز تصادفی و در چارچوب کلیه عوامل، کارایی انرژی منطقه‌ای[3] را در چین اندازه‌گیری کردند. در این مطالعه از داده‌های پانل مربوط به ۲۹ استان طی دوره ۲۰۰۹-۲۰۰۰ استفاده شده و نتایج نشان می‌دهد وضعیت معمول رشد اقتصادی در تمامی مناطق چین فزاینده بوده (بازدهی فزاینده نسبت به مقیاس) و قیمت بالای انرژی، مانع رشد اقتصادی بوده است. در این مطالعه محرک اصلی رشد بالای اقتصادی نهاده سرمایه و سپس نیروی کار و انرژی می‌باشند. کارایی انرژی استان‌ها طی دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ به‌طور مداوم در حال افزایش بوده و در سال

1- Lin and Long
2- Miao and Jin
3- regional energy efficiency

۲۰۰۹، به‌دلیل بحران مالی جهانی کارایی انرژی تعداد زیادی از استان‌ها کاهش یافته است. در مطالعه دیگری، اه و هیلدرس[1](۲۰۱۴) مدل‌های SFA و DEA را به منظور اندازه‌گیری اثر ابتکارهای کاهش مصرف انرژی در بهبود کارایی انرژی صنعت خودروسازی به کار گرفتند. در پایان نیز از آزمون‌های نسبت لگاریتم حداکثر راستنمایی[2] و ضریب همبستگی رتبه‌ای اپسیرمن[3] به‌منظور بررسی معنی‌داری مدل SFA و سازگاری آن با مدل DEA استفاده شده است.

## ۴- یافته های تحقیق

در این مطالعه از داده‌های مربوط به ۳۷ کشور آسیایی طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۰۷ استفاده شده است. در مدل در نظر گرفته شده از یک ستاده و سه نهاده استفاده شده است. تولید ناخالص داخلی به‌عنوان تنها خروجی و نهاده‌ها شامل نیروی کار، ذخیره سرمایه و انرژی می‌باشند. داده‌های مربوط به سه متغیر تولید ناخالص داخلی، نیروی کار و ذخیره سرمایه از پایگاه داده pwt قابل دسترس در www.ggdc.net/pwt و www.internationaldata.org به‌دست آمده‌اند تولید ناخالص داخلی و ذخیره سرمایه هر دو به قیمت‌های ثابت سال ۲۰۰۵ و بر اساس دلار آمریکا می‌باشند. داده‌های مربوط به انرژی نیز از گزارش (BP Statistical Review of World Energy, 2014) به‌دست آمده است.

**جدول ۱- خلاصه آمار ۳۷ کشور مورد مطالعه**

| مصرف انرژی | نیروی کار | ذخیره سرمایه | تولید ناخالص داخلی | |
|---|---|---|---|---|
| میلیون تن معادل نفت خام(Mtoe[4]) | تعداد افراد شاغل (میلیون نفر) | قیمت‌های ثابت ۲۰۰۵ (میلیون دلار) | قیمت‌های ثابت ۲۰۰۵ (میلیون دلار) | توضیحات آماری |
| ۱۰۳۴ | ۱۰۳۴ | ۱۰۳۴ | ۱۰۳۴ | تعداد مشاهدات |
| ۱۰٤,۳۷۲۲ | ٤٥,۲۹۳۷٦ | ۱٤٦۷۸۱۹ | ۵۱۷۵۹۰,۸ | میانگین |
| ۲٤٥,۳٦۳٦ | ۱۲۹,۹٦۰۵ | ۳۸٦٤۵۲۰ | ۱۲۱۵۹۱٤ | انحراف معیار |
| ۰,۳۸۱۵٦٤ | ۰,۰۹٦۳۰۹ | ۳۷۹۰,۳۹۳ | ۵۳۲٦,۲۷۸ | حداقل |
| ۲٦۱۳,۹۷۹ | ۷۸٤,٤۲٦۹ | ٤۵۲٦۱۲۰۸ | ۱۳۹۵٦۵۲۷ | حداکثر |

**منبع: یافته های تحقیق**

1- Oh and Hildreth
2- Log likelihood ratio
3- Spearman rank-order correlation coefficient
4- million ton oil equivalent

## نتایج

به منظور برآورد مدل از نرم افزار STATA11 کمک گرفته شده است. نتایج حاصل از تخمین مدل در جدول ۱ آمده است. قابل ذکر است که این نرم افزار امکان برآورد مدل های مرزی تصادفی در دو حالت مدل ناکارای متغیر با زمان و مدل ناکارای نامتغیر با زمان با فروض مربوط به جزء ناکارایی را دارد.

همان‌طورکه مشاهده می‌شود بیشتر ضرایب در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار هستند. خروجی نرم افزار شامل ۳ قسمت می‌باشد: قسمت اول مربوط به ضرایب تابع تولید و قسمت دوم شامل ضرایب $\mu$، $\eta$، lnsigma2 و ilgtgama می‌باشد که مربوط به جزء ناکارای مدل می‌شوند، از آنجا که به صورت پیش فرض توزیع نرمال منقطع برای جزء ناکارایی در نظر گرفته شده، $\mu$ میانگین توزیع نرمال منقطع برای جزء ناکارای مدل می‌باشد. همانگونه که مشاهده می‌شود این پارامتر به صورت معنی داری مخالف صفر است، بنابراین پیش فرض توزیع نرمال منقطع برای جزء ناکارایی در مقابل توزیع نیمه نرمال، فرض مناسبی می‌باشد. با توجه به این که $\eta$ در این رابطه نرخ تغییرات ناکارایی می‌باشد، در اینجا علامت مثبت $\eta$ به این معنی است که ناکارایی انرژی در طول زمان کاهش می‌یابد و به عبارت دیگر کارایی انرژی افزایش می‌یابد. Lnsigma2، لگاریتم طبیعی مجموع مجذور واریانس جزء اخلال های مدل بوده و از آنجا که $(\sigma^2 = \sigma_v^2 + \sigma_u^2)$ باید عددی مثبت باشد، بهینه سازی براساس $\text{Lnsigma2}=\ln\sigma^2$ صورت گرفته که در خروجی نرم افزار دیده می‌شود، همچنین به‌دلیل اینکه $\gamma = \sigma_u^2 / \sigma_s^2$ بایستی بین صفر و یک باشد بهینه‌سازی بر اساس معکوس لاجیت $\gamma$ [1] صورت گرفته است (استاتا کارپ، ۲۰۰۹، شهابی نژاد و همکاران، ۲۰۱۳). قسمت سوم جدول نیز اطلاعاتی در زمینه اجزاء اخلال مدل به‌دست می‌دهد، sigma2 همان مجموع واریانس های $u$ و $v$ است $(\sigma^2 = \sigma_v^2 + \sigma_u^2)$ و $\gamma$ نیز نسبت واریانس جزء ناکارایی به جزء اخلال مدل $(\vartheta_{it} - u_{it})$ می‌باشد.

1- Inverse logit of Gamma

**جدول ۲- شاخص بهره‌وری کل عامل انرژی در کشورهای منتخب**

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Time-varying decay inefficiency model | | | | Number of obs | | | 1034 |
| | | | | Number of groups | | | 37 |
| Group variable | | id | | Obs per group,min | | | 22 |
| Time variable | | t | | Average | | | 27.9 |
| | | | | Max | | | 32 |
| | | | | Wald chi2(14) | | | 5675.78 |
| Log likelihood | | 272.27498 | | Prob > chi2 | | | 0.0000 |
| symbol | $-l\ n(E_{it})$ | .Coef | .Std. Err | **Z** | **P > \|Z\|** | **[Conf. Interval %۹۵]** | |
| $\beta_0$ | **Constant** | 0.0738 | 0.0142 | 5.2000 | 0.0000 | 0.0460 | 0.1016 |
| $\beta_Y$ | l nY | -.07786 | .01829 | -4.26 | 0.0000 | -.11371 | -.04201 |
| $\beta_l$ | l nl | -.45134 | .04167 | -10.83 | 0.0000 | -.53303 | -.36965 |
| $\beta_k$ | l nk | -0.5283 | 0.2133 | -2.4800 | 0.0130 | -0.9464 | -0.1103 |
| $\beta_t$ | T | 0.0738 | 0.0142 | 5.2000 | 0.0000 | 0.0460 | 0.1016 |
| $\beta_{ll}$ | l nl* l nl | -0.0380 | 0.0119 | -3.1900 | 0.0010 | -0.0614 | -0.0146 |
| $\beta_{lk}$ | l nl* l nk | -0.1171 | 0.0196 | -5.9600 | 0.0000 | -0.1556 | -0.0786 |
| $\beta_{kk}$ | l nk* l nk | -0.0645 | 0.0132 | -4.8900 | 0.0000 | -0.0904 | -0.0387 |
| $\beta_{lY}$ | l nl* l nY | 0.0908 | 0.0264 | 3.4400 | 0.0010 | 0.0390 | 0.1426 |
| $\beta_{kY}$ | l nk* l nY | 0.1866 | 0.0349 | 5.3500 | 0.0000 | 0.1183 | 0.2550 |
| $\beta_{YY}$ | l nY* l nY | -0.1082 | 0.0254 | -4.2500 | 0.0000 | -0.1580 | -0.0583 |
| $\beta_{Tl}$ | Tl nl | 0.0118 | 0.0013 | 9.2000 | 0.0000 | 0.0093 | 0.0144 |
| $\beta_{Tk}$ | Tl nk | .00638 | .00099 | 6.42 | 0.0000 | .00443 | .00833 |
| $\beta_{TY}$ | Tl nY | -0.0136 | 0.0020 | -6.7800 | 0.0000 | -0.0176 | -0.0097 |
| $\beta_{tt}$ | T * T | 0.0003 | 0.0001 | 3.4100 | 0.0010 | 0.0001 | 0.0005 |
| | | | | | | | |
| mu | | 1.1784 | 0.1766 | 6.6700 | 0.0000 | 0.8322 | 1.5245 |
| eta | | 0.0090 | 0.0013 | 6.7800 | 0.0000 | 0.0064 | 0.0116 |
| lnsigma2 | | -0.5129 | 0.3157 | -1.6200 | 0.1040 | -1.1317 | 0.1058 |
| ilgtgamma | | 3.0296 | 0.3343 | 9.0600 | 0.0000 | 2.3744 | 3.6848 |
| | | | | | | | |
| sigma2 | | 0.5987 | 0.1890 | | | 0.3225 | 1.1116 |
| gamma | | 0.9539 | 0.0147 | | | 0.9149 | 0.9755 |
| sigma_u2 | | 0.5711 | 0.1890 | | | 0.2006 | 0.9416 |
| sigma_v2 | | 0.0276 | 0.0012 | | | 0.0252 | 0.0300 |

**منبع: یافته های تحقیق**

**جدول ۳- شاخص کارایی کل عامل انرژی، مصرف و پتانسیل ذخیره انرژی در ۳۷ کشور آسیایی**

| کشور | کد | کارایی کل عامل انرژی | رتبه | مصرف انرژی | پتانسیل ذخیره انرژی |
|---|---|---|---|---|---|
| ارمنستان | ARM | ۰,۳۱۲ | ۲۶ | ۵,۸ | ۳,۹۷ |
| آذربایجان | AZE | ۰,۲۲۶ | ۳۰ | ۱۴,۸ | ۱۱,۴۵ |
| بحرین | BHR | ۰,۰۶۶ | ۳۷ | ۱۳,۸ | ۱۲,۹۱ |
| چین | CHN | ۰,۷۱۲ | ۸ | ۲۶۱۴,۰ | ۷۵۲,۸۳ |
| هنگ کنگ | HKG | ۰,۷۱ | ۹ | ۳۲,۵ | ۹,۴۱ |
| هند | IND | ۰,۷۳۴ | ۷ | ۵۹۲,۲ | ۴۲,۳۹ |
| اندونزی | IDN | ۰,۸۷۲ | ۵ | ۱۵۹,۴ | ۴۲,۴ |
| ایران | IRN | ۰,۴۵۳ | ۲۰ | ۲۳۹,۹ | ۱۳۱,۲۱ |
| عراق | IRQ | ۰,۴۳۱ | ۲۱ | ۳۸,۲ | ۲۱,۷۶ |
| اردن | JOR | ۰,۳۲۵ | ۲۴ | ۷,۰ | ۴,۷۰ |
| ژاپن | JPN | ۰,۵۶۸ | ۱۱ | ۵۲۷,۴ | ۲۲۷,۸۶ |
| قزاقستان | KAZ | ۰,۱۹۴ | ۳۱ | ۶۹,۸ | ۵۶,۲۹ |
| قرقیزستان | KGZ | ۰,۲۹ | ۲۷ | ۶,۳ | ۴,۴۶ |
| کره جنوبی | KOR | ۰,۴۸۷ | ۱۷ | ۲۸۵,۲ | ۱۴۶,۳۲ |
| کویت | KWT | ۰,۱۳۱ | ۳۵ | ۳۷,۸ | ۳۲,۸۴ |
| لبنان | LBN | ۰,۵۲۶ | ۱۵ | ۷,۴ | ۳,۴۹ |
| سریلانکا | LKA | ۰,۹۸۷ | ۱ | ۶,۸ | ۰,۰۹ |
| ماکائو | MAC | ۰,۹۵۲ | ۲ | ۰,۸ | ۰,۰۴ |
| مغولستان | MNG | ۰,۴۸ | ۱۸ | ۲,۵ | ۱,۳۱ |
| مالزی | MYS | ۰,۵۲۹ | ۱۴ | ۷۸,۸ | ۳۷,۱۱ |
| عمان | OMN | ۰,۳۲۵ | ۲۳ | ۲۲,۳ | ۱۵,۰۵ |
| پاکستان | PAK | ۰,۵۶۸ | ۱۲ | ۶۴,۰ | ۲۷,۶۴ |
| فلسطین | PAL | ۰,۵۲۳ | ۱۶ | ۲۵,۲ | ۱۲,۰۰ |
| فیلیپین | PHL | ۰,۹۲۵ | ۴ | ۳۱,۸ | ۲,۳۸ |
| قطر | QAT | ۰,۱۲۹ | ۳۶ | ۳۶,۹ | ۳۲,۱۰ |
| روسیه | RUS | ۰,۱۹۳ | ۳۲ | ۷۹۵,۰ | ۶۴۱,۵۳ |

| کشور | کد | کارایی کل عامل انرژی | رتبه | مصرف انرژی | پتانسیل ذخیره انرژی |
|---|---|---|---|---|---|
| سعودی | SAU | ۰,۲٤ | ۲۹ | ۲۲۳,٤ | ۱٦۹,۸۰ |
| سنگاپور | SGP | ۰,۱۵۱ | ۳٤ | ۷٦,٦ | ٦۵,۰۰ |
| سوریه | SYR | ۰,٤ | ۲۲ | ۲۳,۷ | ۱٤,۲۰ |
| تایلند | THA | ۰,٦۸۸ | ۱۰ | ۱۲٤,۵ | ۳۸,۸۵ |
| تاجیکستان | TJK | ۰,۳۲۲ | ۲۵ | ۵,۰ | ۳,۳۸ |
| ترکمنستان | TKM | ۰,۲۸۲ | ۲۸ | ۲۸,۲ | ۲۰,۲٦ |
| ترکیه | TUR | ۰,۷۷ | ٦ | ۱۲۲,۰ | ۲۸,۰٦ |
| تایوان | TWN | ۰,٤٦۵ | ۱۹ | ۱۲۲,۷ | ٦۵,٦۲ |
| ازبکستان | UZB | ۰,۱٦۵ | ۳۳ | ۵۷,٤ | ٤۷,۹۳ |
| ویتنام | VNM | ۰,۹٤۲ | ۳ | ۵٦,۱ | ۳,۲۵ |
| یمن | YEM | ۰,۵۳۱ | ۱۳ | ۷,٦ | ۳,۵۵ |

**منبع: یافته های تحقیق**

به منظور تجزیه و تحلیل کارایی انرژی کشورهای آسیایی، ۹ طبقه بندی با توجه به مصرف و کارایی انرژی به شکل جدول ۳ صورت گرفته است. با توجه به این جدول میانگین مصرف انرژی در کشورهای آسیایی ۱۷۷/۴ و بیشترین و کمترین میزان مصرف انرژی با مقادیر ۲۶۱۴ و ۰/۸ به ترتیب مربوط به کشورهای چین و مغولستان می‌باشد. مصرف انرژی چین، به تنهایی بیشتر از مصرف سه کشور پر مصرف هند، روسیه و ژاپن و نیز بیشتر از نصف مصرف انرژی کل کشورهای آسیا می‌باشد، به همین دلیل محققان این کشور مطالعات زیادی در خصوص مصرف انرژی انجام داده‌اند. از میانگین (۱۷۷.۳۶) و انحراف معیار مصرف انرژی (۴۴۸/۴) برای ساختن ۳ سطح مصرف انرژی استفاده می‌شود. به این صورت که ابتدا حدود ۶۵/۳۵ (انحراف معیار*۰/۲۵+ میانگین) و ۲۸۹/۳۷ (انحراف معیار*۰/۲۵- میانگین) به‌دست آورده و سپس [**۶۵,۳۵-۰**] طبقه اول با مصرف انرژی پایین، [**۲۸۹,۳۷-۶۵,۳۵**] و [**۲۶۱٤-۲۸۹,۳۷**] طبقات دوم و سوم به ترتیب با مصرف انرژی متوسط و بالا در این جامعه آماری می‌باشند. از طرف دیگر میانگین کارایی انرژی در این کشورها ۰/۴۷۵۷ می‌باشد که بیشترین و کمترین میزان کارایی مربوط به کشورهای سریلانکا و بحرین با مقادیر ۰/۹۸ و ۰/۰۶ می‌باشد. سطوح

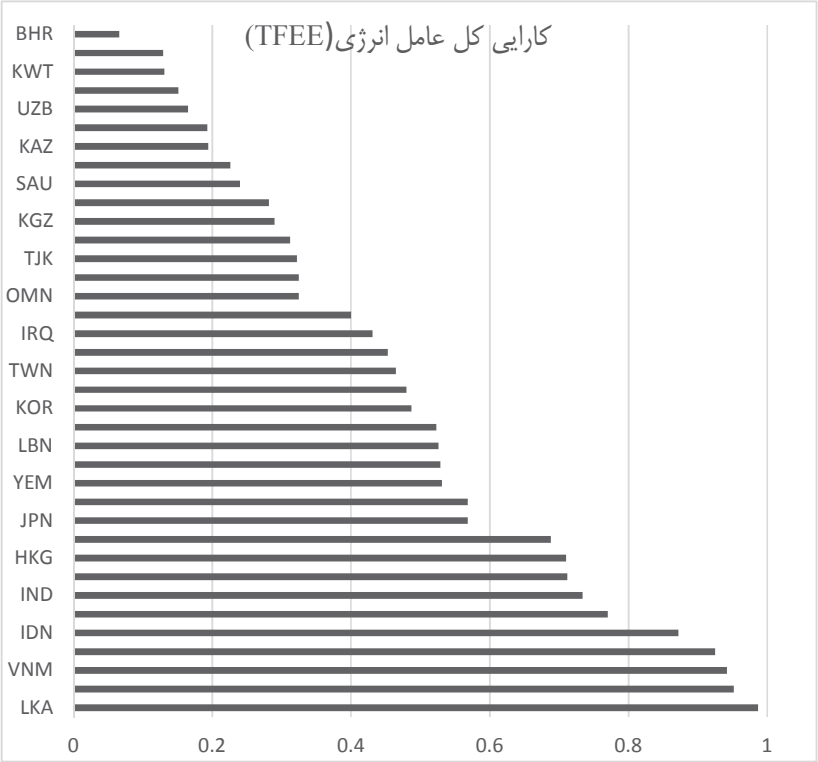
[۰-۰,۲۱٤۱]، [۰,۲۱٤۱-۰,۷۳۷۳] و [۰,۷۳۷۳-۰.۹۸] نیـز بـه ترتیـب، بـرای کـارایی انرژی پایین، متوسط و بالا درنظر گرفته می‌شوند کـه در آن اعـداد ۰/۲۱۴۱ و ۰/۷۳۷۳ به‌ترتیب از کسر و اضافه انحراف معیار (۰/۲۶) به میانگین به‌دسـت مـی‌آینـد. بـه ایـن ترتیب می‌توان کشورهای مختلف را به لحاظ مصرف و کارایی انرژی در گـروه‌هـای زیـر قرار داد.

**جدول ۴- طبقه بندی ۹ گانه مصرف انرژی و کارایی انرژی کشورهای آسیا**

| مصرف انرژی/ کارایی انرژی | مصرف انرژی بالا | مصرف انرژی متوسط | مصرف انرژی پایین |
|---|---|---|---|
| کارایی انرژی بالا | IND | TUR, IDN | LKA, MAC, VNM, PHL |
| کارایی انرژی متوسط | CHN, JPN | THA, MYS, KOR, TWN, IRN, SAU | PAK, YEM, LBN, PAL, MNG, IRQ, SYR, JOR, OMN, TJK, ARM, KGZ, TKM, AZE, HKG |
| کارایی انرژی پایین | RUS | KAZ, SGP | UZB, KWT, QAT, BHR |

در یک نگاه کلی و با توجه به نمودار ۱، سریلانکا رتبه اول و بحرین آخرین رتبـه در کارایی انرژی را به خود اختصاص داده‌اند. از طرف دیگر، با توجه به جـدول ۴ بیشـترین مصرف انرژی مربوط به کشورهای چین، هند، روسیه و ژاپن می‌باشد، کـه در بـین ایـن کشورها، هند با مقدار مصرف انـرژی ۵۹۲/۲ بیشـترین کـارایی انـرژی (۰/۷۳) را دارد و پس از آن کشورهای چین(۰/۷۱) و ژاپـن (۰/۵۶)، در جایگـاه‌هـای بعـدی قـرار دارنـد. همچنین در بین کشورهای با مصرف بالای انرژی روسیه با مقدار ۰/۱۹ کمترین کـارایی انرژی را دارد. در این طبقه بندی همان‌طورکه مشاهده می‌شود، سریلانکا، ماکائو، ویتنام و فیلیپین با مصرف پایین انرژی، بیشـترین کـارایی انـرژی را داشـته و در بـین تمـامی کشورهای مورد مطالعه این کشورها رتبه‌های اول تا چهـارم کـارایی انـرژی را بـه خـود اختصاص داده‌اند، که در نمودار ۱ به خوبی نمایان است. کشـورهای ازبکسـتان، کویـت، قطر و بحرین جزء کشورهای کم مصرف انرژی و کارایی پایین انرژی می‌باشـند. در یـک نگاه کلی نیز مشاهده می‌شود که از ۳۷ کشور مـورد مطالعـه، ۲۲ کشـور دارای مصـرف پایین، یعنی مصرفی کمتر از ۶۵/۳۳ می‌باشند، که در بین آنها ۱۴ کشور کـارایی انـرژی بین ۰/۲۱ تا ۰/۷۳ دارند. ایران نیز به همـراه ۵ کشـور تایلنـد، مـالزی، کـره، تـایوان و عربستان به لحاظ مصرف و کارایی انرژی در گروه متوسط قرار دارد، با توجـه بـه میـزان

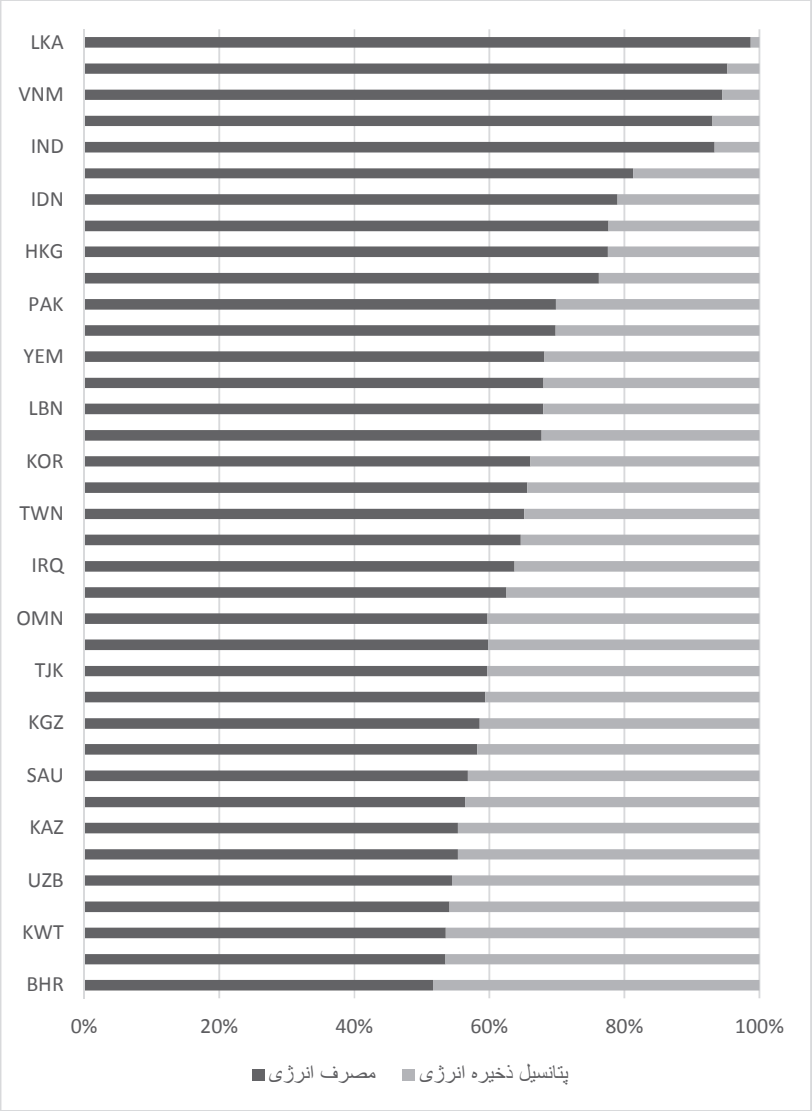
کارایی انرژی ۴۵ درصدی و رتبه بیستم ایران، پتانسیل زیادی برای افزایش کارایی انرژی در کشور وجود دارد.




**نمودار ۱- کارایی کل عامل انرژی کشورهای منتخب آسیا**

**منبع: یافته های تحقیق**

از دیگر نتایج تحقیق پیش رو، محاسبه پتانسیل صرفه‌جویی در مصرف انرژی برای کشورهای مورد مطالعه می‌باشد که با استفاده از فرمول ۱۰ قابل بررسی است (نمودار ۲).




**نمودار ۲- نمای مصرف و پتانسیل ذخیره انرژی کشورهای منتخب آسیا**

**منبع: یافته های تحقیق**

به وضوح می‌توان مشاهده نمود که پتانسیل صرفه‌جویی در مصرف انـرژی بـالایی در کشورهای با کارایی انرژی پایین وجود دارد. کشورهای بحرین، قطر و کویت بـه ترتیـب با مقادیر ۹۳، ۸۷ و ۸۶ درصد دارای بیشترین درصد پتانسیل ذخیره انرژی می‌باشند، از

طرف دیگر کشورهای سریلانکا، ماکائو، ویتنام، فیلیپین و هند به‌دلیل کارایی انرژی بالا، پتانسیل صرفه‌جویی انرژی پایینی دارند. پتانسیل صرفه‌جویی انرژی در ایران نیز ۵۴ درصد (۱۳۱.۲۱) می‌باشد که بیانگر اتلاف انرژی بالا نسبت به سایر کشورها می‌باشد و ضروری است به‌منظور بهبود وضعیت موجود برنامه‌ریزی‌های لازم صورت گیرد. در بعد کلان نیز می‌توان گفت که از مجموع مصرف انرژی یعنی ۶۵۴۲.۸ میلیون تن معادل نفت‌خام در کشورهای آسیایی ۲۷۳۳.۴۴ میلیون تن معادل نفت خام اتلاف انرژی وجود دارد، به عبارت دیگر ۴۱ درصد مصرف انرژی موجود در این کشورها به کالا تبدیل نمی‌شود و علاوه بر اینکه منابع انرژی آن‌ها هدر می‌رود، صدمات جبران ناپذیری را متوجه محیط زیست و آینده این قاره پهناور خواهد نمود.

## ۵- نتیجه گیری و پیشنهادات

اخیرا در مطالعات مربوط به کارایی انرژی، شاخص‌های جزئی کارایی عامل انرژی (بهره‌وری انرژی و شدت انرژی، که به ترتیب، به شکل نسبت تولید ناخالص داخلی به مصرف انرژی و نسبت مصرف انرژی به تولید ناخالص داخلی تعریف می‌شوند) استفاده و مورد انتقاد واقع شده‌اند. عمده ترین دلیل منتقدان، عدم استفاده از سایر فاکتورهای کلیدی تولید، در محاسبه آنها می‌باشد. از اینرو محققان تلاش نموده‌اند کارایی انرژی را در یک چارچوب چندعاملی محاسبه نمایند. نتیجه این تلاش‌ها را می‌توان در مطالعات گوناگون که در قسمت‌های قبل ارائه شد، مشاهده نمود. تا کنون مدل‌هایی ارائه شده که ضمن در برگرفتن کلیه عوامل تولید، بر پایه تحلیل فراگیر داده‌ها و نیز تحلیل مرز تصادفی قادر به اندازه‌گیری کارایی انرژی می‌باشد. در این مطالعه نیز به اقتباس از مطالعات ذکرشده، کارایی انرژی ۳۷ کشور آسیایی با استفاده از روش مرز تصادفی و تابع مسافت نهاده اندازه‌گیری استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که کشور سریلانکا بهترین عملکرد (۰/۹۷) را در مصرف انرژی داشته و پس از آن کشورهای ماکائو، ویتنام، فیلیپین و هند با مقادیر ۰/۹۵، ۰/۹۴، ۰/۹۲ و ۰/۸۷ در رده‌های دوم تا پنجم قرار دارند. کشورهای کویت، قطر و بحرین نیز به ترتیب در پایین‌ترین رتبه قرار دارند. ایران در این رتبه بندی با مقدار ۰/۴۵ در جایگاه بیستم است که بیانگر اتلاف بالای انرژی در کشور می‌باشد و ضروری است به‌منظور بهبود کارایی، برنامه‌ریزی نمود. همچنین نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در بین کشورهای پرمصرف انرژی هند عملکرد بهتری داشته است. برنامه‌ریزی صحیح در راستای بهبود کارایی انرژی در این کشورها هم به لحاظ

اقتصادی و هم به لحاظ زیست محیطی امر مهمی می‌باشد. از طرف دیگر نتـایج حاصـل از پتانسیل صرفه‌جویی انرژی نشان می‌دهـد کـه از مجمـوع مصـرف انـرژی بـه میـزان ۶۵۴۲.۸ میلیون تن معادل نفت‌خام در کشورهای آسیایی، ۲۷۳۳.۴۴ میلیون تن معادل نفت‌خام اتلاف انرژی وجود دارد، به‌عبارت دیگر ۴۱ درصد مصرف انرژی موجود در ایـن کشورها هدر رفته که خطرات زیادی را متوجه محیط زیست و اقتصـاد کشـورهای ایـن قاره پهناور خواهد نمود. پتانسیل صرفه‌جویی انرژی در ایـران نیـز در مقایسـه بـا سـایر کشورهای مورد مطالعه ۵۴ درصـد (معـادل ۱۳۱.۲۱ میلیـون تـن معـادل نفـت خـام) می‌باشد، که بیانگر ظرفیت بالای صرفه‌جویی انـرژی در کشـور اسـت و بایسـتی جهـت محقق شدن این امر، مصرف بهتر و کارای انرژی را مد نظر قرار داد. قابل ذکـر اسـت در این مطالعه صرفا به‌اندازه گیری کارایی و پتانسیل صرفه‌جویی در مصرف انرژی پرداختـه شده و نویسنده هیچ توصیه و پیشنهادی جهت عملکرد بهتر کشورها در مصـرف انـرژی ندارد، زیرا این امر در گرو شناسایی عوامـل ناکـارایی انـرژی مـی‌باشـد کـه بایسـتی در مطالعات جداگانه‌ای صورت پذیرد.

## فهرست منابع

Ang B., Mu A., Zhou P.(2010) Accounting frameworks for tracking energy efficiency trends. Energy Econ; 32(5):1209-19.

Ang BW., Liu F.(2001) A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation. Energy: 26(6): 537-48.

Ang BW., Zhang F. (2000). A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. Energy; 25(12):1149-76.

Battese, G.E., Coelli, T.J. (1992). Frontier production functions, technical efficiency and panel data: with application to paddy farmers in India. J. Prod. Anal; 3: 153-169.

Boyd G.A. (2008). Estimating plant level energy efficiency with a stochastic frontier. Energy : 23-43.

Buck J., Young D. (2007). The potential for energy efficiency gains in the Canadian commercial building sector: a stochastic frontier study. Energy; 32(9):1769-80.

Choi K-H., Ang B., Ro K. (1995). Decomposition of the energy-intensity index with application for the Korean manufacturing industry. Energy; 20(9): 835-42.

Coelli, Perelman. (1999). A comparison of parametric and non-parametric distance functions: with application to European railways. Eur. J. Oper. Res; 117 (2): 326-339.

Council of the European Union. (2007). Brussels European Council 8/9 March 2007. Presidency Conclusions, (7224/1/07), Brussels.

Cui, Q., Kuang H-b., Wu C-y., Li Y. (2014). The changing trend and influencing factors of energy efficiency: the case of nine countries. Energy; 64:1026-34.

Debreu, G. (1951). The coefficient of resource utilization. Econometrica; 22: 14-22.

European Commission. (2011). Energy Efficiency Plan 2011. COM (2011) 109/4.

Farrell, M.J., (1957). The measurement of productive efficiency. J. R. Sta. Soc. Ser. A; 120: 253-281.

Geller, H., Harrington, P., Rosenfeld, AH., Tanishima, S., Unander, F. (2006). Policies for increasing energy efficiency: thirty years of experience in OECD countries. Energy Policy; 34:556–73.

Herring, H. (1999). Does energy efficiency save energy? The debate and its consequences. Appl. Energy; 63:209–26.

Honma, S., Hu, J.L. (2008). A Comparative Study of Energy Efficiency of OECD Countries: An Application of the Stochastic Frontier Analysis. Energy Procardia; 61 :2280 – 2283.

Honma, S., & Hu, J. L. (2014). A panel data parametric frontier technique for measuring total-factor energy efficiency: an application to Japanese regions. Energy; 78: 732–739.

Honma, S., & Hu, J. L. (2014). Industry-level total-factor energy efficiency in developed countries: A Japan-centered analysis, Applied Energy; 119: 67–78.

Hu J-L., Wang, S-C. (2006). Total-factor energy efficiency of regions in China. Energy policy; 34(17):3206-17.

Hu, J-L., Wang, S-C. (2006). Total-factor energy efficiency of regions in China. Energy policy; 34(17):3206-17.

Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid M, Mousazadeh, H.(2013) Applying data envelopment analysis approach to improve energy efficiency and reduce GHG (greenhouse gas) emission of wheat production. Energy; 58:588-93.

Liao, H., M. Holmes, T. Weyman-Jones and D. Llewellyn (2006) Productivity growth of East Asia economies' manufacturing: a decomposition analysis. Journal of Development Studies, 43(4), pp649-674.

Lin, B., Du, K. (2014). Measuring energy efficiency under heterogeneous technologies using a latent class stochastic frontier approach: an application to Chinese energy economy. Energy; 76: 884–890.

Lin, B., Du, K. (2015). Modeling the dynamics of carbon emission performance in China: A parametric Malmquist index approach. Energy Economics; 49: 550-557.

Lin, B., Moubarak, M. (2014). Estimation of energy saving potential in China's paper industry. Energy; 65:182-9.

Lin B., Wang, X. (2014). Exploring energy efficiency in China ′ s iron and steel industry: a stochastic frontier approach. Energy Policy; 72:87-96.

Lin, B.; Wang, X. (2014). Promoting energy conservation in China’s iron & steel sector. Energy; 73: 465–474.

Lin, B., Long, H. (2015). A stochastic frontier analysis of energy efficiency of China's chemical industry. Journal of Cleaner Production, 2015: 87; 235-244.

Lovell, C.A.K., Richardson, S., Travers, P.,Wood, L., (1994). Resources and functionings: a new view of inequality in Australia. In: Models and Measurement of Welfare and Inequality. Springer, Berlin.

Miao, R. and Jin,Y.(2014). The measurement and analysis of regional energy efficiency in China, Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 2014, 6(3):729-734.

Oh, SC., and Hildreth AJ. (2014). Estimating the Technical Improvement of Energy Efficiency in the Automotive Industry—Stochastic and Deterministic Frontier Benchmarking Approaches, Energies, 7, 6196-6222.

Pires, O.J. and Garcia, F. (2004). Productivity of Nation: A Stochastic Frontier Approach to TFP Decomposition. Economia Rev. 143.

Popp, R.D., Chavas, J.P. (1994). Cost functions under production uncertainty. Am. J. Agric. Econ. 76, 196-204.

Rahman, S., Hasan, MK. (2014). Energy productivity and efficiency of wheat farming in Bangladesh. Energy; 66:107-14.

Sari R., Soytas, U. (2009). Are global warming and economic growth compatible? Evidence from five OPEC countries? Appl. Energy; 86:1887–93.

Shahabinejad, V., Zare Mehrjerdi, M.Reza., Yaghoubi, M. (2013). Total Factor Productivity Growth, Technical Change and Technical Efficiency Change in Asian Economies: Decomposition Analysis, Iranian Journal of Economic Studies; 2(2): 47-69.

Shepahard, R.W. (1970). Theory of Cost and Production Functions. Princton University Press, Princeton, N.J., p. 14.

Simar, L. (2003). Detecting outliers in frontier models: a simple approach. J Prod Analysis; 20(3): 391-424.

StataCorp (2009) Stata: Release 11. Statistical Software. College Station, Texas 77845. StataCorp LP.

Stern, DI. (2012). Modeling international trends in energy efficiency. Energy Econ; 34(6): 2200-8.

Wang C. (2007). Decomposing energy productivity change: a distance function approach. Energy; 32(8): 1326-33.

Wang Z.H., Zeng H.L., Wei Y.M., Zhang Y.X. (2012). Regional total factor energy efficiency: An empirical analysis of industrial sector in China. Appl Energy. 97:115-23.

Wei Y-M., Liao H., Fan Y. (2007). An empirical analysis of energy efficiency in China's iron and steel sector. Energy; 32(12): 2262-70.

Wu F., Fan L., Zhou P., Zhou D. (2012). Industrial energy efficiency with CO2 emissions in China: a nonparametric analysis. Energy Policy; 49:164-72.

Xavier, I., Thirtle, C. (2004). Dual technological development in Botswana agriculture: a stochastic input distance function approach. J. Agric. Econ. 55 (3), 455-478.

Zhao X, Yang R., Ma Q. (2014). China's total factor energy efficiency of provincial industrial sectors. Energy; 65:52-61.

Zhou P., Ang B. (2008). Linear programming models for measuring economy-wide energy efficiency performance. Energy Policy; 36(8):2911-6.

Zhou P, Ang B, Zhou D. (2012). Measuring economy-wide energy efficiency performance: a parametric frontier approach. Appl Energy; 90(1):196-200.

Zhou, P., Ang, B.W., Zhou, D.Q. (2012). Measuring economy-wide energy efficiency performance: a parametric frontier approach. Applied Energy; 90: 196-200.

# Measuring Total-Factor Energy Efficiency and Energy Saving Potential in Asian Economies: Application of Stochastic Frontier Analysis

**Vahid Shahabinejad**
**Faculty of Economics, Baft Higher Education Center, Shahid Bahonar University of Kerman, v.shahabinejad@uk.ac.ir**
**Received: 2015/07/22 Accepted: 2016/03/10**

## Abstract

This paper analyzes the total factor energy efficiency and the energy saving potential of 37 Asian economies using the energy-input stochastic frontier model based on the assumption of the trans-log production function for the period 1980 to 2011. The empirical results indicate that Srilanka, Macao, Vietnam, the Philippines and India perform the best in terms of energy efficiency, whereas Kuwait, Qatar and Bahrain perform the worst during the entire research period. The results also indicate that the total energy saving potential for Asian economies, is 2733.34 million ton oil equivalent, which is more than 40% of the total energy consumption of these countries. The energy saving potential in Iran, at 131.21 million ton, is larger than the overall energy consumption of 29 countries such as Pakistan, Turkey, Singapore and Malaysia but less than China, Russia, India, Japan, Korea, Saudi and Indonesia. Generally speaking, there is much space to improve energy efficiency of Iran and many Asian economies.

**JEL Classification**: N75, O13, O47, Q47, Q49

**Keywords**: Total Factor Energy Efficiency, energy saving potential, energy-input stochastic frontier model, Asian countries.