

رابطه توسعه اقتصادی و شدت انرژی در کشورهای عضو اکو: مدل رگرسیون داده‌های تابلویی آستانه‌ای یکنواخت

داوود منظور

دانشیار اقتصاد دانشگاه امام صادق (ع)
manzoor@isa.ac.ir

لیلی نیاکان

دانشجوی دکتری اقتصاد دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)
leili.niakan@yahoo.com

برای بررسی تغییرات شدت انرژی می‌توان کشش درآمدی تقاضای انرژی را مورد مطالعه قرار داد، چراکه ثابت بودن شدت انرژی حاکی از رابطه تناسبی بین رشد مصرف انرژی و رشد درآمد ملی یا به عبارت دیگر واحد بودن کشش درآمدی تقاضای انرژی نسبت به تولید ناخالص داخلی می‌باشد. به علاوه، همواره درصد تغییرات شدت انرژی با نرخ رشد اقتصادی و کشش درآمدی مصرف انرژی متناسب است. بر این اساس، در این مقاله برای تحلیل شدت انرژی به مدلسازی تقاضای انرژی در کشورهای عضو اکو و اندازه‌گیری کشش‌های درآمدی تقاضای انرژی می‌پردازیم. استفاده از یک مدل رگرسیون پانل آستانه‌ای با توجه به یک متغیر آستانه که بر اساس تولید ناخالص داخلی سرانه تعریف شده باشد به خوبی می‌تواند ناهمگنی در مدل‌های تقاضای انرژی در کشورهای مذکور را نشان دهد. تخمین این مدل برای کشورهای عضو اکو بیانگر آن است که در این کشورها کشش درآمدی کمتر از واحد بوده و با رشد تولید ناخالص داخلی تقاضای انرژی به همان میزان رشد نخواهد کرد، در نتیجه شدت انرژی در حال کاهش است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در اغلب کشورهای عضو اکو کشش درآمدی در طول زمان کاهش یافته است. علاوه بر این، در کشورهای عضو اکو به دلیل ساختار اقتصادی مشابه کشش درآمدی تقاضای انرژی بسیار به هم نزدیک است. پیش‌بینی تغییرات شدت انرژی با استفاده از برآورد کشش‌های درآمدی نشان‌دهنده آن است که با رشد اقتصادی کشورهای عضو اکو از شدت انرژی در این کشورها کاسته می‌شود.

طبقه‌بندی JEL: *Col, C12, C13, Oo1, O13, Q40*.

واژه‌های کلیدی: شدت انرژی، کشش درآمدی تقاضای انرژی، مدل پانل آستانه‌ای یکنواخت.

۱. مقدمه

نسبت مصرف انرژی اولیه کشور به تولید ناخالص داخلی^۱ نشان‌دهنده شدت انرژی^۲ اقتصاد است. شدت انرژی بیانگر انرژی لازم برای تولید یک واحد محصول در سطح ملی می‌باشد. شدت انرژی در سطح یک صنعت یا یک فرایند تولیدی خاص برحسب واحدهای فیزیکی محاسبه می‌شود. مقدار فیزیکی شدت انرژی حاصل تقسیم میزان انرژی مصرف شده به محصول تولید شده است. شدت انرژی تولید ناخالص داخلی معیاری برای اندازه‌گیری و ارزیابی کارایی انرژی در اقتصاد است که با نسبت واحدهای انرژی مصرف شده به یک واحد تولید ناخالص داخلی مورد سنجش قرار می‌گیرد. شدت انرژی بالاتر معانی هزینه یا قیمت بالاتر تبدیل انرژی به تولید ملی قلمداد می‌شود. در مقابل، شدت انرژی کمتر نشانگر هزینه یا قیمت کمتر برای تبدیل انرژی به تولید در اقتصاد است. در حال حاضر معیار شدت انرژی از شاخص‌های استراتژیک در کشورهای توسعه‌یافته است که از آن برای بررسی افزایش کارایی انرژی هم از نظر کاهش وابستگی انرژی کشور به خارج و هم از نظر کنترل تبعات زیست‌محیطی مصرف بالای انرژی استفاده می‌کنند (بومان، ۲۰۰۸). از سوی دیگر، پیش‌بینی تقاضای انرژی تحت سناریوهای مختلف رشد اقتصادی به پیش‌بینی تغییرات این شاخص بستگی دارد. اصلاح شدت انرژی و توجه به اهمیت آن در کارایی اقتصادی گاهی به‌عنوان یکی از اهداف اصلی در سیاست‌های انرژی دنبال می‌شود (سیف، ۱۳۸۷).

برای بررسی تغییرات شدت انرژی می‌توان کشش مصرف انرژی^۳ نسبت به تولید ناخالص داخلی را مورد مطالعه قرار داد. اگر شدت انرژی ثابت باشد رشد مصرف انرژی متناسب با رشد فعالیت‌های اقتصادی بوده و به این ترتیب انتظار می‌رود کشش مصرف انرژی نسبت به تولید ناخالص داخلی برابر با واحد باشد، بنابراین کاهش شدت انرژی به معنای کشش کمتر از واحد خواهد بود و کاهش شدت انرژی با یک نرخ ثابت منجر به رابطه معکوسی میان کشش مصرف انرژی نسبت به تولید ناخالص داخلی و نرخ رشد اقتصادی می‌شود. برعکس، ثابت بودن کشش مصرف انرژی نسبت به تولید ناخالص داخلی نشان‌دهنده وجود رابطه خطی میان تغییرات شدت انرژی و رشد اقتصادی می‌باشد. در این صورت، رابطه لگاریتم خطی بین شدت انرژی و تولید ناخالص داخلی وجود خواهد داشت که بر اساس آن اشکال تابعی متفاوتی با توجه به مقدار کشش در آمدی نتیجه خواهد شد (دستایس، فوکوا و هارلین، ۲۰۰۷).

از اواسط قرن ۲۰ برخی اقتصاددانان به دنبال ارزیابی و مقایسه شدت انرژی و کشف روند تغییرات آن در اقتصادهای مختلف بوده‌اند. به‌طور کلی، نشان دادند ابتدا شدت انرژی یک کشور در یک دوره به شدت افزایش می‌یابد، سپس به نقطه اوج می‌رسد که بعضاً برای مدتی در این سطح باقی می‌ماند و در نهایت رو به کاهش می‌گذارد (پرسبوآ، ۱۹۷۹ و مارتین، ۱۹۸۸). این نوع رابطه زنگوله‌ای شکل یا منحنی U وارونه^۴ نخستین بار توسط کوزتس (۱۹۵۵) برای بیان رابطه میان نابرابری توزیع درآمد و

1. Gross Domestic Product (GDP)
2. Energy Intensity
3. GDP-Elasticity of Energy Consumption
4. Inverted U-Curve

توسعه اقتصادی مورد استفاده قرار گرفت و در دهه ۱۹۹۰ نیز توسط اقتصاددانان محیط‌زیست تحت عنوان منحنی کوزنتس برای بیان رابطه بین انتشار آلاینده‌ها و فعالیت اقتصادی رواج بیشتری یافت (مولر و فرستبرگ و همکاران، ۲۰۰۴).

سه عامل اصلی می‌تواند تحولات در شدت انرژی را توضیح دهد که عبارتند از افزایش در کارایی انرژی، مراحل مختلف توسعه اقتصادی و جانشینی بین انواع انرژی (آنگک، ۲۰۰۶). عامل نخست را می‌توان به افزایش کارایی در تولید و مصرف انرژی عمدتاً ناشی از پیشرفت فنی و افزایش جهانی قیمت انرژی نسبت داد. در مورد عامل دوم بسیاری از اقتصاددانان معتقدند که شدت انرژی به موازات توسعه اقتصادی در مرحله صنعتی شدن^۱ افزایش یافته، سپس در مرحله بعد صنعتی شدن به جهت افزایش خدمات و توسعه صنایع تکنولوژی‌های برتر^۲ و کاهش نیاز اقتصاد به مواد اولیه^۳ کاهش می‌یابد. اندازه‌گیری کمی آثار تغییرات ساختاری بر تغییرات شدت انرژی با استفاده از روش تحلیل تجزیه شاخص^۴ در مطالعات متعددی صورت گرفته است (شافر، ۲۰۰۳). در خصوص عامل سوم از آنجا که مصرف انرژی اولیه مجموع مصارف مختلف انرژی در اقتصاد است و هر منبع انرژی کارایی خاص خود را دارد جایگزینی بین منابع مختلف انرژی و توسعه منابع جدید انرژی بر شدت انرژی مؤثر است.

سؤال مهم آن است که چگونه می‌توان ویژگی‌های خاص هر یک از کشورها را در طراحی و تخمین مدل تقاضای انرژی برای مجموعه این کشورها در نظر گرفت؟ استفاده از یک مدل داده‌های مقطعی^۵ یا تابلویی^۶ می‌تواند پاسخگوی این پرسش باشد. در این مقاله ابتدا روش‌های مختلف مورد استفاده در مدل‌های مقطعی و پانل برای پرداختن به موضوع همگنی^۷ یا ناهمگنی^۸ در مدل‌های انرژی را مرور نموده، سپس به معرفی یک مدل پانل آستانه‌ای^۹ با فرایند انتقال یکپارچه^{۱۰} می‌پردازیم که به کمک آن می‌توان ناهمگنی در کشش‌های درآمدی تقاضای انرژی بین کشورهای عضو سازمان اکو را مدل‌سازی نمود.

در این مقاله ابتدا تلاش می‌شود با استفاده از یک مدل مناسب کشش درآمدی تقاضای انرژی برای هر یک از کشورهای عضو اکو برآورد شود، سپس تغییرات شدت انرژی آنها تحت سناریوهای مختلف رشد اقتصادی پیش‌بینی گردد.

1. Industrialization
2. High Technology Industries
3. Dematerialization
4. Index Decomposition Analysis
5. Cross-Section Model
6. Panel Model
7. Homogeneity
8. Heterogeneity
9. Panel Threshold Model
10. Smooth Transition

۲. استفاده از داده‌های تابلویی در یک تابع پانل آستانه‌ای

معادله تقاضای انرژی برای بیان رابطه میان درآمد و تقاضای انرژی در یک مدل داده‌های مقطعی می‌تواند به صورت لگاریتم خطی توصیف شود (شرستا، ۲۰۰۰):

$$c_i = \alpha + \beta y_i + \varepsilon_i \quad i=1,2,\dots,N \quad (1)$$

که در آن، ε_i لگاریتم مصرف سرانه انرژی اولیه در کشور i ام در یک نمونه از N کشور در سال مورد مطالعه، y_i لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه، α و β ضرایب ثابت رگرسیونی و ε_i جزء اخلاص با میانگین صفر و واریانس σ_ε^2 می‌باشند. در این مدل ساده، کشش مصرف انرژی نسبت به تولید ناخالص داخلی بلندمدت برای تمام کشورهای نمونه ثابت و برابر با β است، در این صورت شدت انرژی برابر با $\beta \cdot Y_i^{(\beta-1)}$ خواهد بود که در آن Y سطح تولید ناخالص داخلی و γ یک عدد ثابت می‌باشد.

ضعف اصلی رویکرد مقطعی آن است که در این مدل‌ها به‌طور ضمنی فرض می‌شود قانومندی‌ها و روابط یکسانی برای تمام کشورها برقرار است (مدلاک و سولیکو، ۲۰۰۱). از سوی دیگر، ضعف بزرگ رابطه ساختاری لگاریتم خطی آن است که اساساً نمی‌تواند رابطه غیریکتواخت بین شدت انرژی و درآمد را که شواهد تجربی منحنی U وارونه بر آن دلالت دارد بازتولید نماید. به عبارت دیگر، برخلاف فرض ثابت بودن کشش مصرف انرژی نسبت به تولید ناخالص داخلی در مدل لگاریتم خطی بر اساس شواهد منحنی U وارونه کشش درآمدی تقاضای انرژی به سطح درآمد بستگی دارد. یک راه برای حل این مشکل استفاده از فرم تابعی لگاریتمی درجه دوم در مدل داده‌های مقطعی است (آننگ، ۱۹۸۷):

$$c_i = \alpha + \beta y_i + \lambda y_i^2 + \varepsilon_i \quad i=1,2,\dots,N \quad (2)$$

که در آن انتظار می‌رود β بزرگتر از یک و λ منفی باشد، در این صورت کشش مصرف انرژی نسبت به تولید ناخالص داخلی برابر با $\beta + 2\lambda y_i$ بوده و شدت انرژی به سطح توسعه اقتصادی وابسته خواهد بود. در این حالت، شدت انرژی زمانی که کشش مصرف انرژی نسبت به تولید ناخالص داخلی (ε) برابر با یک باشد به حداکثر مقدار ممکن خود می‌رسد و آن زمانی است که لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه $\bar{y} = (1-\beta)/2\lambda$ باشد.

به هر حال، در این رویکرد بعد زمان صراحتاً مورد توجه قرار نمی‌گیرد. استفاده از اقتصادسنجی داده‌های تابلویی این امکان را فراهم می‌آورد که همزمان دو بعد زمان و مقطع در مدل مورد توجه قرار گیرد. چنانچه پارامترهای تابع تقاضای درجه دوم برای تمام کشورها یکسان فرض شود توصیف تابع تقاضا مانند معادله (۲) خواهد بود با این تفاوت که در آن برای متغیرها اندیس زمان نیز در نظر گرفته می‌شود:

$$c_{it} = \alpha + \beta y_{it} + \lambda y_{it}^2 + \varepsilon_{it} \quad i=1,2,\dots,N, \quad t=1,2,\dots,T \quad (3)$$

در اینجا نیز مانند مدل‌های داده‌های مقطعی فرض همگنی به طور ضمنی وجود دارد، بنابراین برای استفاده از این روش ضروری است کشورهای دارای ویژگی‌های مشابه در نمونه مورد مطالعه در نظر گرفته شوند. به هر حال، برای مدنظر قرار گرفتن ویژگی‌های خاص هر یک از کشورهای عضو نمونه لازم است حداقل ناهمگنی در مدل مشاهده شود. ساده‌ترین راه برای وارد نمودن ناهمگنی پارامترها تصریح مدل به صورت آثار ثابت^۱ و فرض عرض از مبدأهای متفاوت برای کشورهای مختلف است:

$$c_{it} = \alpha_i + \beta y_{it} + \lambda y_{it}^2 + \varepsilon_{it} \quad i=1,2,\dots,N, \quad t=1,2,\dots,T \quad (4)$$

آثار فردی α_i تمام ابعاد غیرزمانی (یا غیرساختاری) و تأثیر متغیرهای غیرزمانی غیرقابل مشاهده مؤثر بر سطح تقاضای انرژی را در مدل تقاضای انرژی منعکس می‌نماید. این آثار فردی می‌تواند ثابت یا تصادفی باشد. اگر آثار فردی ثابت باشند تخمین زنده حداقل مربعات معمولی (OLS) و اگر آثار فردی تصادفی باشد تخمین زنده حداقل مربعات تعمیم یافته (GLS) بهترین تخمین زن خطی بدون تورش^۲ خواهد بود (شیانو، ۲۰۰۳). انتخاب میان این دو توصیف به فرض استقلال میان α_i و y_{it} بستگی دارد که از طریق آزمون استاندارد هاسمن (۱۹۷۸) مشخص می‌شود.

به هر حال، در این مدل ناهمگنی تنها در سطح متوسط مصرف سرانه انرژی در نظر گرفته می‌شود. به عبارت دیگر، ناهمگنی تنها بر عرض از مبدأ منحنی U وارونه تأثیر می‌گذارد. در این حالت، شدت انرژی هر یک از کشورها به صورت توابع سهمی نشان داده می‌شود که فاصله بین این منحنی‌ها به سطح آثار فردی (α_i) بستگی دارد. از نقطه نظر کشش پارامترهای شیب β و λ که تعیین کننده کشش مصرف انرژی نسبت به تولید ناخالص داخلی ($\beta + 2\lambda y_{it}$) هستند همگن فرض می‌شوند، بنابراین در این مدل در یک زمان مشخص تفاوت کشش مصرف انرژی نسبت به تولید ناخالص داخلی کشورها تنها به دلیل تفاوت در تولید ناخالص داخلی سرانه آنها یعنی y_{it} است.

گزینه دیگر، استفاده از مدل پانل ناهمگن است. در این مدل فرض می‌شود پارامترهای شیب مدل تقاضای انرژی بین کشورها ناهمگن باشند:

$$c_{it} = \alpha_i + \beta_i y_{it} + \lambda_i y_{it}^2 + \varepsilon_{it} \quad i=1,2,\dots,N, \quad t=1,2,\dots,T \quad (5)$$

1. Fixed Effect Model (FEM)
2. Individual Effects
3. Best Linear Unbiased Estimator (BLUE)

برای تخمین مدل‌های پانل ناهمگن روش‌های متعددی وجود دارد. در این مقاله از توصیف تابع پانل آستانه‌ای^۱ استفاده می‌شود و آثار آستانه‌ای در یک مدل پانل خطی وارد می‌گردد. در یک مدل رگرسیون پانل آستانه‌ای^۲ هر یک از مشاهدات را می‌توان بر حسب ارزش یک متغیر مشاهده‌شده به نام متغیر آستانه‌ای^۳ دسته‌بندی نمود (هانس، ۱۹۹۹). در یک مدل رگرسیون پانل آستانه‌ای در هر زمان کشورها با توجه به یک متغیر قابل مشاهده به نام متغیر آستانه به گروه‌هایی با کشش‌های یکسان تقسیم می‌شوند. به عنوان مثال، این متغیر می‌تواند تولید ناخالص داخلی سرانه یا نرخ رشد آن باشد. در یک رگرسیون پانل آستانه‌ای، مکانیزم انتقال^۴ بین رژیم‌های حدی^۵ چنین تعریف می‌شود که در هر زمان اگر متغیر آستانه‌ای مشاهده‌شده برای یک کشور مشخص کمتر از یک مقدار معین موسوم به پارامتر آستانه باشد رابطه درآمد-تقاضا با مدل (یا رژیم) خاصی تعریف می‌شود که با مدل مورد استفاده در زمانی که متغیر آستانه بزرگتر از پارامتر آستانه است متفاوت خواهد بود. مزیت این مدل آن است که حتی در صورت خطی بودن مدل‌های رژیم حدی کشش درآمدی به سطح متغیر آستانه‌ای بستگی دارد. به عنوان مثال، در یک مدل رگرسیون پانل آستانه‌ای با دو رژیم حدی داریم:

$$c_{it} = \alpha_i + \beta_0 y_{it} + \beta_1 y_{it} g(q_{it}, c) + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

که در آن متغیر q_{it} متغیر آستانه، c پارامتر آستانه و $g(q_{it}, c)$ تابع انتقال است که به صورت تابع نماگر^۶ زیر تعریف می‌شود:

$$g(q_{it}, c) = \begin{cases} 1 & \text{if } q_{it} > c \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

در این مدل، اگر متغیر آستانه‌ای کمتر از c باشد کشش درآمدی برابر با β_0 است و اگر متغیر آستانه‌ای بیشتر از c باشد برابر با $\beta_0 + \beta_1$ است، بنابراین همانند مدل درجه دوم کشش درآمدی به سطح درآمد (یا هر متغیر اقتصادی دیگری) بستگی خواهد داشت. به هر حال، در یک مدل پانل آستانه‌ای مکانیزم انتقال بین رژیم‌های مختلف بسیار ساده تعریف می‌شود، به طوری که نمی‌تواند آثار غیرخطی سطح درآمد بر کشش درآمدی را نشان دهد. در ادبیات مدل‌های آستانه‌ای اغلب برای حل این مشکل از یک تابع انتقال یکنواخت استفاده می‌شود. در این صورت، مدل را رگرسیون پانل آستانه‌ای یکنواخت^۷

1. Threshold Panel Specification
2. Panel Threshold Regression (PTR)
3. Threshold Variable
4. Transition Mechanism
5. Extreme Regimes
6. Indicator
7. Panel Smooth Threshold Regression (PSTR)

می‌نامند (گوتزالس، تراسوریتا و وان دیک، ۲۰۰۴). به این ترتیب، مدل تقاضای انرژی پانل آستانه‌ای یکپارچه با دو رژیم حدى و یک تابع انتقال را می‌توان به صورت زیر تعريف نمود:

$$c_{it} = \alpha_i + \beta_0 y_{it} + \beta_1 y_{it} g(q_{it}; \gamma, c) + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

که در آن، تابع انتقال $g(q_{it}; \gamma, c)$ تابعی پیوسته و کران‌دار از متغیر آستانه‌ای q_{it} می‌باشد. عمومی‌ترین فرم تابع انتقال به صورت رابطه زیر بیان می‌شود:

$$g(q_{it}; \gamma, c) = \left[1 + \exp\left(-\gamma \prod_{z=1}^m (q_{it} - c_z)\right) \right]^{-1}, \gamma > 0, c_1 \leq \dots \leq c_m \quad (9)$$

که در آن، بردار $c = (c_1, c_2, \dots, c_m)$ برداری m بعدی از پارامترهای وضعیت^۱ و γ نشانگر شیب تابع انتقال است. اگر $z=1$ باشد در این صورت مدل را رگرسیون انتقال یکپارچه نمایی^۲ و اگر $z=2$ باشد مدل را رگرسیون انتقال یکپارچه لجستیک^۳ می‌نامند.

استفاده از مدل رگرسیون پانل آستانه‌ای یکپارچه برای تقاضای انرژی از سه مزیت اصلی برخوردار است. نخست اینکه در این مدل پارامترها (و کشش درآمدی) می‌توانند بین کشورها و در زمان‌های مختلف متفاوت باشند و به صورت تابعی از متغیر آستانه‌ای q_{it} به طور یکپارچه تغییر نمایند. به طور دقیق‌تر، کشش درآمدی به صورت میانگین وزنی پارامترهای β_0 و β_1 تعریف می‌شود. به عنوان مثال، اگر از متغیر دیگری بجز سطح درآمد به عنوان متغیر آستانه استفاده شود کشش درآمدی کشور نام در زمان t عبارت است از:

$$e_{it} = \frac{\partial c_{it}}{\partial y_{it}} = \beta_0 + \beta_1 g(q_{it}; \gamma, c) \quad (10)$$

اگر $\beta_1 > 0$ باشد، $\beta_0 + \beta_1 \leq e_{it} \leq \beta_0 + \beta_1$ و اگر $\beta_1 < 0$ باشد، $\beta_0 + \beta_1 \leq e_{it} \leq \beta_0$ خواهد بود.

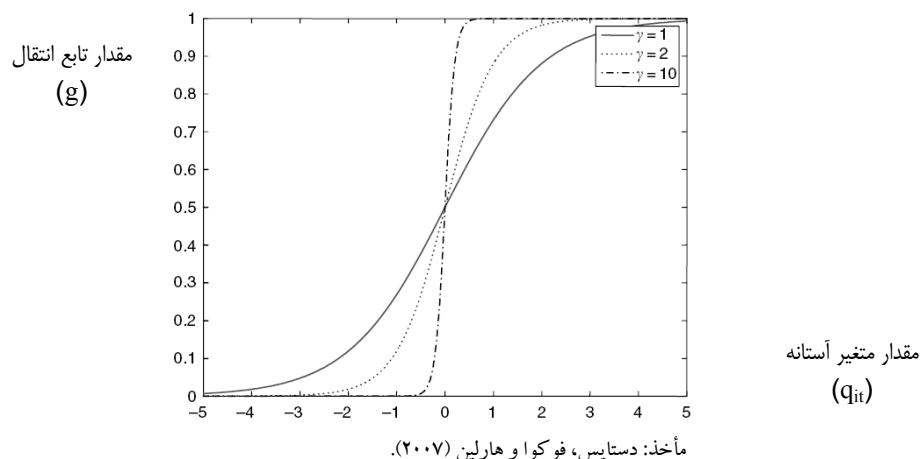
دوم اینکه مقدار کشش درآمدی برای یک کشور مشخص و در یک زمان مشخص می‌تواند متفاوت از پارامترهای برآورد شده برای رژیم‌های حدى یعنی β_0 و β_1 باشد، بنابراین باید توجه داشت که تفسیر مستقیم مقدار این پارامترها (همانند مدل‌های پرویت و لاجیت) به آسانی میسر نیست. در تفسیر نتایج این مدل‌ها به دو چیز باید توجه نمود:

1. Location Parameters
2. Exponential Smooth Transition Regression (ESTR)
3. Logistic Smooth Transition Regression (LSTR)

علامت این پارامترها نشان‌دهنده افزایش یا کاهش کشش در آمدی تحت تأثیر مقدار متغیر آستانه‌ای است، تغییرات کشش بین کشورها و در طول زمان که با استفاده از رابطه (۱۰) قابل محاسبه است. سوم اینکه این مدل را می‌توان تعمیم مدل رگرسیون پانل آستانه‌ای پیشنهاد شده توسط هانسن (۱۹۹۹) و مدل پانل خطی با آثار فردی نمود کرد. در نمودار (۱) تابع انتقال برای مقادیر مختلف پارامتر γ در حالت $m=1$ نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود، اگر γ به سمت بی‌نهایت میل کند تابع انتقال $g(q_{it}; \gamma, c)$ به تابع نماگر رابطه (۷) تبدیل شده و مدل رگرسیون پانل آستانه‌ای یکتواخت به مدل رگرسیون پانل آستانه‌ای تقلیل می‌یابد. اگر $m > 1$ و γ به سمت بی‌نهایت میل کند تنها دو رژیم حدی مشابه خواهیم داشت، اما تابع انتقال در c_1, c_2, \dots بین صفر و یک تغییر وضعیت می‌دهد. زمانی که γ به سمت صفر میل می‌کند تابع انتقال برابر با مقدار ثابتی خواهد شد و مدل تقاضا به یک مدل خطی استاندارد با آثار فردی که در آن کشش در آمدی ثابت و همگن است تبدیل خواهد شد. در این حالت، برای تمام کشورها و در تمام زمان‌ها $e_{it} = \beta_0$ می‌باشد. مدل رگرسیون پانل آستانه‌ای یکتواخت را می‌توان برای $I+1$ رژیم حدی به صورت زیر تعمیم داد:

$$c_{it} = \alpha_i + \beta_0 y_{it} + \sum_{j=1}^r \beta_j y_{it} g_j(q_{it}; \gamma_j, c_j) + \varepsilon_{it} \quad (11)$$

که در آن، I نشان‌دهنده تعداد توابع انتقال است و هر تابع انتقال به پارامترهای شیب γ_j و پارامترهای وضعیت c_j بستگی خواهند داشت.



مأخذ: دستایس، فوکوا و هارلین (۲۰۰۷).

نمودار ۱. تابع انتقال با $m=1$ و $c=0$: تحلیل حساسیت نسبت به پارامتر شیب

در حالت تعمیم یافته نمودار (۱) اگر متغیر آستانه متغیر دیگری بجای y_{it} باشد کشش درآمدی کشور t ام در زمان t به صورت میانگین وزنی $t+1$ پارامتر β_j متناظر با $t+1$ رژیم حدی تعریف می شود:

$$e_{it} = \frac{\partial c_{it}}{\partial y_{it}} = \beta_0 + \sum_{j=1}^r \beta_j g_j(q_{it}; \gamma_j, c_j) \quad (12)$$

اگر از درآمد به عنوان متغیر آستانه استفاده شود، در این صورت کشش درآمدی به صورت زیر تعریف می شود:

$$e_{it} = \frac{\partial c_{it}}{\partial y_{it}} = \beta_0 + \sum_{j=1}^r \beta_j g_j(q_{it}; \gamma_j, c_j) + \sum_{j=1}^r \beta_j y_{it} \frac{\partial g_j(q_{it}; \gamma_j, c_j)}{\partial y_{it}} \quad (13)$$

این عبارت امکان استفاده از روابط مختلف برای بیان ارتباط میان درآمد و تقاضای انرژی (یا شدت انرژی) را فراهم می نماید.

۳. تخمین مدل و آزمون های تشخیص

برای تخمین پارامترهای مدل رگرسیون پانل آستانه ای یکنواخت ابتدا آثار فردی α_i از مدل حذف می شوند، سپس با استفاده از روش حداقل مربعات غیرخطی مدل تبدیل یافته تخمین زده می شود. گوتزالس، تراسویرتا و وان دیک (۲۰۰۴) دو آزمون را برای این مدل پیشنهاد نمودند: آزمون برای خطی بودن مدل در مقابل مدل رگرسیون پانل آستانه ای یکنواخت و تعیین تعداد توابع انتقال (r) و به تبع آن تعداد رژیم های حدی ($t+1$). یک مدل تقاضای انرژی با یک پارامتر وضعیت ($m=1$) و متغیر آستانه ای q_{it} را در نظر می گیریم. خطی بودن^۱ مدل رگرسیون پانل آستانه ای یکنواخت را می توان با آزمون فرضیه $H_0: \beta_0 = \beta_1 = H_0: \gamma = 0$ یا $H_0: \beta_0 = \beta_1 = H_0: \gamma = 0$ مورد آزمون قرار داد، اما از آنجا که تحت فرضیه صفر در مدل رگرسیون پانل آستانه ای یکنواخت برخی پارامترهای ناشناخته وجود دارند این فرضیه را نمی توان با استفاده از آزمون های استاندارد مورد آزمون قرار داد. یک راه حل برای حل این مشکل آن است که به جای تابع انتقال از بسط مرتبه اول سری تیلور آن در اطراف $\gamma=0$ جایگزین کنیم و فرضیه هم ارز با آن را به کمک مدل رگرسیون کمکی ذیل آزمون نماییم:

$$c_{it} = \alpha_i + \beta_0 y_{it} + \theta_1 y_{it} q_{it} + \theta_2 y_{it} q_{it}^2 + \dots + \theta_m y_{it} q_{it}^m + \varepsilon_{it} \quad (14)$$

در معادله کمکی پارامترهای θ_i با پارامتر شیب γ متناسب هستند، و بنابراین آزمون خطی بودن مدل رگرسیونی پانل آستانه ای یکنواخت را می توان با استفاده از فرضیه $H_0: \theta_1 = \dots = \theta_m = 0$ انجام داد.

1. Linearity

با منطق مشابهی می‌توان تعداد توابع انتقال در مدل و به عبارتی تعداد رژیم‌های حلی (t+1) را مورد آزمون قرار داد. برای این منظور، فرضیه صفر مبنی بر حذف کامل آثار غیرخطی^۱ در تابع انتقال به صورت مرحله به مرحله یا پیاپی آزمون می‌شود. به عنوان مثال، تصور کنید فرضیه خطی بودن مدل رد شده است. حال پرسش این است که آیا یک تابع انتقال ($H_0: t=1$) وجود دارد یا آنکه حداقل دو تابع انتقال ($H_0: t=2$) مدل مورد نظر را توصیف می‌کند. فرض کنید مدل برای حالت $t=2$ چنین توصیف شود:

$$c_{it} = \alpha_i + \beta_0 y_{it} + \beta_1 y_{it} g_1(q_{it}; \gamma_1, c_1) + \beta_2 y_{it} g_2(q_{it}; \gamma_2, c_2) + \varepsilon_{it} \quad (15)$$

منطق این آزمون ایجاب می‌کند به جای تابع انتقال دوم بسط مرتبه اول سری تیلور آن در اطراف $\gamma_2=0$ را جایگزین نموده و وجود محدودیت‌های خطی بر پارامترها را آزمون کنیم:

$$c_{it} = \alpha_i + \beta_0 y_{it} + \beta_1 y_{it} g_1(q_{it}; \gamma_1, c_1) + \theta_1 y_{it} q_{it} + \theta_2 y_{it} q_{it}^2 + \dots + \theta_m y_{it} q_{it}^m + \varepsilon_{it} \quad (16)$$

آزمون حذف کامل آثار غیرخطی را می‌توان به صورت آزمون فرضیه صفر $\theta_1 = \dots = \theta_m = 0$ تعریف کرد. به طور کلی، در یک مدل رگرسیون پانل آستانه‌ای یکنواخت با $t=*$ فرضیه $H_0: t=*$ را می‌توان در برابر فرضیه $H_0: t=*$ آزمون تا زمانی که فرضیه H_0 رد شود فرایند آزمون همچنان ادامه خواهد یافت و با تأیید نخستین H_0 خاتمه می‌یابد.

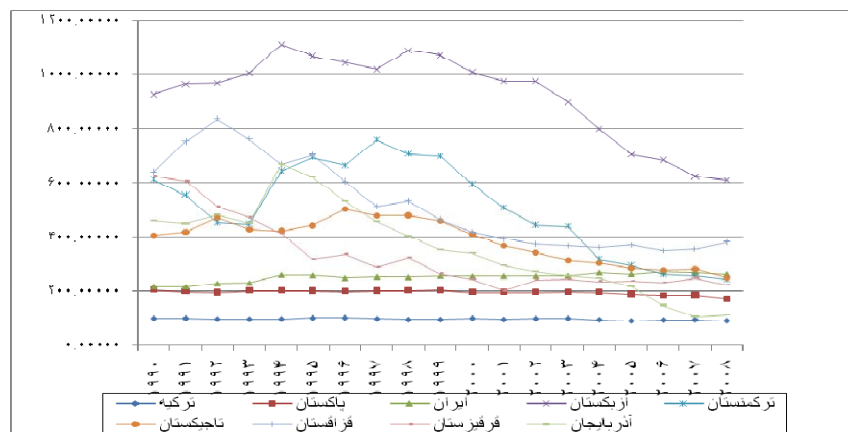
۴. داده‌ها و نتایج تحقیق

در این مقاله پانلی متشکل از ۱۰ کشور عضو سازمان همکاری اقتصادی (اگو) شامل ازبکستان، افغانستان، ایران، پاکستان، تاجیکستان، ترکمنستان، ترکیه، آذربایجان، قزاقستان و قرقیزستان در طول دوره (۲۰۰۸-۱۹۹۰) در نظر گرفته می‌شود. به دلیل عدم دسترسی به داده‌های مورد نظر برای افغانستان این کشور از فهرست نمونه‌ها حذف می‌گردد. مصرف انرژی شامل انرژی تجاری^۲ (ذغال سنگ، فرآورده‌های نفتی، گاز و برق) و بیوماس^۳ با واحد تن معادل نفت خام (toe) اندازه گیری می‌شود. داده‌های مربوط به جمعیت و تولید ناخالص داخلی نیز برای این کشورها جمع‌آوری شده‌اند. برای امکان مقایسه بین‌المللی کشورها تولید ناخالص داخلی بر حسب برابری قدرت خرید^۴ برای دلار سال ۲۰۰۰ بیان شده است. برای این منظور، ابتدا تولید ناخالص داخلی هر کشور بر حسب قیمت پایه سال ۲۰۰۰ به نرخ پول رایج آن کشور محاسبه شده، سپس با توجه به اینکه مصرف انرژی به صورت حجمی بیان شده است برای تعیین حجم واقعی تولید ناخالص داخلی و امکان مقایسه آن در کشورهای مختلف بر حسب برابری قدرت خرید برای دلار سال ۲۰۰۰ بیان

1. No Remaining Non-Linearity
2. Commercial Consumption
3. Biomass
4. Purchasing Power Parity (PPP)

می گردند. اگر چنین تبدیلی انجام نگردد با توجه به تغییرات نرخ ارز در بازه زمانی مذکور شدت انرژی بیش بر آورد یا کم بر آورد محاسبه می شود. به این ترتیب، با توجه به یکسان بودن تعداد سال های مشاهدات در کشورها پانل مورد استفاده از نوع متوازن خواهد بود.

نمودار (۲) تغییرات شدت انرژی در کشورهای عضو سازمان همکاری های اقتصادی (اكو) برای سال های (۲۰۰۸-۱۹۹۰) را نشان می دهد. این نمودار حاکی از پدیده همگرایی در میزان شدت انرژی بین کشورها است.



مأخذ: داده های جمع آوری شده توسط محقق از سایت IEA.

نمودار ۲. شدت انرژی اولیه در کشورهای عضو اكو
(کیلو تن معادل نفت خام برای هر هزار دلار ۲۰۰۰)

همانگونه که ملاحظه می شود برای کشورهای ایران، تاجیکستان، قزاقستان، ازبکستان و آذربایجان تئوری منحنی U وارونه در توصیف روند زمانی تغییرات شدت انرژی در این کشورها تأیید می گردد. برای توصیف مدل آستانه ای دو متغیر آستانه ای بالقوه را در نظر می گیریم. در مدل اول (A) فرض می شود مکانیزم انتقال با توجه به لگاریتم سطح درآمد سرانه $(q_{it}=y_{it})$ تعیین می شود و در مدل دوم (B) فرض می شود مکانیزم انتقال به نرخ رشد لگاریتم درآمد سرانه $(q_{it}=y_{it-1})$ وابسته است.

در مرحله نخست، توصیف تابع تقاضای انرژی به صورت لگاریتم خطی در مقابل توصیف آن با در نظر گرفتن آثار آستانه ای مورد آزمون قرار می گیرد. نتایج آزمون های خطی بودن و آزمون حذف کامل آثار غیر خطی در جدول (۱) ارائه شده است. برای هر یک از دو مدل A و B سه تصریح مختلف شامل یک، دو و سه پارامتر وضعیت $(m=1,2,3)$ در نظر گرفته می شود. برای هر یک از این توصیف ها آماره LM_F برای آزمون های خطی بودن مدل $H_0: \tau=0$ در مقابل $H_1:$

($f=1$) و نیز به‌طور کلی برای آزمون حذف کامل آثار غیرخطی ($H_0: f=a$ در مقابل $H_1: f=a+1$) محاسبه خواهد شد. مقادیر آماره مذکور تا زمان نخستین پذیرش H_0 گزارش می‌شود.

در صورتی که در آزمون نخست فرض صفر مبنی بر خطی بودن الگورد شود می‌بایست از بین مدل‌های غیرخطی بالقوه (نمایی و لجستیک) به انتخاب نوع مدل غیرخطی پرداخته و پارامترهای آن را تخمین زد. همانگونه که اشاره شد آزمون خطی بودن مدل رگرسیونی پانل آستانه‌ای یکتواخت را در قالب فرضیه صفر $H_0: \theta_1=\theta_2=\theta_3=0$ با استفاده از آماره F آزمون می‌کنیم. بر اساس نتایج جدول (۱) در صورت استفاده از هر یک از دو متغیر آستانه‌ای فرضیه صفر مبنی بر خطی بودن مدل رد و وجود آثار آستانه‌ای تأیید می‌شود. مقادیر آماره LM_F در این آزمون‌ها حاکی از آن است که در صورت استفاده از متغیر نرخ رشد لگاریتم در آمد سرانه جهت توصیف مکانیزم انتقال بین رژیم‌های تقاضا آثار آستانه‌ای قوی‌تری مشاهده می‌شود.

برای انتخاب نوع مدل رگرسیون انتقال یکتواخت از میان دو نوع الگوی نمایی و لجستیک با استفاده از نتایج تخمین معادله (۱۴) برای $m=1,2,3$ و برای هر یک از دو متغیر آستانه‌ای پیشنهادی سه فرضیه زیر را آزمون می‌کنیم:

$$H_{01}: \theta_1=0 \mid \theta_2=\theta_3=0$$

$$H_{02}: \theta_2=0 \mid \theta_3=0$$

$$H_{03}: \theta_3=0$$

که در آن، فرضیه H_{02} به معنای آزمون صفر بودن پارامتر θ_2 به شرط صفر بودن پارامتر θ_3 و فرضیه H_{01} به معنای صفر بودن پارامتر θ_1 به شرط صفر بودن پارامترهای θ_2 و θ_3 می‌باشد. اگر فرضیه H_{02} رد و دو فرضیه دیگر پذیرفته شود مدل نمایی و اگر هر یک از دو فرضیه H_{01} یا H_{03} رد شود مدل لجستیک انتخاب می‌شود. علاوه بر این، اگر هر سه فرضیه صفر رد شوند با توجه به مقادیر آماره‌های LM_F محاسبه شده و شدت رد فرضیه صفر در هر یک از سه آزمون انتخاب مدل به همان شیوه مذکور انجام می‌شود (اندرس، ۲۰۰۳). با توجه به نتایج جدول (۱) ملاحظه می‌شود فرضیه H_{02} در هر دو مدل تأیید شده و فرضیه‌های H_{01} و H_{03} در مدل A رد می‌شود. به علاوه، در مدل B نیز فرضیه H_{01} رد می‌شود، بنابراین مدل رگرسیون انتقال یکتواخت لجستیک برای تخمین الگوی غیرخطی انتخاب می‌گردد.

با استفاده از آزمون حذف کامل آثار غیرخطی می‌توانیم تعداد بهینه توابع انتقال (یا رژیم‌های حدی) را شناسایی کنیم. در یک مدل پانل آستانه‌ای یکتواخت با تعداد کمی از رژیم‌های حدی نیز به‌خوبی می‌توان غیرخطی بودن تقاضای انرژی یا به عبارت دیگر ناهمگنی کشورها و تغییرات کشش در آمدی در طول زمان را در مدل وارد نمود. یادآوری می‌شود که یک مدل انتقال یکتواخت حتی در صورت وجود دو رژیم حدی ($f=1$) می‌تواند تعداد نامحدودی از رژیم‌های میانی را در بر داشته باشد. به این ترتیب، حتی با وجود دو رژیم حدی ($f=1$) نیز بر اساس این مدل می‌توان طیفی از کشش‌های درآمدی (یا رژیم‌های مختلف) را با

توجه به مقادیر مختلف تابع انتقال $g(q_{it}; \gamma, c)$ بین صفر و یک نتیجه گرفت، بنابراین انتخاب r صرفاً از جهت شناسایی توصیف مناسب مدل صورت می‌گیرد.

جدول ۱. آزمون LM_F برای حذف کامل آثار غیرخطی

| مدل B | | | مدل A | | | مدل |
|------------------------------|----------|----------|-------------------|----------|----------|-------------------------|
| $q_{it} = y_{it} - y_{it-1}$ | | | $q_{it} = y_{it}$ | | | متغیر آستانه‌ای |
| m=3 | m=2 | m=1 | m=3 | m=2 | m=1 | تعداد پارامترهای موقعیت |
| ۲۰/۹۱۵۸۹ | ۳۱/۳۹۶۲۲ | ۶۲/۱۷۲۷۲ | ۶/۹۹۳۹۶۸ | ۴/۲۲۵۸۱۵ | ۸/۴۱۶۸۶۹ | $H_0: r=0$ |
| (۰/۰۰۰) | (۰/۰۰۰۰) | (۰/۰۰۰۰) | (۰/۰۰۰۰۲) | (۰/۰۱۶۲) | (۰/۰۰۴۲) | مقابل $H_1: r=1$ |
| | ۰/۲۶۳۵۴۱ | | | ۱۱/۹۴۸۳۲ | | H_{03} |
| | (۰/۶۰۸۴) | | | (۰۰۰۷۰) | | |
| | ۰/۷۳۰۶۲ | | | ۰/۰۸۳ | | H_{02} |
| | (۰/۳۹۴۰) | | | (۰/۷۷۳۶) | | |
| | ۶۲/۱۷۲۷ | | | ۸/۴۱۶۸۶۹ | | H_{01} |
| | (۰/۰۰۰۰) | | | (۰/۰۰۴۲) | | |

مأخذ: نتایج تحقیق مبتنی بر آمار ارائه شده در پیوست.

علاوه بر این، در مدل رگرسیونی پانل آستانه‌ای یکتواخت انتخاب تعداد پارامترهای وضعیت (m) ضروری است. بر اساس جدول (۱) مقادیر آماره F محاسبه شده برای m های مختلف در دو مدل A و B حاکی از آن است که $m=1$ در هر دو مدل A و B مناسب‌تر است، چرا که مقادیر آماره F در آن بیش از سایر مقادیر m می‌باشد.

در جدول (۲) نتایج تخمین پارامترهای تابع انتقال مدل لجستیک در معادله (۹) گزارش شده است. تخمین پارامترهای c و γ در این تابع با الگوریتم تکراری و بر اساس حداقل نمودن مجموع مربعات خطاها در معادله (۸) صورت گرفته است. به علاوه، نتیجه تخمین معادله (۸) نیز در این جدول ارائه شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود علامت پارامتر β_1 در هر دو مدل منفی است که این امر دلالت بر آن دارد که با افزایش متغیر آستانه‌ای (سطح درآمد یا نرخ رشد آن) کشش درآمدی تقاضای انرژی کاهش خواهد یافت.

در جدول (۲) پارامتر شیب تابع انتقال در مدل A برابر با $۴/۶۱$ برآورد شده است که پایین بودن مقدار آن (نسبت به مقدار بی‌نهایت که در آن تابع انتقال به یک تابع نماگر تبدیل می‌شود) یکتواخت بودن فرایند انتقال را تأیید می‌کند. این نکته از آن جهت اهمیت دارد که بیان می‌کند غیرخطی بودن تقاضای انرژی را نمی‌توان به چند رژیم محدود با کشش‌های درآمدی متفاوت تقلیل داد. در واقع، برخلاف مدل رگرسیونی پانل آستانه‌ای ساده یک مدل رگرسیونی پانل آستانه‌ای با تابع انتقال یکتواخت را می‌توان به عنوان مدلی که طیفی از رژیم‌های مختلف را شامل می‌شود تفسیر نمود. این طیف از رژیم‌های مختلف در اندازه‌گیری آثار آستانه‌ای تقاضای انرژی ضرورت خواهند داشت (جادسون، اشمالسنی و استاگر، ۱۹۹۹). نتایج حاکی از آن است که تجمیع کشورها در یک پانل و تخمین رابطه میان درآمد و تقاضای انرژی (یا درآمد و

شدت انرژی) حتی در صورت استفاده از توصیف درجه دوم رضایت‌بخش نخواهد بود زیرا در این رویکرد ناهمگنی روابط بین کشورها نادیده گرفته می‌شود.

جدول ۲. تخمین پارامترها در مدل رگرسیونی پانل آستانه‌ای یکنواخت با استفاده از یک تابع انتقال

| متغیرهای تابع انتقال | مدل A (۱و۱) | مدل B (۱و۱) |
|---|---------------------|--------------------|
| پارامتر درآمدی β_0 | ۰/۷۹۱ (۰/۱۱۸) | ۱/۱۹۸۸ (۰/۰۷۵) |
| پارامتر درآمدی β_1 | -۰/۳۴۱۹ (۰/۰۸۷۳) | -۰/۶۳۴۵ (۰/۱۲۴) |
| پارامتر آستانه برای اولین تابع انتقال C | ۱/۳۱ | -۰/۰۸ |
| پارامتر شیب برای اولین تابع انتقال γ | ۴/۶۱ | ۴۰۱/۰۱ |

نکته: اعداد داخل پرانتز بیانگر انحراف استاندارد پارامترهای تخمینی می‌باشد.

مأخذ: نتایج تحقیق مبتنی بر آمار ارائه شده در پیوست.

در جدول (۳) نتایج آزمون فرضیه وجود یک تابع انتقال ($H_0: r=1$) در مقابل فرضیه وجود دو تابع انتقال ($H_1: r=2$) برای مقادیر مختلف m گزارش شده است. ملاحظه می‌گردد بر اساس آماره LM_F وجود دو تابع انتقال در مدل A رد و در مدل B تأیید می‌شود. بر اساس آماره‌های آکائیک و شوارتز برای انتخاب توصیف بهینه مدل تقاضای انرژی همچنان استفاده از یک تابع انتقال در هر دو مدل A و B توصیه می‌شود.

جدول ۳. آزمون LM_F برای حذف کامل آثار غیرخطی با در نظر گرفتن دو تابع انتقال

| مدل B | | | مدل A | | | مدل |
|-------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-----------------------------------|
| $q_{it} = y_{it} - y_{i,t-1}$ | | | $q_{it} = y_{it}$ | | | متغیر آستانه‌ای |
| $m=3$ | $m=2$ | $m=1$ | $m=3$ | $m=2$ | $m=1$ | تعداد پارامترهای موقعیت |
| ۳/۹۶۸۹ (۰/۰۰۹۳) | ۵/۹۷۴۶ (۰/۰۰۳۲) | ۱۱/۴۷۱۱ (۰/۰۰۰۹) | ۱/۷۹۲۹ (۰/۱۵۰۷) | ۱/۵۵۷۴۸ (۰/۳۴۹۸) | ۱/۱۱۱۲ (۰/۲۶۸۱) | در $H_0: r=1$ مقابل $H_1: r=2$ |
| مدل B | | | مدل A | | | مدل |
| شوارتز | | | شوارتز | | | معیارهای اطلاعاتی |
| آکائیک | | | آکائیک | | | با وجود یک تابع انتقال |
| -۰/۲۹۱۰ | -۰/۵۳۸۸ | -۰/۵۳۸۸ | ۰/۱۴۷۵ | -۰/۰۹۱۲۹ | -۰/۰۹۱۲۹ | با وجود دو تابع انتقال |
| -۰/۲۵۹۷ | -۰/۵۲۶۵ | -۰/۵۲۶۵ | ۰/۱۷۷ | -۰/۰۸۰ | -۰/۰۸۰ | |

مأخذ: نتایج تحقیق مبتنی بر آمار ارائه شده در پیوست.

۵. محاسبه کشش‌های درآمدی

پس از تخمین پارامترهای مدل تقاضای انرژی (معادله) می‌توانیم با استفاده از معادله (۱۳) کشش‌های درآمدی تقاضای انرژی را برای هر یک از کشورهای در هر یک از سال‌ها به‌طور جداگانه محاسبه کنیم. با توجه به تأیید وجود یک تابع انتقال در مدل پانل آستانه‌ای یکتواخت در این مطالعه کشش‌های درآمدی به‌صورت زیر محاسبه خواهند شد:

$$e_{it} = \frac{\partial c_{it}}{\partial y_{it}} = \beta_0 + \beta_1 g(q_{it}; \gamma, c) + \beta_1 y_{it} \frac{\partial g(q_{it}; \gamma, c)}{\partial y_{it}} \quad (17)$$

با توجه به اطلاعات جدول (۳) و با توجه به انتخاب تابع لجستیک برای توصیف تابع انتقال این رابطه برای مدل A به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$e_{it} = \frac{\partial c_{it}}{\partial y_{it}} = 0.791 - \frac{0.3419}{[1 + \exp(-4.61(y_{it} - 1.31))]} - \frac{0.3419 y_{it} (4.61 \times \exp(-4.61(y_{it} - 1.31)))}{[1 + \exp(-4.61(y_{it} - 1.31))]^2} \quad (18)$$

برای مدل B نیز خواهیم داشت:

$$e_{it} = \frac{\partial c_{it}}{\partial y_{it}} = 1.1988 - \frac{0.6345}{[1 + \exp(-401.01((y_{it} - y_{i,t-1}) + 0.08))]} - \frac{0.6345 y_{it} (401.01 \times \exp(-401.01((y_{it} - y_{i,t-1}) + 0.08)))}{[1 + \exp(-401.01((y_{it} - y_{i,t-1}) + 0.08))]^2} \quad (19)$$

میانگین و انحراف استاندارد کشش‌های درآمدی هر کشور در طول دوره مورد مطالعه را با استفاده از روابط زیر می‌توان محاسبه نمود:

$$\bar{e}_i = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T e_{it}, S_{e,i} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (e_{it} - \bar{e})^2} \quad (20)$$

مقایسه این کشش‌ها با کشش‌های برآورد شده بر اساس مدل پانل درجه دوم با آثار ثابت (معادله ۵) که در آن کشش درآمدی برابر با $\beta + 2\lambda y_{it}$ می‌باشد نتایج قابل توجهی به‌دنبال خواهد داشت. از تخمین معادله (۵) برآورد پارامترها به‌صورت $\beta = 0.7392$ و $\lambda = 0.1476$ می‌آید که کشش‌های درآمدی برای هر کشور و در هر سال را به‌صورت $e_{it} = 0.7392 - 0.2952 y_{it}$ می‌توان محاسبه نمود. میانگین و انحراف استاندارد کشش درآمدی در مدل درجه دوم به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{e}_i^q = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T e_{it}^q = \beta + 2\lambda \bar{y}_i, S_{e,i}^q = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (e_{it}^q - \bar{e}_i^q)^2} \quad (21)$$

بر اساس محاسبات انجام شده میانگین و انحراف استاندارد کشش‌های درآمدی در مدل تقاضای انرژی پانل درجه دوم با آثار ثابت و دو مدل تقاضای انرژی مبتنی بر رگرسیون پانل آستانه‌ای یکپارچه در جدول (۴) با یکدیگر مقایسه شده است.

جدول ۴. میانگین و انحراف استاندارد کشش‌های درآمدی تقاضای انرژی در کشورهای عضو او (۱۹۹۰-۲۰۰۸)

| مدل | درجه دوم با آثار ثابت | | رگرسیون پانل آستانه‌ای یکنواخت (A) | | رگرسیون پانل آستانه‌ای یکنواخت (B) | |
|-----------|-----------------------|------------------|---------------------------------------|------------------|---------------------------------------|------------------|
| | میانگین | انحراف استاندارد | میانگین | انحراف استاندارد | میانگین | انحراف استاندارد |
| آذربایجان | ۰/۵۸۹ | ۰/۰۵۷۴ | ۰/۷۴۳ | ۰/۰۵۸ | -۰/۲۷۵ | ۳/۵۰۸ |
| قرقیزستان | ۰/۶۷۶ | ۰/۰۲۳ | ۰/۷۸۵ | ۰/۰۰۳ | -۰/۵۵۳ | ۲/۶۸۱ |
| قزاقستان | ۰/۵۳۰ | ۰/۰۳۵ | ۰/۶۹۵ | ۰/۰۶۲ | -۱/۹۷۶ | ۸/۱۵۵ |
| تاجیکستان | ۰/۷۴۳ | ۰/۰۴۵ | ۰/۷۸۹ | ۰/۰۰۲ | ۱/۵۴۵ | ۲/۸۷۶ |
| ترکمنستان | ۰/۵۴۵ | ۰/۰۲۱ | ۰/۷۰۳ | ۰/۰۴۲ | ۰/۸۱۰ | ۰/۰۵۷۹ |
| ازبکستان | ۰/۶۷۷ | ۰/۰۱۹ | ۰/۷۸۶ | ۰/۰۰۲ | ۰/۱۴۸ | ۱/۶۸۸ |
| ایران | ۰/۵۱۱ | ۰/۰۱۹ | ۰/۶۷۱ | ۰/۰۴۲ | -۶/۰۷۲ | ۱۲/۲۱۸ |
| پاکستان | ۰/۶۵۶ | ۰/۰۱۱ | ۰/۷۸۴ | ۰/۰۰۲ | -۳/۸۰۱ | ۵/۲۶۰ |
| ترکیه | ۰/۴۵۷ | ۰/۰۱۸ | ۰/۵۲۴ | ۰/۰۶۸ | -۵/۵۶۸ | ۱۶/۰۲۴ |

مأخذ: نتایج تحقیق.

باید توجه داشت که در رویکرد مدل آثار ثابت واریانس کشش درآمدی بین کشورها تنها ناشی از تفاوت در تولید ناخالص داخلی سرانه بین کشورها می‌باشد. با توجه به یکسان بودن پارامترهای β و λ برای تمام کشورها تفاوت در کشش‌های درآمدی تنها از تفاوت در متوسط تولید ناخالص داخلی سرانه ناشی می‌شود، در نتیجه هر چه درآمد سرانه کشوری بیشتر باشد کشش درآمدی تقاضای انرژی آن بزرگتر بوده و رابطه بین متوسط درآمد و کشش درآمدی آکیلا خطی است. وجود آثار آستانه‌ای یکپارچه امکان می‌دهد طیفی از کشش‌های درآمدی مختلف را با فرض یک متغیر آستانه‌ای مشخصی داشته باشیم، بنابراین رابطه بین درآمد و کشش درآمدی آکیلا غیرخطی است. البته متوسط کشش درآمدی حاصل از دو مدل الزاماً تفاوت بسیاری ندارند، اما برای برخی کشورها ممکن است این تفاوت زیاد باشد، در این صورت به ازای یک سطح تولید ناخالص داخلی یکسان مدل تقاضای انرژی این کشورها بسیار متفاوت از سایر کشورهای نمونه خواهد بود.

با توجه به تغییرات کشش‌های درآمدی در طول زمان مقادیر گزارش شده در جدول (۴) میانگین کشش‌های برآورد شده در طول دوره (۱۹۹۰-۲۰۰۸) می‌باشد. از جدول (۴) مشاهده می‌شود زمانی که در مدل رگرسیون پانل آستانه‌ای یکپارچه سطح تولید ناخالص داخلی سرانه به‌عنوان متغیر آستانه به کار می‌رود برآورد کشش‌ها نزدیک به برآورد مدل درجه دوم با آثار ثابت است، به این معنا که برای این کشورها مدل آثار ثابت درجه دوم رامی‌توان به‌عنوان تقریب درجه دوم تیلور از یک مدل رگرسیون پانل آستانه‌ای

یکواخت به کار گرفت، گرچه الگوی تغییرات زمانی کشش های درآمدی در دو مدل الزاماً یکسان نیست. کشش های درآمدی برآورد شده از مدل درجه دوم با آثار ثابت و مدل رگرسیون پانل آستانه ای یکواخت از نوع A برای هر یک از کشورهای مورد مطالعه طی دوره (۲۰۰۸-۱۹۹۰) در نمودار (۳) گزارش شده است. ملاحظه می شود که در کشورهای نمونه برآورد کشش ها با استفاده از دو مدل در طول زمان رفتار مشابهی دارند، بنابراین در این کشورها یک مدل همگن درجه دوم تقریب خوبی برای نشان دادن پویایی های کشش درآمدی حاصل از مدل ناهمگن می باشد. به نظر می رسد کشش های درآمدی منفی محاسبه شده بر اساس مدل B قابل توجیه نیست و میزان انحراف استاندارد کشش های درآمدی بین سال های مختلف نیز رقم بالایی است، بنابراین ترجیحاً از نتایج مدل A و مدل درجه دوم با آثار ثابت برای تفسیر کشش ها استفاده می کنیم.

یک روش برای نشان دادن مزیت مدل رگرسیون پانل آستانه ای یکواخت نسبت به مدل درجه دوم با آثار ثابت مقایسه پارامترهای برآورد شده در مدل درجه دوم با آثار ثابت در دوزیر نمونه است، چنانچه کل نمونه را به دوزیر نمونه (۱) و (۲) تقسیم کنیم بر اساس جدول (۵) پارامترهای برآورد شده برای دوزیر نمونه اساساً متفاوتند. به عبارتی، برای سطح یکسان تولید ناخالص داخلی سرانه کشش های درآمدی تقاضای انرژی کشورهای دوزیر نمونه یکسان نیست و تنها یک مدل رگرسیون پانل آستانه ای یکواخت (مدل آثار تصادفی) قادر است چنین ناهمگنی را نشان دهد.

جدول ۵. تابع تقاضای انرژی درجه دوم در مدل آثار ثابت

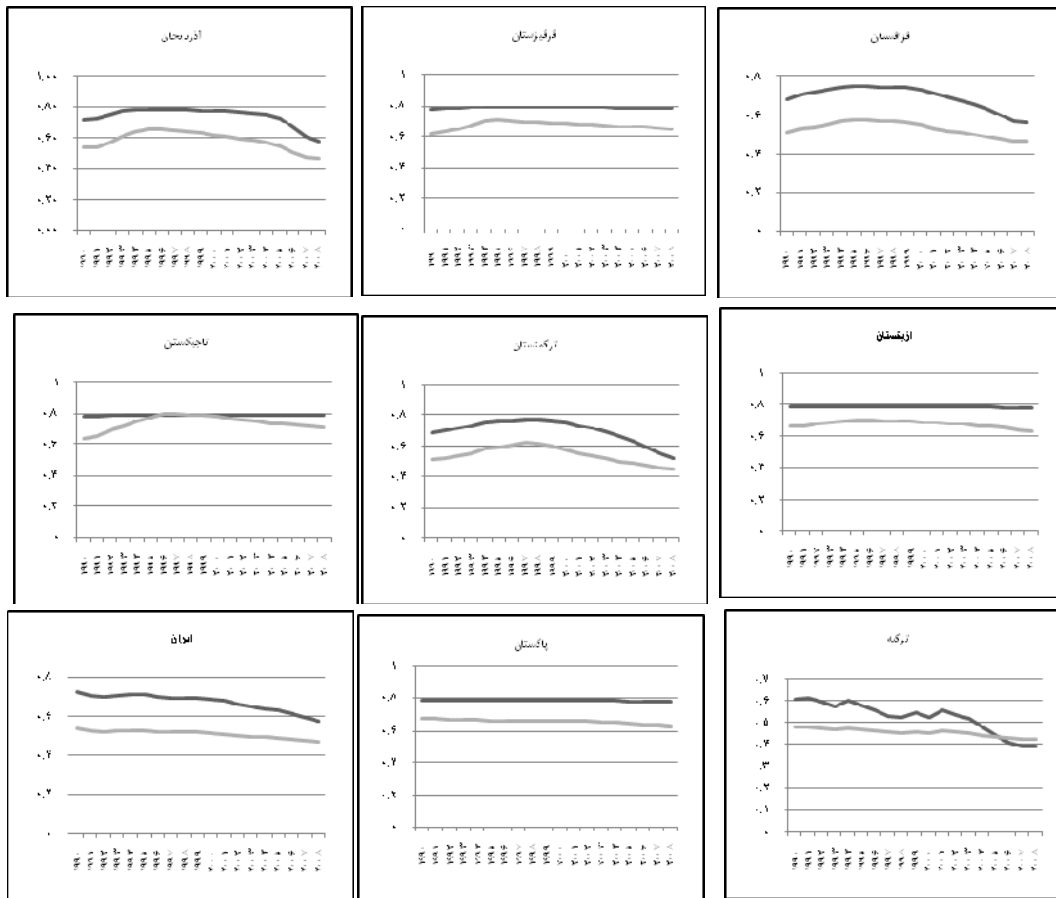
| کل نمونه | زیر نمونه (۱) | زیر نمونه (۲) | |
|------------|---------------|---------------|--------------------------|
| ۰/۷۳۹۲۰۴ | ۰/۸۳۴۱۰۱ | -۰/۰۸۸۰۱۸ | پارامتر درآمدی β_0 |
| (۰/۱۳۳۵۵۵) | (۰/۱۷۳۴۳۴) | (۰/۲۹۷۸۱۸) | |
| -۰/۱۴۷۶۴۶ | -۰/۲۲۰۲۵۳ | ۰/۱۳۹۰۴۶ | پارامتر درآمدی β_1 |
| (۰/۰۵۰۸۹۲) | (۰/۰۷۶۶۰۴) | (۰/۰۹۱۰۸۴) | |
| ۸/۴۴۷۷ | ۷/۱۱۷۶۷۴ | ۱/۰۵۹۶۸۴ | مجموع مربعات خطا (RSS) |

مأخذ: نتایج تحقیق.

رابطه زیر تغییرات شدت انرژی را به رشد اقتصادی و کشش درآمدی تقاضای انرژی مربوط می کند:

$$\text{درصد تغییرات شدت انرژی} = \frac{d\left(\frac{C}{Y}\right)}{\frac{C}{Y}} = \frac{YdC - CdY}{Y^2} \times \frac{Y}{C} = \frac{dC}{C} - \frac{dY}{Y} = \frac{dY}{Y} [e - 1] \quad (22)$$

بر اساس این رابطه می توان با در اختیار داشتن کشش های درآمدی تقاضای انرژی تغییرات شدت انرژی هر کشور را تحت سناریوهای مختلف رشد اقتصادی به راحتی پیش بینی نمود. بر اساس میانگین کشش های درآمدی محاسبه شده در جدول (۴) می توان درصد تغییرات شدت انرژی هر کشور را تحت سناریوهای مختلف رشد اقتصادی با استفاده از رابطه (۲۲) پیش بینی کرد. نتایج این پیش بینی با لحاظ میانگین کشش های درآمدی محاسبه شده از مدل A در جدول (۶) آمده است.



نکته: خط تیره نشان‌دهنده برآورد کشش درآمدی بر اساس مدل رگرسیون پانل آستانه‌ای یکنواخت با $q_{it} = y_{it}$ و خط روشن نشانگر برآورد کشش درآمدی بر اساس مدل آثار ثابت درجه دوم می‌باشد.

جدول ۶. پیش‌بینی درصد تغییرات شدت انرژی در کشورهای عضو اکو تحت سه سناریوی مختلف رشد

| سناریوی اول: نرخ رشد ۲ (درصد) | سناریوی دوم: نرخ رشد ۴ (درصد) | سناریوی سوم: نرخ رشد ۶ (درصد) | |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------|
| -۰/۵۱۴ | -۱/۰۲۸ | -۱/۵۴۲ | آذربایجان |
| -۰/۴۳ | -۰/۸۶ | -۱/۲۹ | قرقیزستان |
| -۰/۶۱ | -۱/۲۲ | -۱/۸۳ | قزاقستان |
| -۰/۴۲۲ | -۰/۸۴۴ | -۱/۲۶۶ | تاجیکستان |
| -۰/۵۹۴ | -۱/۱۸۸ | -۱/۷۸۲ | ترکمنستان |
| -۰/۴۲۸ | -۰/۸۲۶ | -۱/۲۸۴ | ازبکستان |
| -۰/۶۵۸ | -۱/۳۱۶ | -۱/۹۷۴ | ایران |
| -۰/۴۳۲ | -۰/۸۶۴ | -۱/۲۹۶ | پاکستان |
| -۰/۹۵۲ | -۱/۹۰۴ | -۲/۸۵۶ | ترکیه |

مأخذ: نتایج تحقیق.

ملاحظه می‌شود به ترتیب کشورهای ترکیه، ایران و قزاقستان از بین کشورهای عضو اکو همگام‌بارشد اقتصادی از ظرفیت بالاتری برای کاهش در رشد شدت انرژی برخوردارند. در ایران بارشد اقتصادی ۲ درصد براساس این مدل پیش‌بینی می‌شود شدت انرژی به میزان ۶/۶۵۸ درصد کاهش یابد. کاهش در شدت انرژی براساس رشد اقتصادی ۴ و ۶ درصد به ترتیب ۱/۳۱۶ و ۱/۹۷۴ درصد خواهد بود. به علاوه، بارشد اقتصادی ۲ درصد در این کشورها شدت انرژی در کل کمتر از یک درصد، بارشد اقتصادی ۴ درصد، کمتر از ۲ درصد و بارشد اقتصادی ۶ درصد کمتر از ۳ درصد کاهش خواهد یافت. بنابراین، استفاده از برآورد کاهش در آملی تقاضای انرژی به راحتی می‌توان تغییرات شدت انرژی را پیش‌بینی نمود.

۶. نتیجه‌گیری

شدت انرژی تولید ناخالص داخلی معیاری برای اندازه‌گیری و ارزیابی کارایی انرژی در اقتصاد است. پیش‌بینی تقاضای انرژی تحت سناریوهای مختلف رشد اقتصادی به پیش‌بینی تغییرات این شاخص بستگی دارد. یک روش برای بررسی تغییرات شدت انرژی آن است که کاهش مصرف انرژی نسبت به تولید ناخالص داخلی مورد مطالعه قرار گیرد. مشاهدات تجربی نشان دهنده ناهمگنی در مدل‌های جهانی تقاضای انرژی و ناهمگنی در کاهش‌های درآمدی تقاضای انرژی می‌باشد، از این رو در این مقاله به معرفی روش بنیادی برای توصیف ناهمگنی و تغییرات کاهش درآمدی تقاضای انرژی در طول زمان پرداختیم. این روش مبتنی بر مدل‌های رگرسیون انتقال یکنواخت می‌باشد. در واقع، جنبه ناهمگنی در رویکرد پانل برای توصیف غیرخطی بودن تقاضای انرژی به کار می‌رود. آزمون فرضیه خطی بودن مدل تقاضای انرژی در مقابل مدل رگرسیون پانل آستانه‌ای یکنواخت برای کشورهای عضو سازمان همکاری اقتصادی (اکو) و در فاصله زمانی سال‌های (۲۰۰۸-۱۹۹۰) رد می‌شود، بنابراین استفاده از رگرسیون‌های آستانه‌ای با توجه به یک متغیر آستانه برای برآورد کردن این رابطه پیشنهاد می‌شود. برآورد رگرسیون پانل آستانه‌ای یکنواخت برای توصیف تابع تقاضای انرژی در کشورهای عضو اکو بیانگر آن است که:

- در این کشورها کاهش درآمدی کمتر از واحد بوده در نتیجه تقاضای انرژی نسبت به درآمد کم کاهش است.

به عبارتی، بارشد تولید ناخالص داخلی تقاضای انرژی به همان میزان افزایش نخواهد داشت.

- در طول زمان و در اغلب کشورهای عضو اکو شاهد کاهش کشش‌های درآمدی تقاضای انرژی بودیم. این کاهش به‌ویژه در ایران به‌خوبی مشهود است، به طوری که بر اساس مدل آستانه‌ای یک‌نواخت که در آن از سطح تولید ناخالص داخلی سرانه به‌عنوان متغیر آستانه استفاده می‌شود کشش درآمدی از ۰/۷۲۳ در سال ۱۹۹۰ به ۰/۵۷۵ در سال ۲۰۰۸ رسیده است.

- در کشورهای مورد مطالعه کشش‌های درآمدی بسیار به یکدیگر نزدیک است. این امر نشان‌دهنده آن است که این کشورها از ساختار اقتصادی مشابهی برخوردارند. در این مورد شاید بیشترین تفاوت در ترکیه مشاهده شود.

- استفاده از برآورد کشش‌های تقاضای انرژی برای پیش‌بینی تغییرات شدت انرژی به میزان رشد اقتصادی بستگی دارد. هر چه رشد اقتصادی کشورها بالاتر باشد شدت انرژی بیشتر کاهش خواهد یافت. بر اساس پیش‌بینی مدل ارائه‌شده در این مطالعه کشورهای ترکیه، ایران و قزاقستان که از بین کشورهای عضو اکو از درآمد سرانه بالاتری برخوردارند همراه با رشد اقتصادی کاهش بیشتری در شدت انرژی نیز تجربه خواهند کرد.

منابع

- سیف، اله‌مراد (۱۳۸۷)، "شدت انرژی: عوامل تأثیرگذار و تخمین یک تابع پیشنهادی"، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی.
- Ang, B.W. (1987), "A Cross-Sectional Analysis of Energy-Output Correlation", *Energy Economics*, October, PP. 274-85.
- Ang, B.W. (2006), "Monitoring Changes in Economy-Wide Energy Efficiency: From Energy-GDP Ratio to Composite Efficiency Index", *Energy Policy*, Vol. 34, No. 5, March, PP. 574-82.
- Baumann, Florian (2008), "Energy Security as Multidimensional Concept' Center for Applied Policy Research (CAP)", Research Group on European Affairs, No. 1, March, P. 6.
- Destais, G., Fouquau, J. & C. Hurin (2007), *Economic Development and Energy Intensity*, (Palgrave Macmillan).
- Enders, Walter (2003), "Applied Econometric Time Series", Wiley Press.
- Gonzalez, A., Terasvirta, T. & D. Van Dijk (2004), "Panel Smooth Transition Regression Model and an Application to Investment under Credit Constraint", Working Paper Stockholm School of Economics.
- Judson, R.A., Schmalensee, R. & T. M. Stoker (1999), "Economic Development and the Structure of the Demand for Commercial Energy", *Energy Journal*, Vol. 20, No. 2, PP. 28-57.
- Hansen, B. E. (1999), "Threshold Effects in Non-Dynamic Panels: Estimation, Testing and Inference", *Journal of Econometrics*, Vol. 93, PP. 345-68.
- Hausman, J.A. (1978), "Specification Tests in Econometrics", *Econometrica*, Vol. 46, PP. 1251-71.
- Hsiao, C. (2003), *Analysis of Panel Data*, 2nd edn (Cambridge University Press).
- Kuznets, S. (1955), "Economic Growth and Income Inequality", *American Economic Review*, Vol. 45, PP. 1-28.
- Martin, J. M. (1988), "L'Intensité Énergétique de l'Activité Économique dans les Pays Industrialisés : les Evolutions de Très Longue Période Livrent-Elles des Enseignements Utiles?", *Economie et Société*, No. 4, PP. 9-27.
- Medlock, K. B. & R. Soligo (2001), "Economic Development and End-Use Energy Demand", *The Energy Journal*, Vol. 22, No. 2, PP. 77-105.
- Müller-Fürstenberger, G., Wagner, M. & B. Müller (2004), *Exploring the Carbon Kuznets Hypothesis*, Oxford Institute for Energy Studies, EV 34.

رابطه توسعه اقتصادی و شدت انرژی در کشورهای عضو او. ... ۱۰۳

Percebois, J. (1979), "Le Concept d'Intensité Energétique Est-il Significatif?", *Revue d'Economie Politique*, No. 4, PP. 509–27.

Schafer, A. (2003), "Structural Change in energy Use", *Energy Policy*, Vol. 33, PP. 429–37.

Shrestha, R. M. (2000), "Estimation of International Output–Energy Relation: Effects of Alternative Output Measures", *Energy Economics*, Vol. 22, PP. 297–308.

www.iea.org

پیوست

| قزاقستان | | | | قرقیزستان | | | | آذربایجان | | | |
|-----------|-----------|------------------|-----------|-----------|------------------|-----------|-----------|------------------|------|--|--|
| شدت انرژی | GDP سرانه | مصرف انرژی سرانه | شدت انرژی | GDP سرانه | مصرف انرژی سرانه | شدت انرژی | GDP سرانه | مصرف انرژی سرانه | سال | | |
| ۶۳۹/۹۷۴۲ | ۵/۶۹۷۸۵۹ | ۳/۶۶۶۴۸۳ | ۶۲۵/۴۵۲۹ | ۲/۴۹۷۷۳۸ | ۱/۵۶۲۲۱۷ | ۴۶۱/۶۹۰۸ | ۴/۷۲۴۸۶ | ۲/۱۸۱۴۲۵ | ۱۹۹۰ | | |
| ۷۵۴/۴۸۰۸ | ۵/۰۴۰۱۲۲ | ۳/۸۰۲۶۷۵ | ۶۰۸/۳۴۹۷ | ۲/۲۶۲۲۲۲ | ۱/۳۷۶۲۲۲ | ۴۴۹/۵۲۳۸ | ۴/۶۲۱۷۳۳ | ۲/۰۷۷۵۷۹ | ۱۹۹۱ | | |
| ۸۳۷/۵۸۷۶ | ۴/۷۷۵۵۴۷ | ۳/۹۹۹۹۳۹ | ۵۱۳/۲۴۲ | ۱/۹۲۵۲۷۵ | ۰/۹۸۸۱۳۲ | ۴۸۱/۶۵۲۸ | ۳/۵۲۳۰۳۵ | ۱/۶۹۶۸۸۳ | ۱۹۹۲ | | |
| ۷۶۴/۶۹۳۵ | ۴/۳۶۵۵۸۵ | ۳/۳۳۸۳۳۴ | ۴۷۲/۱۹۹۷ | ۱/۶۳۲۱۵۹ | ۰/۷۷۰۷۰۵ | ۴۴۹/۹۵ | ۲/۶۶۶۶۶۷ | ۱/۱۹۹۸۶۷ | ۱۹۹۳ | | |
| ۶۶۸/۶۴۰۷ | ۳/۸۷۰۱۸۶ | ۲/۵۸۷۷۶۴ | ۴۱۳/۶۸۲۴ | ۱/۳۰۳۹۶۵ | ۰/۵۳۹۴۲۷ | ۶۶۹/۶۷۶۲ | ۲/۱۱۳۱۵۸ | ۱/۴۱۵۱۳۲ | ۱۹۹۴ | | |
| ۷۰۵/۱۳۹۹ | ۳/۶۱۵۶۷۶ | ۲/۵۴۹۵۵۸ | ۳۱۸/۰۳۵۷ | ۱/۲۲۰۰۴۴ | ۰/۳۸۸۰۱۷ | ۶۲۱/۷۵۱۴ | ۱/۸۴۱۳۵۲ | ۱/۱۴۴۸۶۳ | ۱۹۹۵ | | |
| ۶۰۴/۹۵۷۴ | ۳/۶۸۹۹۸۷ | ۲/۲۲۲۲۸۵ | ۳۳۶ | ۱/۲۸۷۵۵۴ | ۰/۴۲۲۶۱۸ | ۵۳۳/۶۵۸۵ | ۱/۸۴۹۲۲۷ | ۰/۹۸۶۸۵۶ | ۱۹۹۶ | | |
| ۵۱۱/۶۶۶۱ | ۳/۸۱۳۴۳۸ | ۱/۹۵۱۲۰۷ | ۲۸۸/۷۷۰۹ | ۱/۳۹۳۳۳۵ | ۰/۴۰۳۳۲۶ | ۴۵۷/۱۸۰۵ | ۱/۹۳۶۲۲۴ | ۰/۸۸۵۲۰۴ | ۱۹۹۷ | | |
| ۵۳۲/۴۸۴۷ | ۳/۸۰۵۵۷۴ | ۲/۰۲۶۴۱ | ۳۲۳/۱۷۹۸ | ۱/۴۰۲۰۸۳ | ۰/۴۵۳۱۲۵ | ۴۰۳/۱۷۳۷ | ۲/۱۱۱۲۵۲ | ۰/۸۵۱۲۰۱ | ۱۹۹۸ | | |
| ۴۶۲/۶۹۹۵ | ۳/۹۴۵۰۷۷ | ۱/۸۲۵۳۸۵ | ۲۶۵/۷۵۹۳ | ۱/۴۳۲۲۶۵ | ۰/۳۸۰۹۰۳ | ۳۵۲/۲۵۸۸ | ۲/۲۴۶۸۶۷ | ۰/۷۹۱۴۷۹ | ۱۹۹۹ | | |
| ۴۱۶/۴۳۷۳ | ۴/۳۴۶۱۰۲ | ۱/۸۰۹۸۷۹ | ۲۴۵/۳۸۰۴ | ۱/۴۹۵۹۳۵ | ۰/۳۶۷۰۷۳ | ۳۴۰/۴۶۱۸ | ۲/۴۷۴۵۳۴ | ۰/۸۴۲۴۸۴ | ۲۰۰۰ | | |
| ۳۹۲/۴۱۱۴ | ۴/۹۳۹۴۳۵ | ۱/۹۳۸۲۹۱ | ۲۰۰/۹۰۳۲ | ۱/۵۶۲۵ | ۰/۳۱۳۹۱۱ | ۲۹۵/۷۵۳۴ | ۲/۷۰۰۳۷ | ۰/۷۹۸۶۴۴ | ۲۰۰۱ | | |
| ۳۷۱/۶۱۲۹ | ۵/۴۲۳۹۵۷ | ۲/۱۵۶۱۲ | ۲۴۴/۵۸۰۶ | ۱/۵۵۳۱۰۶ | ۰/۳۷۶۷۵۴ | ۲۷۴/۳۱۸۷ | ۲/۹۶۴۵۰۴ | ۰/۸۱۳۲۱۹ | ۲۰۰۲ | | |
| ۳۶۶/۴۴۳۴ | ۵/۹۰۸۱۱۵ | ۲/۱۶۴۹۹ | ۲۴۴/۰۲۹ | ۱/۶۴۴۴۱ | ۰/۴۰۱۳۸۹ | ۲۵۷/۲۹۶۷ | ۳/۲۷۲۱۷۵ | ۰/۸۴۱۹۲ | ۲۰۰۳ | | |
| ۳۶۰/۲۶۹۳ | ۶/۴۳۲۳۷۸ | ۲/۳۱۷۳۸۸ | ۲۳۷/۰۴۹۵ | ۱/۴۴۵۹۷ | ۰/۴۱۳۵۵۶ | ۲۴۸/۴۱۶۴ | ۳/۵۷۱۶ | ۰/۸۸۷۲۴۴ | ۲۰۰۴ | | |
| ۳۷۰/۲۵۷۸ | ۶/۹۹۰۷۵۹ | ۲/۵۸۸۳۸۳ | ۲۳۷/۴۷۱۸ | ۱/۲۳۳۷۳۵ | ۰/۴۰۹۳۳۹ | ۲۱۷/۰۰۸۸ | ۴/۴۷۰۷۹۹ | ۰/۹۷۰۲۰۳ | ۲۰۰۵ | | |
| ۳۴۷/۶۵۰۳ | ۷/۶۵۸۳۹۳ | ۲/۶۶۲۴۴۳ | ۲۳۳/۲۹۶۸ | ۱/۷۵۹۱۵۲ | ۰/۴۱۰۴۰۵ | ۱۴۷/۸۶۹۲ | ۵/۹۴۲۲۸۵ | ۰/۸۷۸۶۸۱ | ۲۰۰۶ | | |
| ۳۵۳/۳۳۶۵ | ۸/۲۴۸۰۶۲ | ۲/۹۱۴۳۴۱ | ۲۴۴/۴۹۳۹ | ۱/۸۸۵۴۹۶ | ۰/۴۰۴۰۴۲ | ۱۰۵/۳۰۹۹ | ۷/۳۵۳۱۴۷ | ۰/۷۷۴۵۵۹ | ۲۰۰۷ | | |
| ۳۸۰/۷۰۸۸ | ۸/۴۰۳۶۹۹ | ۳/۱۹۹۳۶۲ | ۲۲۲/۲۷۴۴ | ۲/۰۱۵۱۵۲ | ۰/۴۴۶۹۱۷ | ۱۱۱/۷۱۶۷ | ۸/۰۵۲۹۹۵ | ۰/۸۹۹۶۵۴ | ۲۰۰۸ | | |

| ازبکستان | | | | ترکمنستان | | تاجکستان | | | |
|-----------|-----------|------------------|-----------|-----------|------------------|-----------|-----------|------------------|------|
| شدت انرژی | GDP سرانه | مصرف انرژی سرانه | شدت انرژی | GDP سرانه | مصرف انرژی سرانه | شدت انرژی | GDP سرانه | مصرف انرژی سرانه | سال |
| ۹۲۷/۶۸۰۵ | ۱/۸۳۷۱۵۳ | ۱/۷۰۴۲۹۱ | ۶۱۲/۱۲۴۲ | ۵/۶۱۸۵۲۹ | ۳/۴۳۹۲۳۷ | ۴۰۶/۴۲۳۶ | ۲/۱۷۳۵۸۵ | ۰/۸۸۳۳۹۶ | ۱۹۹۰ |
| ۹۶۵/۷۸۶۷ | ۱/۷۸۹۹۷۶ | ۱/۷۲۸۷۳۵ | ۵۵۵/۴۱۹۸ | ۵/۲۱۲۲۰۲ | ۲/۸۹۴۹۶ | ۴۱۷/۹۴۳۹ | ۱/۹۷۴۱۷ | ۰/۸۲۵۰۹۲ | ۱۹۹۱ |
| ۹۶۹/۲۷۹۳ | ۱/۵۵۲۴۴۸ | ۱/۵۰۴۷۵۵ | ۴۵۳/۶۲۷۱ | ۴/۷۸۴۰۶۲ | ۲/۱۷۰۱۸ | ۴۷۱/۷۱۰۵ | ۱/۳۷۶۸۱۲ | ۰/۶۴۹۴۵۷ | ۱۹۹۲ |
| ۱۰۰۴/۸۵۷ | ۱/۴۸۲۶۸ | ۱/۴۸۹۸۸۱ | ۴۴۶/۵۶۷۲ | ۴/۱۸۷۵ | ۱/۸۷ | ۴۲۷/۲۴۴۱ | ۱/۱۳۱۹۰۷ | ۰/۴۸۳۶۰۱ | ۱۹۹۳ |
| ۱۱۱۶/۰۵۱ | ۱/۳۷۸۰۱۶ | ۱/۵۳۷۹۳۶ | ۶۴۳/۳۲۱۳ | ۳/۳۷۸۰۴۹ | ۲/۱۷۳۱۷۱ | ۴۲۳ | ۰/۸۷۸۷۳۵ | ۰/۳۷۱۷۰۵ | ۱۹۹۴ |
| ۱۰۷۱/۱۰۶ | ۱/۳۴۰۹۳۹ | ۱/۴۳۶۲۸۸ | ۶۹۶/۰۳۱۱ | ۳/۰۶۶۸۲۶ | ۲/۱۳۶۰۶ | ۴۴۲/۴۶۵۸ | ۰/۷۵۷۷۸۵ | ۰/۳۳۵۲۹۴ | ۱۹۹۵ |
| ۱۰۴۵/۲۳۸ | ۱/۳۳۷۹۲۵ | ۱/۳۹۸۴۵ | ۶۶۴/۸۰۴ | ۲/۸۰۷۹۶۳ | ۱/۸۶۶۷۴۵ | ۵۰۳/۸۳۵۶ | ۰/۶۲۲۸۶۷ | ۰/۳۱۳۸۲۳ | ۱۹۹۶ |
| ۱۰۱۹/۴۱۹ | ۱/۳۸۱۴۹۶ | ۱/۴۰۸۳۲۳ | ۷۶۱/۵۶۰۲ | ۲/۴۵۷۲۷۵ | ۱/۸۷۱۳۶۳ | ۴۷۸/۹۷۵۷ | ۰/۶۲۴۵۷۹ | ۰/۲۹۹۱۵۸ | ۱۹۹۷ |
| ۱۰۹۲/۶۹۸ | ۱/۴۱۷۸۷۹ | ۱/۵۴۹۳۱۴ | ۷۰۷/۳۱۲۸ | ۲/۵۸۵۴۲۱ | ۱/۸۲۸۷۰۲ | ۴۸۰/۰۵۱۲ | ۰/۶۴۹۵۰۲ | ۰/۳۱۱۷۹۴ | ۱۹۹۸ |
| ۱۰۷۴/۹۷۹ | ۱/۴۵۷۷۸۷ | ۱/۵۶۷۰۹ | ۶۹۹/۶۲۱۸ | ۲/۹۷۰۷۸۷ | ۲/۰۷۸۴۲۷ | ۴۵۹/۲۵۹۳ | ۰/۶۶۳۹۳۴ | ۰/۳۰۴۹۱۸ | ۱۹۹۹ |
| ۱۰۰۹/۶۱۵ | ۱/۴۹۷۷۶۹ | ۱/۵۱۲۱۷ | ۵۹۵/۵۹۶۷ | ۳/۴۸۲۲۲۲ | ۲/۰۷۴ | ۴۱۰/۲۵۰۶ | ۰/۷۱۱۵۰۷ | ۰/۲۹۱۸۹۶ | ۲۰۰۰ |
| ۹۷۷/۳۵۹ | ۱/۵۴۰۶۴۹ | ۱/۵۰۵۷۶۷ | ۵۰۸/۲۱۴۱ | ۴/۱۳۸۱۵۸ | ۲/۱۰۳۰۷ | ۳۶۶/۷۳۵۵ | ۰/۷۷۵۶۴۱ | ۰/۲۸۴۴۵۵ | ۲۰۰۱ |
| ۹۷۷/۷۸۰۶ | ۱/۵۸۳۳ | ۱/۵۴۸۱۲ | ۴۴۳/۹۶۱۶ | ۴/۲۱۳۸۲ | ۲/۰۹۶۱۱۲ | ۳۴۲/۱۳۴۸ | ۰/۸۳۶۷۶۷ | ۰/۲۸۶۳۷۱ | ۲۰۰۲ |
| ۹۰۰/۲۸۷۸ | ۱/۶۳۰۴۲۶ | ۱/۴۶۷۸۵۳ | ۴۳۱/۸۲۷۳ | ۵/۴۴۴۶۸۱ | ۲/۳۸۲۸۳ | ۳۱۳/۹۴۱۵ | ۰/۹۱۰۶۵۸ | ۰/۲۸۵۸۹۳ | ۲۰۰۳ |
| ۸۰۱/۷۵۹۵ | ۱/۷۳۶۲۷۲ | ۱/۳۹۲۰۷۳ | ۳۱۶/۸۶۶۷ | ۶/۲۸۹۳۰۸ | ۱/۹۹۲۸۷۲ | ۳۰۵/۱۳۲۲ | ۰/۹۹۶۸۹۹ | ۰/۳۰۴۱۸۶ | ۲۰۰۴ |
| ۷۰۶/۹۱۰۹ | ۱/۸۳۵۶۹ | ۱/۲۹۷۶۶۹ | ۲۹۵/۳۹۸۲ | ۷/۰۱۸۶۳۴ | ۲/۰۷۳۲۹۲ | ۲۸۴/۸۳۹۷ | ۱/۰۴۸۹۳ | ۰/۲۹۸۷۷۷ | ۲۰۰۵ |
| ۶۸۵/۹۹۴۲ | ۱/۹۴۶۰۱۷ | ۱/۳۳۴۹۵۷ | ۲۶۲/۳۹۴۱ | ۷/۰۶۱۲۲ | ۲/۰۲۲۰۴۱ | ۲۷۸/۲۰۱۶ | ۱/۱۰۷۰۸۹ | ۰/۳۰۷۹۹۴ | ۲۰۰۶ |
| ۶۲۳/۴۰۱۲ | ۲/۱۰۰۸۵۶ | ۱/۳۰۹۶۷۶ | ۲۵۷/۲۸۵۲ | ۸/۴۹۵۹۶۸ | ۲/۱۸۵۸۸۷ | ۲۸۱/۴۱۵۹ | ۱/۱۷۵۳۳۴ | ۰/۳۰۷۵۸ | ۲۰۰۷ |
| ۶۱۱/۵۸۷۸ | ۲/۲۵۳۰۲۱ | ۱/۳۷۷۹۲ | ۲۴۳/۰۹۴۹ | ۹/۱۹۸۸۰۷ | ۲/۲۳۶۱۸۳ | ۲۵۰/۵۸۵۵ | ۱/۲۴۸۵۳۸ | ۰/۳۱۲۸۶۵ | ۲۰۰۸ |

| ترکیه | | | پاکستان | | | ایران | | | سال |
|-----------|-----------|------------------|-----------|-----------|------------------|-----------|-----------|------------------|------|
| شدت انرژی | GDP سرانه | مصرف انرژی سرانه | شدت انرژی | GDP سرانه | مصرف انرژی سرانه | شدت انرژی | GDP سرانه | مصرف انرژی سرانه | |
| ۹۷/۴۷۲۷ | ۷/۴۵۸۴۵۴ | ۰/۷۲۶۹۹۶ | ۲۰۴/۱۴۶۱ | ۱/۶۴۸۴۵۳ | ۰/۳۳۶۵۲۵ | ۲۱۵/۶۴۲۸ | ۴/۷۱۵۸۰۹ | ۱/۰۱۶۹۳ | ۱۹۹۰ |
| ۹۸/۰۷۴۳۳ | ۷/۴۰۱۳۵۶ | ۰/۷۲۵۸۸۳ | ۱۹۸/۲۰۸۷ | ۱/۶۸۸۵۷۸ | ۰/۳۳۴۶۹۱ | ۲۱۴/۴۶۷۷ | ۵/۲۲۵۲۱۷ | ۱/۱۲۰۶۴ | ۱۹۹۱ |
| ۹۵/۳۱۳۲۵ | ۷/۷۱۶۲۶۶ | ۰/۷۳۵۴۶۲ | ۱۹۳/۵۷۰۶ | ۱/۷۷۳۶۸۸ | ۰/۳۴۳۳۳۴ | ۲۲۷/۳۲۰۴ | ۵/۳۶۰۰۹۳ | ۱/۲۱۸۴۵۹ | ۱۹۹۲ |
| ۹۴/۹۶۷۴۸ | ۸/۲۰۴۲۸۳ | ۰/۷۷۹۱۴ | ۲۰۲/۰۹۸ | ۱/۷۶۰۲۲ | ۰/۳۵۵۷۳۷ | ۲۲۹/۷۴۱۲ | ۵/۱۹۱۶۲۷ | ۱/۱۹۲۷۳۱ | ۱۹۹۳ |
| ۹۵/۶۶۷۷۶ | ۷/۶۳۴۰۹۲ | ۰/۷۳۰۳۳۷ | ۲۰۰/۶۶۷۹ | ۱/۷۸۰۷۳۷ | ۰/۳۵۷۳۳۷ | ۲۶۱/۰۳۹۴ | ۵/۰۹۱۳۶۴ | ۱/۳۲۹۰۴۷ | ۱۹۹۴ |
| ۹۸/۸۶۱۸۷ | ۸/۰۵۷۰۶۲ | ۰/۷۹۶۵۳۶ | ۱۹۹/۹۳۷۳ | ۱/۸۲۳۵۸۲ | ۰/۳۶۴۶۰۲ | ۲۵۸/۹۷۴۹ | ۵/۱۴۳۰۰۳ | ۱/۳۳۱۹۰۸ | ۱۹۹۵ |
| ۹۹/۹۱۲۶۶ | ۸/۴۹۲۱۷۱ | ۰/۸۴۸۴۷۵ | ۱۹۷/۲۰۰۷ | ۱/۸۶۵۸ | ۰/۳۶۷۹۳۷ | ۲۴۸/۷۳۲۷ | ۵/۴۲۲۶۷۹ | ۱/۳۴۸۷۹۸ | ۱۹۹۶ |
| ۹۶/۰۹۷۵۴ | ۸/۹۹۶۵۹ | ۰/۸۶۴۵۵ | ۱۹۹/۶۳۶۱ | ۱/۸۳۹۹۵ | ۰/۳۶۷۳۲۱ | ۲۵۴/۰۵۴۲ | ۵/۵۲۱۳۸۲ | ۱/۴۰۲۷۳ | ۱۹۹۷ |
| ۹۳/۴۲۳۶۸ | ۹/۱۴۴۰۹۲ | ۰/۸۵۴۲۷۵ | ۲۰۰/۷۲۲ | ۱/۸۴۲۱۴۹ | ۰/۳۶۹۷۶ | ۲۵۲/۲۴۱۲ | ۵/۵۷۶۳۹۵ | ۱/۴۰۶۵۹۷ | ۱۹۹۸ |
| ۹۳/۵۲۹۸۶ | ۸/۷۰۹۴۸۴ | ۰/۸۱۴۵۹۷ | ۲۰۲/۵۴۷۲ | ۱/۸۶۴۰۸۵ | ۰/۳۷۷۵۶۵ | ۲۵۷/۱۷۲۱ | ۵/۵۸۹۳۴۸ | ۱/۴۳۷۴۲۴ | ۱۹۹۹ |
| ۹۸/۱۵۸۸۶ | ۹/۱۷۰۷۱۳ | ۰/۹۰۰۱۸۷ | ۱۹۵/۰۵۶۷ | ۱/۸۹۷۲۳۳ | ۰/۳۷۰۰۶۸ | ۲۵۶/۱۴۸۹ | ۵/۷۸۱۳۵۸ | ۱/۴۸۰۸۸۸ | ۲۰۰۰ |
| ۹۳/۶۸۷۵۸ | ۸/۵۳۱۳۱۷ | ۰/۷۹۹۲۷۸ | ۱۹۴/۶۵۸۶ | ۱/۸۸۸۷۲۴ | ۰/۳۶۷۶۵۶ | ۲۵۶/۶۰۲ | ۵/۸۹۷۵۰۷ | ۱/۵۱۳۳۱۲ | ۲۰۰۱ |
| ۹۷/۰۱۰۱۲ | ۸/۹۳۷۸۸۸ | ۰/۸۶۷۰۶۶ | ۱۹۴/۰۶۳۹ | ۱/۹۰۳۱۷۵ | ۰/۳۶۹۳۳۷ | ۲۵۶/۲۳۷۶ | ۶/۲۴۱۷۸۲ | ۱/۵۹۹۳۷۹ | ۲۰۰۲ |
| ۹۷/۶۲۱۷۷ | ۹/۲۸۷۴۲۳ | ۰/۹۰۶۶۵۵ | ۱۹۶/۲۱۶۴ | ۱/۹۴۷۸۵۸ | ۰/۳۸۲۲۰۲ | ۲۵۷/۹۶۶۶ | ۶/۵۸۳۲۳۴ | ۱/۶۹۸۲۵۵ | ۲۰۰۳ |
| ۹۲/۹۹۶۱۷ | ۱۰/۰۲۸۰۵ | ۰/۹۳۲۵۷۱ | ۱۹۵/۰۵۸۶ | ۲/۰۴۱۵۶۳ | ۰/۳۹۸۲۲۴ | ۲۷۰/۱۹ | ۶/۸۱۳۱۳۴ | ۱/۸۴۰۸۴ | ۲۰۰۴ |
| ۸۸/۸۶۹۴۲ | ۱۰/۷۳۵۷۸ | ۰/۹۵۴۰۸۳ | ۱۸۷/۵۶۰۲ | ۲/۱۴۵۷۹۲ | ۰/۴۰۲۴۶۵ | ۲۶۳/۹۴۶۳ | ۷/۰۲۳۰۱۳ | ۱/۸۵۳۶۹۸ | ۲۰۰۵ |
| ۹۲/۰۷۶۴۴ | ۱۱/۳۳۷۰۸ | ۱/۰۴۳۸۷۸ | ۱۸۳/۴۶۸۶ | ۲/۲۳۲۰۷۵ | ۰/۴۰۹۵۱۶ | ۲۷۲/۹۱۲۲ | ۷/۳۲۹۶۷۲ | ۲/۰۰۳۵۷ | ۲۰۰۶ |
| ۹۲/۸۴۵ | ۱۱/۷۲۴۴۵ | ۱/۰۸۸۵۵۷ | ۱۸۳/۹۸۱ | ۲/۳۱۶۶۰۸ | ۰/۴۲۶۰۲۸ | ۲۷۱/۲۶۱ | ۷/۸۰۰۹۰۱ | ۲/۱۱۶۰۸ | ۲۰۰۷ |
| ۸۹/۴۹۰۵۹ | ۱۱/۶۹۳۳ | ۱/۰۴۶۴۴۱ | ۱۷۰/۳۹۸۶ | ۲/۴۰۸۰۷ | ۰/۴۰۹۰۹۴ | ۲۶۴/۵۲۳۸ | ۸/۱۳۰۰۷۲ | ۲/۱۵۰۵۹۸ | ۲۰۰۸ |

مأخذ: نتایج تحقیق.