

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

داود منظور

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

لیلی نیakan

دانشجوی دکترای 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. 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 گرد، 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 سیار 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: *Co1, 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 شاندنه شدت انرژی^۲ اقتصاد است. شدت انرژی ییانگر انرژی لازم برای تولید یک واحد محصول در سطح ملی می‌باشد. شدت انرژی در سطح یک صنعت یا یک فرایند تولیدی خاص بحسب 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 بررسی افزایش کارایی انرژی هم از نظر کاهش وابستگی انرژی کشور به خارج و هم از نظر کنترل تعابات زیست‌محیطی مصرف بالای انرژی استفاده می‌کند (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 به عنوان یکی از اهداف اصلی در سیاست‌های انرژی دنیا 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 نزخ ثابت منجر به رابطه معکوسی میان کشش مصرف انرژی نسبت به تولید ناخالص داخلی و نزخ رشد اقتصادی می‌شود. بر عکس، 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 براساس آن اشکال تابعی متفاوتی با توجه به مقادیر کشش درآمدی نتیجه خواهد شد (دستایس، فرکوا 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. به طور 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 کوزنتس (۱۹۵۵) برای میان 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 اقتصادان محیط‌زیست تحت عنوان منحنی کوزتس برای یان رابطه بین انتشار آلاینده‌ها و فعالیت اقتصادی رواج پیشتری یافت (مولو و فورستیر^۲ گ 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 (آنگ، ۲۰۰۶). عامل نخست رامی توان 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 منابع 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 کشورهای 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 پرسشن 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 موردنموده، سپس به معروفی یک مدل پانل آستانه‌ای^۹ با فرایند انتقال یک‌کواخت^{۱۰} می‌پردازم 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 قابع 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، β لگاریتم مصرف سرانه انرژی اولیه در کشور آلم در یک نمونه از N کشور در سال مورد مطالعه، y_i لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه، α و ε_i ضرایب ثابت رگرسیونی و ε_i : جزء اختلال با میانگین صفر و واریانس s^2 می‌باشد. 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 $\beta Y^{(1-\beta)}$ * خواهد بود که در آن Y سطح تولید ناخالص داخلی و یک عدد ثابت می‌باشد.

ضعف اصلی رویکرد مقطعی آن است که در این مدل‌ها به طور ضمنی فرض می‌شود قانونمندی‌ها و روابط یکسانی برای تمام کشورهای برقرار است (مدل‌لاک و سولیگو، ۲۰۰۱). از سوی دیگر، ضعف بزرگ رابطه ساختاری لگاریتم خطی آن است که اساساً نمی‌تواند رابطه غیرکوaxt بین شدت انرژی و درآمد را که شواهد تجربی منحنی U وارونه بر آن دلالت دارد باز تولید 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 (آنگ، ۱۹۷۷):

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

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 (2) برابر با یک باشد به حد اکثر مقدار ممکن خود می‌رسد و آن زمانی است که لگاریتم تولید ناخالص داخلی سرانه y_i با $1 - \beta = 2\lambda$ باشد.

به هر حال، در این رویکرد بعد زمان صراحتاً مورد توجه قرار نمی‌گیرد. استفاده از اقتصادستنجی 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 تقاضاً مانند معادله (2) خواهد بود با این تفاوت که در آن برای متغیرها اندیس زمان نیز در نظر گرفته می‌شود:

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

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:

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

آثار فردی^۲ 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 تخمین‌زننده حداقل مریعات معمولی (OLS) و اگر آثار فردی تصادفی باشد تخمین‌زننده حداقل مریعات تعییم‌یافته (GLS) بهترین تخمین‌زن خطی بدون تورش^۳ خواهد بود (شیتو، ۲۰۰۳). انتخاب میان این دو توصیف به فرض استقلال میان a_i و y_{it} بستگی دارد که از طریق آزمون استاندارد هاسمن (1978) مشخص می‌شود.

به هر حال، در این مدل ناهمگی 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 (a_i) بستگی دارد. از نظر نظر کشش پارامترهای شبیه β و λ که تعیین کننده کشش مصرف انرژی نسبت به تولید ناخالص داخلی (y_{it}) هستند همگن فرض می‌شوند، بنابراین 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 شبیه مدل تقاضای انرژی بین

کشورها ناهمگن باشند:

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

-
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 مشاهده شده به نام متغیر آستانه‌ای^۳ دسته‌بندی نمود (هاسن، ۱۹۹۹). در یک مدل رگرسیون پانل آستانه‌ای در هر زمان کشورها با توجه به یک متغیر قابل مشاهده به نام متغیر آستانه به گروههای باکشن‌های 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 مشاهده شده برای یک کشور مشخص کمتر از یک مقدار معین موسوم به پارامتر آستانه باشد رابطه درآمد-تفاضلاً 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 دور زیم 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 رارگرسیون 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 (گونزالس، تراسویرتا و وان دیک، ۲۰۰۴). به این ترتیب، مدل تقاضای انرژی پانل آستانه‌ای یکتواخت با درزیم حدی و یک تابع انتقال را می‌توان به صورت زیر تعریف 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 زیر بیان می‌شود:

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

که در آن، بردار (c_1, c_2, \dots, c_m) برداری از پارامترهای وضعیت^۱ و لذتگیر شیب تابع انتقال است. اگر $\gamma = 1$ باشد در این صورت مدل رارگرسیون انتقال یکتواخت نمایی^۲ و اگر $\gamma = 2$ باشد مدل رارگرسیون انتقال یکتواخت لجستیک^۳ می‌نامند.

استفاده از مدل رارگرسیون پانل آستانه‌ای یکتواخت برای تقاضای انرژی از سه مزیت اصلی برخوردار است. نخست اینکه در این مدل پارامترها (و کشنش درآمدی) می‌توانند بین کشورها و در زمان‌های مختلف متفاوت باشند و به صورت تابعی از متغیر آستانه‌ای q_{it} به طور یکتواخت تغییر نمایند. به طور دقیق‌تر، کشنش 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 کشنش درآمدی کشور آن در زمان اعبارت 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، $\beta_1 \leq e_{it} \leq \beta_0 + \beta_1$ و اگر $\beta_1 < 0$ باشد، $\beta_0 \leq e_{it} \leq \beta_0 + \beta_1$ خواهد بود.

دوم اینکه مقدار کشنش درآمدی برای یک کشور مشخص و در یک زمان مشخص می‌تواند متفاوت از پارامترهای برآورد شده برای رژیم‌های حدی 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:

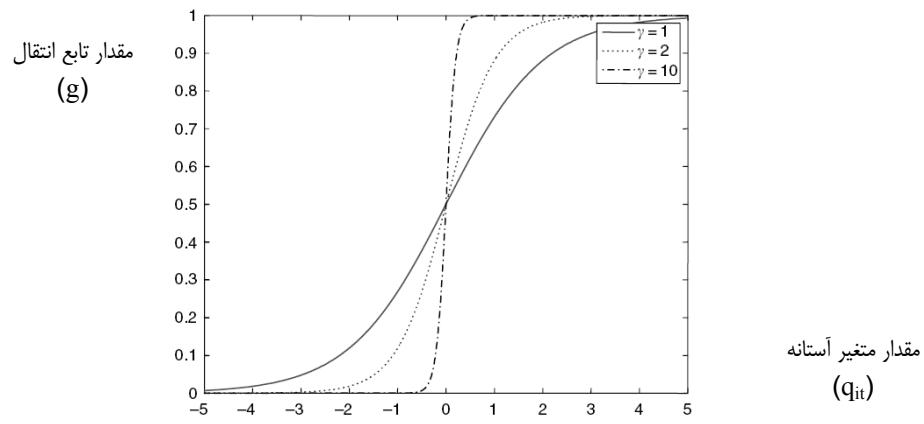
-
1. Location Parameters
 2. Exponential Smooth Transition Regression (ESTR)
 3. Logistic Smooth Transition Regression (LSTR)

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 رامی توان تعیین 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 می‌کند تابع انتقال $g(q_{it}; \gamma)$ به تابع نماگر رابطه (۷) تبدیل شده و مدل رگرسیون پانل آستانه‌ای یکنواخت به مدل رگرسیون پانل آستانه‌ای تقلیل می‌یابد. اگر $1 < \gamma < \infty$ و γ به سمت بی‌نهایت می‌کند تنها دو رژیم حدی مشابه خواهیم داشت، اما تابع انتقال در c_1, c_2, \dots, c_r میان صفر و یک تغییر وضعیت می‌دهد. زمانی که γ به سمت صفر 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 یکنواخت رامی توان برای $r+1$ رژیم حدی به صورت زیر تعیین داد:

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

که در آن، v_{it} نشان‌دهنده تعداد توابع انتقال است و هر تابع انتقال به پارامترهای شبیه γ و پارامترهای وضعیت c_j بستگی خواهد داشت.



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

در حالت تعیین یافته نمودار (۱) اگر متغیر آستانه متغیر دیگری بجز y_{it} باشد کشش درآمدی کشور آم در زمان t به صورت میانگین وزنی $\beta_1 + \dots + \beta_r$ پارامتر β_i متناظر با $i+1$ رژیم حدی تعریف می‌شود:

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

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

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

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

۳. تخمین مدل و آزمون‌های تشخیص

برای تخمین پارامترهای مدل رگرسیون پانل آستانه‌ای یکنواخت ابتدا آثار فردی α_i از مدل حذف می‌شوند، سپس با استفاده از روش حداقل مربعات غیرخطی مدل تبدیل یافته تخمین زده می‌شود. گوزالس، تراسویرتا و وان دیک (۲۰۰۴) دو آزمون را برای این مدل پیشنهاد نمودند: آزمون برای خطی بودن مدل در مقابل مدل رگرسیون پانل آستانه‌ای یکنواخت و تعیین تعداد توابع انتقال (t) و بعده آن تعداد رژیم‌های حدی ($i+1$). یک مدل تقاضای انرژی با یک پارامتر وضعیت ($m=1$) و متغیر آستانه‌ای q_{it} در نظر می‌گیریم. خطی بودن^۱ مدل رگرسیون پانل آستانه‌ای یکنواخت را می‌توان با آزمون فرضیه $H_0: \beta_1 = \dots = \beta_m = 0$ مورد آزمون قرار داد، اما از آنجا که تحت فرضیه صفر در مدل رگرسیون پانل آستانه‌ای یکنواخت برخی پارامترهای ناشناخته وجود دارند این فرضیه را نمی‌توان با استفاده از آزمون‌های 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 $0=\gamma$ جایگزین کیم و فرضیه همارز 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 آستانه‌ای یکنواخت را می‌توان 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 حدی (H_0) را مورد آزمون قرار داد. برای این منظور، فرضیه صفر مبتنی بر حذف کامل آثار غیرخطی^۱ در تابع انتقال به صورت مرحله‌یا پیاپی آزمون می‌شود. به عنوان مثال، تصور کید فرضیه خطی بودن مدل رد شده است. حال پرسش این است که آیا یک تابع انتقال ($H_0: H_i = 1$) وجود دارد یا آنکه حلائق دو تابع انتقال ($H_1: H_i = 2$) مدل موردنظر را توصیف می‌کند. فرض کید مدل برای حالت ۲ 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 γ_2 را جایگزین نموده و وجود محدودیت‌های خطی بر پارامترها را آزمون کیم:

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

آزمون حذف کامل آثار غیرخطی را می‌توان به صورت آزمون فرضیه صفر $H_0: \theta_1 = \dots = \theta_m = 0$ تعریف کرد. به طور کلی، در یک مدل رگرسیون پانل آستانه‌ای یکنواخت با^۲ $H_0: H_i = 1$ فرضیه^۳ را می‌توان در برابر فرضیه^۴ $H_1: H_i = 1 + \text{آزمود تازمانی که فرضیه } H_0 \text{ رد شود}$ فرایند آزمون همچنان ادامه خواهد یافت و با تأیید نخستین H_0 خاتمه می‌یابد.

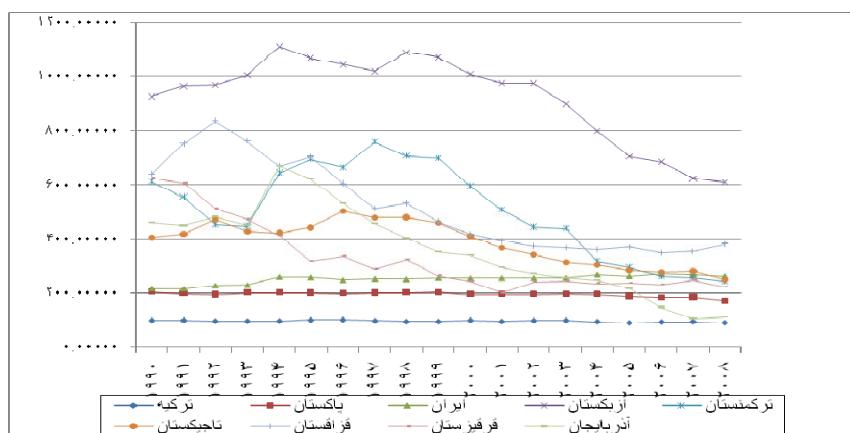
۴. داده‌ها و نتایج تحقیق

در این مقاله پانلی مشکل از ۱۰ کشور عضو سازمان همکاری اقتصادی (اکو) شامل ازبکستان، افغانستان، ایران، پاکستان، تاجیکستان، ترکمنستان، ترکیه، آذربایجان، قرقیزستان و قرقیزستان در طول دوره (۱۹۹۰-۲۰۰۸) در نظر گرفته می‌شود. به دلیل عدم دسترسی به داده‌های موردنظر برای افغانستان این کشور از فهرست نمونه‌ها حذف می‌گردد. مصرف انرژی شامل انرژی تجاری^۵ (ذغال‌سنگ، فرآورده‌های نفتی، گاز و برق) و یوماس^۶ با واحد تن معادل نفت خام (toe) اندازه‌گیری 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^۷ برای دلار سال ۲۰۰۰ ییان 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 ییان 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 ییان

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

می‌گردد. اگر چنین تبدیلی انجام نگیرد با توجه به تغییرات نرخ ارز در بازه زمانی مذکور شدت انرژی پیش‌برآورد یا کم‌برآورد محاسبه می‌شود. به این ترتیب، با توجه به یکسان بودن تعداد سال‌های مشاهدات در کشورها پانل مورد استفاده از نوع متوازن خواهد بود.

نمودار (۲) تغییرات شدت انرژی در کشورهای عضو سازمان همکاری‌های اقتصادی (اکو) برای سال‌های (۱۹۹۰-۲۰۰۸) را نشان می‌دهد. این نمودار حاکی از پذیده همگرایی در میزان شدت انرژی بین کشورها است.



مأخذ: داده‌های جمع آوری شده توسط محقق از سایت IEA.

نمودار ۲. شدت انرژی اولیه در کشورهای عضو اکو

(کیلوتون معادل نفت خام برای هر هزار دلار (۲۰۰۰)

همانگونه که ملاحظه می‌شود برای کشورهای ایران، تاجیکستان، قزاقستان، ازبکستان و آذربایجان توری منحنی U وارونه در توصیف روند زمانی تغییرات شدت انرژی در این کشورها تأثیر می‌گردد. برای توصیف مدل آستانه‌ای دو متغیر آستانه‌ای بالقوه را در نظر می‌گیریم. در مدل اول (A) فرض می‌شود مکانیزم انتقال با توجه به لگاریتم سطح درآمد سرانه ($q_{it} = y_{it}$) تعیین می‌شود و در مدل دوم (B) فرض می‌شود مکانیزم انتقال به نرخ رشد لگاریتم درآمد سرانه ($q_{it} = y_{it} - \ln(y_{it})$) وابسته است.

در مرحله نخست، توصیفتابع تقاضای انرژی به صورت لگاریتم خطی در مقابل توصیف آن با در نظر گرفتن آثار آستانه‌ای مورد آزمون قرار می‌گیرد. نتایج آزمون‌های خطی بودن و آزمون حذف کامل آثار غیرخطی 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 می‌شود. برای هر یک از این توصیف‌ها آماره LM_F برای آزمون‌های خطی بودن مدل ($H_0: i=0$) در مقابل:

(۱) و نیز به طور کلی برای آزمون حذف کامل آثار غیرخطی ($H_0: r=a+1$ در مقابل $H_1: H_0$) 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 الگور德 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 یکواخت رادر قالب فرضیه صفر $H_0: \theta_1 = \theta_2 = \dots = \theta_m = 0$ با استفاده از آماره F آزمون می‌کیم. بر اساس نتایج جدول (۱) در صورت استفاده از هر یک از دو متغیر آستانه‌ای فرضیه صفر مبنی بر خطی بودن مدل رد وجود آثار آستانه‌ای تأیید می‌شود. مقادیر آماره F در این آزمون‌ها حاکمی از آن است که در صورت استفاده از متغیر نزد رشد لگاریتم در آمد سرانه جهت توصیف مکانیزم انتقال بین رژیم‌های تقاضا آثار آستانه‌ای قوی تری مشاهده می‌شود. برای انتخاب نوع مدل رگرسیون انتقال یکواخت از میان دونوع 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 می‌کیم:

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

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

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

که در آن، فرضیه H_{01} به معنای آزمون صفر بودن پارامتر θ_1 به شرط صفر بودن پارامتر θ_3 و فرضیه H_{02} به معنای صفر بودن پارامتر θ_1 به شرط صفر بودن پارامترهای θ_2 و θ_3 می‌باشد. اگر فرضیه H_{02} رد شود 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 را شوند با توجه به مقادیر آماره‌ای 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 یکواخت لجستیک برای تخمین الگوی غیرخطی انتخاب می‌گردد.

با استفاده از آزمون حذف کامل آثار غیرخطی می‌توانیم تعداد بهنه توسعه انتقال (یا رژیم‌های حدی) را شناسایی کنیم. در یک مدل پانل آستانه‌ای یکواخت با تعداد کمی از رژیم‌های حدی نیز به خوبی می‌توان غیرخطی بودن تقاضای ارزی یا به عبارت دیگر ناهمگی کشورها و تغیرات کشش در آمدی در طول زمان رادر مدل وارد نمود. یادآوری می‌شود که یک مدل انتقال یکواخت حتی در صورت وجود دو رژیم حدی ($I=I$) می‌تواند تعداد نامحدودی از رژیم‌های میانی رادر برداشته باشد. به این ترتیب، حتی با وجود دو رژیم حدی ($I=I$) نیز بر اساس این مدل می‌توان طیفی از کشش‌های در آمدی (یا رژیم‌های مختلف) را با

توجه به مقادیر مختلفتابع انتقال $(q_{it}; \gamma, c)g$ بین صفر و یک نتیجه گرفت، بنابراین انتخاب ۲ صرفاً از جهت شناسایی توصیف مناسب مدل صورت می‌گیرد.

جدول ۱. آزمون LM_F برای حذف کامل آثار غیرخطی

مدل B				مدل A				مدل
$q_{it} = y_{it} - y_{i,t-1}$				$q_{it} = y_{it}$				متغیر آستانه‌ای
m=3	m=2	m=1	m=3	m=2	m=1	m=1	m=1	تعداد پارامترهای موقعیت
۲۰/۹۱۵۸۹ (۰/۰۰۰)	۳۱/۳۹۶۲۲ (۰/۰۰۰)	۶۲/۱۷۲۷۲ (۰/۰۰۰)	۶/۹۹۳۹۶۸ (۰/۰۰۰۲)	۴/۲۲۵۸۱۵ (۰/۰۱۶۲)	۸/۴۱۶۸۶۹ (۰/۰۰۴۲)	$H_0: t=0$ $H_1: t=1$		در مقابل
۰/۲۶۳۵۴۱ (۰/۰۶۰۸۴)				۱۱/۹۴۸۳۲ (۰۰۰۷۰)				H_{03}
۰/۷۳۰۶۲ (۰/۳۹۴۰)					۰/۰۸۳ (۰/۷۷۳۶)			H_{02}
۶۲/۱۷۲۷ (۰/۰۰۰)					۸/۴۱۶۸۶۹ (۰/۰۰۰۴۲)			H_{01}

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

علاوه بر این، در مدل رگرسیونی پانل آستانه‌ای یکواخت 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، چراکه مقادیر آماره F در آن بیش از سایر مقادیر m باشد.

در جدول (۲) نتایج تخمین پارامترهای تابع انتقال مدل لجستیک در معادله (۹) گزارش شده است. تخمین پارامترهای ۵ و ۶ در این تابع بالگوریتم تکراری و بر اساس حداقل نمودن مجموع مربعات خطاهای 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_3 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 شب تابع انتقال در مدل A برابر با ۴/۶۱ برآورد شده است که باین بودن مقدار آن (نسبت به مقدار بی‌نهایت که در آن تابع انتقال به یک تابع ناماگر تبدیل می‌شود) یکواخت بودن فرایند انتقال را تأیید می‌کند. این نکته از آن جهت اهمیت دارد که بیان می‌کند غیرخطی بودن تقاضای انرژی رانمی توان به چند رژیم معلوم با کشش‌های درآمدی متفاوت تقلیل داد. در واقع، برخلاف مدل رگرسیونی پانل آستانه‌ای ساده یک مدل رگرسیونی پانل آستانه‌ای با تابع انتقال یکواخت رامی توان 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، اشمالنی و استاکر، ۱۹۹۹). نتایج حاکی از آن است که تجمعی 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 یکتابع انتقال

متغیرهای تابع انتقال	مدل A (او)	مدل B (او)
پارامتر درآمدی β_0	-۰/۷۹۱	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 شبیه برای اولین تابع انتقال	۴/۶۱	۴۰/۱۰۱
γ		

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 یکتابع انتقال ($H_0: i=1$) در مقابل فرضیه وجود دوتابع انتقال ($H_1: i=2$) برای مقادیر مختلف m گزارش شده است. ملاحظه می‌گردد بر اساس LM_F آماره وجود دوتابع 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 یکتابع انتقال در هر دو مدل A و B توصیه می‌شود.

جدول ۳. آزمون LM_F برای حذف کامل آثار غیرخطی با درنظر گرفتن دوتابع انتقال

مدل		مدل		مدل	
$q_{it} = y_{it} - y_{i,t-1}$		$q_{it} = y_{it}$		متغیر آستانه‌ای	
$m=3$	$m=2$	$m=1$	$m=3$	$m=2$	تعداد پارامترهای موقیت
۲/۹۶۸۹ (۰/۰۰۹۳)	۵/۹۷۴۶ (۰/۰۰۳۲)	۱۱/۴۷۱۱ (۰/۰۰۰۹)	۱/۷۹۲۹ (۰/۱۵۰۷)	۱/۵۵۷۴۸ (۰/۳۴۹۸)	$H_0: i=1$ در $H_1: i=2$ مقابله
مدل		مدل		مدل	
شوارتز	آکائیک	شوارتز	آکائیک	معیارهای اطلاعاتی	
-۰/۲۹۱۰	-۰/۵۳۸۸	۰/۱۴۷۵	-۰/۰۹۱۲۹	با وجود یکتابع انتقال	
-۰/۲۵۹۷	-۰/۵۲۶۵	۰/۱۷۷	-۰/۰۸۰	با وجود دوتابع انتقال	

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 کشورها و در هر یک از سال‌ها به طور جداگانه محاسبه کنیم. با توجه به تأیید وجود یکتابع انتقال در مدل پانل آستانه‌ای یک‌تواخت در این مطالعه کشش‌های درآمدی به صورت زیر محاسبه خواهد 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 به صورت 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 کشش‌های با کشش‌های برآورد شده بر اساس مدل پانل درجه دوم با آثار ثابت^۱ (معادله ۵) که در آن کشش درآمدی برای y_{it} با $\beta + 2\lambda y_{it}$ می‌باشد نتایج قبل توجهی به دنبال خواهد داشت. از تخمین معادله (۵) برآورد پارامترها به صورت $\beta = 0.7392$ و $\lambda = 0.1476$ بدست می‌آید که کشش‌های درآمدی برای هر کشور در هر سال را به صورت $y_{it} = 0.7392 - 0.2952 y_{i,t-1}$ می‌توان محاسبه نمود. میانگین و انحراف استاندارد کشش درآمدی در مدل درجه دوم به صورت زیر محاسبه می‌شود

1. Quadratic Fixed Effect Panel Data

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

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 یکواخت در جدول (۴) با یکدیگر مقایسه شده است.

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

مدل	میانگین انحراف استاندارد	میانگین انحراف استاندارد	میانگین انحراف استاندارد	میانگین انحراف استاندارد	درجه دوم با آثار ثابت یکواخت (A)	رگرسیون پانل آستانه‌ای یکواخت (B)	آذربایجان	
							قرقیزستان	قرقیزستان
آذربایجان	-۰/۷۷۵	۰/۰۵۸	۰/۷۴۳	۰/۰۵۷۴	۰/۵۸۹	۰/۵۰۸	-۰/۵۵۳	-۰/۶۸۱
قرقیزستان	۰/۶۷۶	۰/۰۰۳	۰/۷۸۵	۰/۰۲۳	۰/۶۷۶	۰/۱۵۵	-۱/۹۷۶	۰/۱۵۵
قرقیزستان	۰/۵۳۰	۰/۰۳۵	۰/۶۹۵	۰/۰۳۵	۰/۵۳۰	۰/۰۴۵	۰/۷۸۶	۰/۷۸۶
تاجیکستان	۰/۷۴۳	۰/۰۴۵	۰/۷۸۹	۰/۰۴۵	۰/۷۴۳	۰/۰۲۱	۰/۰۵۷۹	۰/۰۵۷۹
ترکمنستان	۰/۵۴۵	۰/۰۲۱	۰/۷۰۳	۰/۰۲۱	۰/۵۴۵	۰/۰۲۱	۰/۱۴۸	۰/۱۶۸۸
ازبکستان	۰/۶۷۷	۰/۰۱۹	۰/۷۸۶	۰/۰۱۹	۰/۶۷۷	۰/۰۱۹	-۶/۰۷۲	۱۲/۲۱۸
ایران	۰/۵۱۱	۰/۰۱۹	۰/۹۷۱	۰/۰۱۹	۰/۵۱۱	۰/۰۱۹	-۳/۰۸۰	۵/۲۶۰
پاکستان	۰/۶۵۶	۰/۰۱۱	۰/۷۸۴	۰/۰۱۱	۰/۶۵۶	۰/۰۱۱	-۵/۰۵۶۸	۱۶/۰۲۴
ترکیه	۰/۴۵۷	۰/۰۱۸	۰/۵۲۴	۰/۰۱۸	۰/۴۵۷	۰/۰۱۸	مأخذ: نتایج تحقیق.	

باید توجه داشت که در رویکرد مدل آثار ثابت واریاس کشش درآمدی بین کشورهای تهانه‌اشی از تفاوت در تولید ناخالص داخلی سرانه بین کشورهایی باشد. با توجه به یکسان بودن پارامترهای β و λ برای تمام کشورهای تفاوت در کشش‌های درآمدی تهارز تفاوت در متوسط تولید ناخالص داخلی سرانه تهانی می‌شود، در نتیجه هر چه درآمد سرانه کشوری یسترباشد کشش درآمدی تهانه‌ای انرژی آن زیرگردد و رابطه بین متوسط درآمد و کشش درآمدی اکنون خطي است. وجود آثار آستانه‌ای یکواخت امکان می‌دهد طیفی از کشش‌های درآمدی مختلف را بافرض یک متغیر آستانه‌ای مشخصی داشته باشیم، بنابراین رابطه بین درآمد و کشش درآمدی اکنون غیرخطی است. البته متوسط کشش درآمدی حاصل از دو مدل الزاماً تفاوت سیاری ندارند، اما برای برخی کشورهای ممکن است این تفاوت زیاد باشد، در این صورت به ازای یک سطح تولید ناخالص داخلی یکسان مدل تقاضای انرژی این کشورها سیار متفاوت از سایر کشورهای نمونه خواهد بود.

با توجه به تغیرات کشش‌های درآمدی در طول زمان مقادیر گزارش شده در جدول (۴) میانگین کشش‌های برآورده شده در طول دوره (۱۹۹۰-۲۰۰۸) می‌باشد از جلوی (۴) مشاهده می‌شود زمانی که در مدل رگرسیون پانل آستانه‌ای یکواخت سطح تولید ناخالص داخلی سرانه به عنوان متغیر آستانه به کار می‌رود برآورد کشش همزدیک به برآورد مدل درجه دوم با آثار ثابت است، به این معنا که برای این کشورها مدل آثار ثابت درجه دوم رامی توان به عنوان تقریب درجه دوم تیلور از یک مدل رگرسیون پانل آستانه‌ای

یکواخت به کار گرفت، گرچه الگوی تغییرات زمانی کشش‌های درآمدی در دو مدل الزاماً یکسان نیست. کشش‌های درآمدی برآورد شده از مدل درجه دوم با آثار ثابت و مدل رگرسیون پالن آستانه‌ای یکواخت از نوع A برای هر یک کشورهای مورد مطالعه طی دوره (۲۰۰۸-۱۹۹۰) در نمودار (۳) گزارش شده است. ملاحظه می‌شود که در کشورهای نمونه برآورده کشش‌های با استفاده از دو مدل در طول زمان رفلکسیونی دارند، بنابراین در این کشورها یک مدل همگن درجه دوم تقریب خوبی برای نشان دادن پویایی‌های کشش درآمدی حاصل از مدل ناهمگن می‌باشد. به نظر می‌رسد کشش‌های درآمدی مبنی محاسبه شده بر اساس مدل B قبل توجیه نیست و میزان انحراف استاندارد کشش‌های درآمدی بین سال‌های مختلف نیز رقم بالایی است، بنابراین ترجیح از نتایج مدل A و مدل درجه دوم با آثار ثابت برای تفسیر کشش‌های استفاده می‌کیم.

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

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

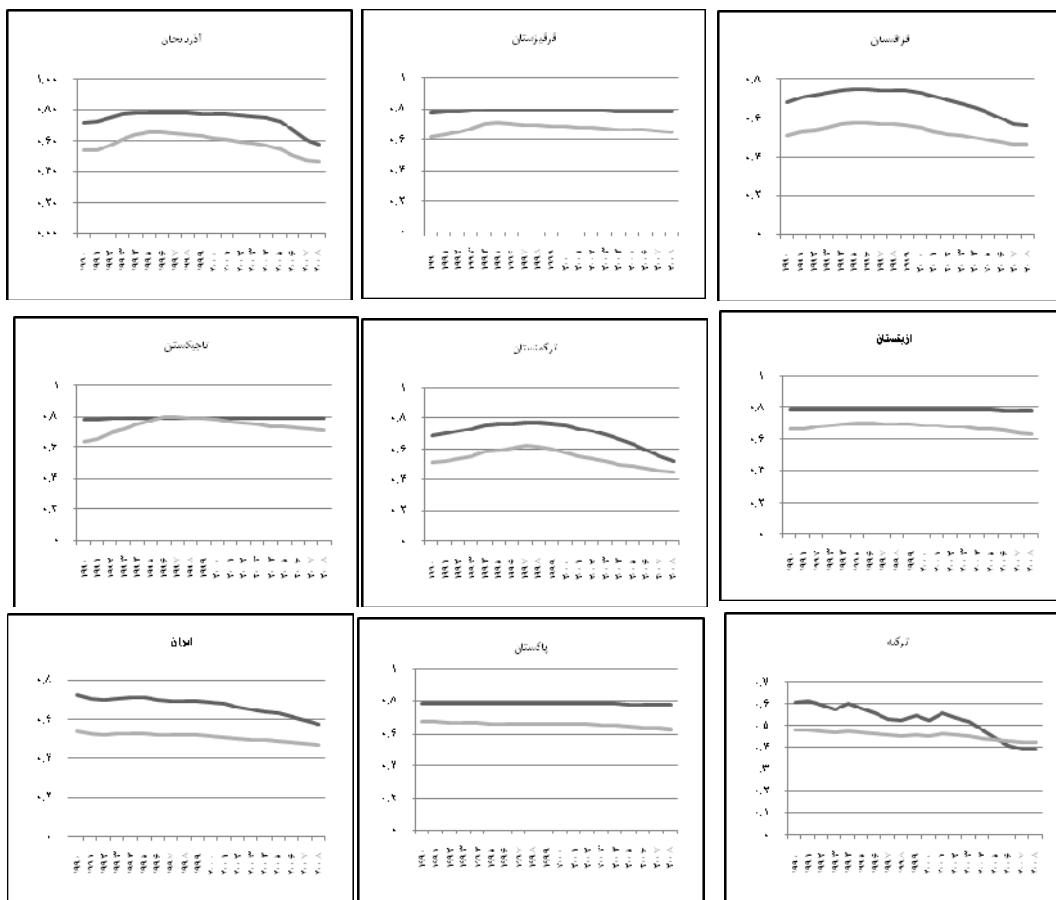
کل نمونه	زیرنمونه (۱)	زیرنمونه (۲)	
۰/۷۳۹۲۰۴	۰/۸۳۴۱۰	-۰/۰۸۸۰۱۸	β_0 پارامتر درآمدی
(۰/۱۳۳۵۵۵)	(۰/۱۷۴۴۳۴)	(۰/۲۹۷۸۱۸)	
-۰/۱۴۷۶۴۶	-۰/۲۲۰۲۵۳	۰/۱۳۹۰۴۶	β_1 پارامتر درآمدی
(۰/۰۵۰۸۹۲)	(۰/۰۷۶۶۰۴)	(۰/۰۹۱۰۸۴)	
۸/۴۴۷۷	۷/۱۱۷۶۷۴	۱/۰۵۹۶۸۴	مجموع عربات خطای (RSS)

مأخذ: نتایج تحقیق.

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

$$\frac{d\left(\frac{C}{Y}\right)}{C} = \frac{YdC - CdY}{Y^2} \times \frac{Y}{C} = \frac{dC}{C} - \frac{dY}{Y} = \frac{dY}{Y}[e - 1] \quad (۲۲)$$

براساس این رابطه می‌توان با در اختیار داشتن کشش‌های درآمدی تقاضای انرژی تغییرات شدت انرژی هر کشور را تحت ستاره‌های مختلف رشد اقتصادی پیش‌بینی نمود. بر اساس میانگین کشش‌های درآمدی محاسبه شده در جدول (۴) می‌توان در صد تغییرات شدت انرژی هر کشور را تحت ستاره‌های مختلف رشد اقتصادی با استفاده از رابطه (۲۲) پیش‌بینی کرد. نتایج این پیش‌بینی بالخطای میانگین کشش‌های 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 y_{it} و خط

روشن نشانگر برآورد کشش درآمدی بر اساس مدل آثار ثابت درجه دوم می‌باشد.

سازمانی سوم: نرخ رشد ۶	سازمانی دوم: نرخ رشد ۲	سازمانی اول: نرخ رشد	جدول ۶. پیش‌بینی درصد تغییرات شدت انرژی در کشورهای عضو اکو تحت سه سازمانی مختلف رشد
(درصد)	(درصد)	(درصد)	
-۱/۵۴۲	-۱/۰۲۸	-۰/۵۱۴	آذربایجان
-۱/۲۹	-۰/۸۶	-۰/۴۳	قرقیزستان
-۱/۸۳	-۱/۲۲	-۰/۶۱	قزاقستان
-۱/۲۶	-۰/۸۴۴	-۰/۴۲۲	تاجیکستان
-۱/۷۸۲	-۱/۱۸۸	-۰/۵۹۴	ترکمنستان
-۱/۲۸۴	-۰/۸۲۶	-۰/۴۲۸	ازبکستان
-۱/۹۷۴	-۱/۳۱۶	-۰/۶۵۸	ایران
-۱/۲۹۶	-۰/۸۶۴	-۰/۴۳۲	پاکستان
-۲/۸۵۶	-۱/۹۰۴	-۰/۹۵۲	ترکیه

مأخذ: نتایج تحقیق.

مالحظه‌می شود به ترتیب کشورهای ترکیه، ایران و قرقیزستان ازین کشورهای عضو اکو همگم باشد اقتصادی از ظرفیت بالاتری برای کاهش در رشد شلت انرژی بروخوردارند در ایران باشد اقتصادی ۲ درصد بر لسلس این مدل پیش‌بینی می‌شود شلت انرژی به میزان ۰/۶۵۸ درصد کاهش یافده کاهش در شلت انرژی بر لسلس رشد اقتصادی ۴ و عنصر بدترتب ۱۳۶ و ۰/۱۷۶ درصد خواهد بود به علاوه باشد اقتصادی ۲ درصد در این کشورها شلت انرژی در کل کمتر از یک درصد باشد اقتصادی ۴ درصد کمتر از ۲ درصد و باشد اقتصادی عد صد کمتر از ۳ درصد کاهش خواهد یافت. بنابراین باستفاده از برآورد کشش در آملی تقاضای انرژی به راحتی می‌توان تغییرات شلت 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 سازمانی‌های مختلف رشد اقتصادی به پیش‌بینی تغییرات این شاخص بستگی دارد. یک روش برای بررسی تغییرات شدت انرژی آن است که کشش مصرف انرژی نسبت به تولید ناخالص داخلی مورد مطالعه قرار گیرد. مشاهدات تجربی نشان دهنده ناهمگنی در مدل‌های جهانی تقاضای انرژی و ناهمگنی در کشش‌های درآمدی تقاضای انرژی می‌باشد، از این رو در این مقاله به معرفی روش بنیادی برای توصیف ناهمگنی و تغییرات کشش 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 (۱۹۹۰-۲۰۰۸) رد می‌شود، بنابراین استفاده از رگرسیون‌های آستانه‌ای با توجه به یک معغير 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 کشش درآمدی کمتر از واحد بوده در نتیجه تقاضای انرژی نسبت به درآمد کم کشش است. به عبارتی، باشد 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 به خوبی مشهود است، به طوری که بر اساس مدل آستانه‌ای یکتواخت که در آن از سطح تولید ناخالص داخلی سرانه به عنوان متغیر آستانه استفاده می‌شود کشش درآمدی از ۷۷۳ در سال ۱۹۹۰ به 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 یشنترین تفاوت در ترکیه مشاهده شود.
- استفاده از برآورد کشش‌های تقاضای انرژی برای پیش‌بینی تغیرات شدت انرژی به میزان رشد اقتصادی بستگی دارد. هر چه رشد اقتصادی کشورها بالاتر باشد شدت انرژی یشتراحت کاهش خواهد یافت. بر اساس پیش‌بینی مدل ارائه شده در این مطالعه کشورهای ترکیه، ایران و فرمانستان که از این کشورهای عضو اکو از درآمد سرانه بالاتری برخوردارند همراه با رشد اقتصادی کاهش یشنتری 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. Hurlin** (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 Energétique de l'Activité Economique 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.

Percebois, J. (1979), "Le Concept d'Intensité Energétique Estill Significant?", *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

قراقستان		قرقیزستان		آذربایجان	
شدت انرژی	GDP سرانه	صرف انرژی سرانه	شدت انرژی	GDP سرانه	صرف انرژی سرانه
۶۳۹/۹۷۴۲	۵/۶۹۷۸۵۹	۲/۶۶۴۸۳	۶۲۵/۴۵۲۹	۲/۴۹۷۷۳۸	۱/۵۴۲۱۷
۷۵۴/۴۸۰۸	۵/۴۰۱۲۲	۳/۸۰۲۶۷۵	۶۰۸/۴۷۹۷	۲/۲۶۲۲۲۲	۱/۳۷۶۲۲۲
۸۳۷/۵۸۷۶	۴/۷۷۵۵۴۷	۲/۹۹۹۹۳۹	۵۱۳/۲۴۲	۱/۹۲۵۲۷۵	۰/۹۸۱۱۳۲
۷۶۴/۶۹۳۵	۴/۳۶۵۵۸۵	۲/۱۳۸۱۲۴	۴۷۲/۱۹۹۷	۱/۶۳۲۱۵۹	۰/۷۷۰۷۰۵
۶۶۸/۶۴۰۷	۳/۸۷۰۱۸۶	۲/۵۸۷۷۶۴	۴۱۳/۶۸۲۴	۱/۳۰۴۹۶۵	۰/۵۳۹۴۷۷
۷۰۵/۱۳۹۹	۳/۶۱۵۶۷۶	۲/۵۴۹۵۵۸	۳۱۸/۰۳۵۷	۱/۲۲۰۰۴۴	۰/۳۸۰۰۱۷
۶۰۴/۹۵۷۴	۳/۶۸۹۹۸۷	۲/۱۲۳۲۸۵	۳۳۶	۱/۲۸۷۵۵۴	۰/۴۳۲۶۱۸
۵۱۱/۶۶۶۱	۳/۸۱۲۴۳۸	۱/۹۵۱۲۰۷	۲۸۸/۷۷۰۹	۱/۳۹۳۲۳۵	۰/۴۰۲۳۲۶
۵۳۲/۴۸۴۷	۳/۸۰۵۵۷۴	۲/۰۲۶۴۱	۳۲۳/۱۷۹۸	۱/۰۲۰۰۸۳	۰/۴۵۱۲۱۵
۴۶۲/۶۹۹۵	۳/۹۴۵۰۷۷	۱/۸۲۵۳۸۵	۲۶۵/۷۵۹۳	۱/۴۳۲۲۶۵	۰/۳۸۰۹۰۳
۴۱۶/۴۳۷۳	۴/۳۴۶۱۰۲	۱/۸۰۹۸۷۹	۲۴۵/۳۸۰۴	۱/۴۹۰۹۳۵	۰/۳۶۷۰۷۳
۳۹۲/۴۱۱۴	۴/۹۳۹۴۳۵	۱/۹۱۳۲۹۱	۲۰۰/۹۰۳۲	۱/۵۶۲۵	۰/۳۱۳۹۱۱
۳۷۱/۶۱۲۹	۵/۴۲۳۹۵۷	۲/۰۱۵۶۱۲	۲۴۲/۵۸۰۶	۱/۵۵۳۱۰۶	۰/۳۷۶۷۵۴
۳۶۶/۴۴۳۴	۵/۹۰۸۱۱۵	۲/۱۶۴۹۹	۲۴۴/۰۲۹	۱/۶۴۴۸۴۱	۰/۴۰۱۳۸۹
۳۶۰/۲۶۹۳	۶/۴۳۲۳۷۸	۲/۳۱۷۳۸۸	۲۳۷/۰۴۹۵	۱/۷۴۴۵۹۷	۰/۴۱۳۵۵۶
۳۷۰/۲۵۷۸	۶/۹۹۰۷۵۹	۲/۵۸۸۳۸۳	۲۳۷/۴۷۱۸	۱/۷۲۲۷۳۵	۰/۴۰۹۳۳۹
۳۴۷/۶۵۰۳	۷/۶۵۸۳۹۳	۲/۶۶۲۴۴۳	۲۳۳/۲۹۶۸	۱/۷۵۹۱۵۲	۰/۴۱۰۴۰۵
۳۵۳/۳۲۹۵	۸/۲۴۸۰۶۲	۲/۹۱۴۳۲۱	۲۴۹/۴۹۳۹	۱/۸۸۵۴۹۶	۰/۴۷۰۴۲
۳۸۰/۷۰۸۸	۸/۴۰۲۶۹۹	۳/۱۹۹۳۶۲	۲۲۲/۲۷۴۴	۲/۰۱۵۱۰۲	۰/۴۴۷۹۱۷
					سال
					۱۹۹۰
					۱۹۹۱
					۱۹۹۲
					۱۹۹۳
					۱۹۹۴
					۱۹۹۵
					۱۹۹۶
					۱۹۹۷
					۱۹۹۸
					۱۹۹۹
					۲۰۰۰
					۲۰۰۱
					۲۰۰۲
					۲۰۰۳
					۲۰۰۴
					۲۰۰۵
					۲۰۰۶
					۲۰۰۷
					۲۰۰۸

ازبکستان			ترکمنستان			تاجیکستان			سال
شدت انرژی	GDP سرانه	مصرف انرژی سرانه	شدت انرژی	GDP سرانه	مصرف انرژی سرانه	شدت انرژی	GDP سرانه	مصرف انرژی سرانه	
۹۲۷/۶۸۰۵	۱/۸۳۷۱۵۳	۱/۷۰۴۲۹۱	۶۱۲/۱۲۴۲	۵/۶۱۸۵۲۹	۲/۴۳۹۲۳۷	۴۰۶/۴۲۲۶	۲/۱۷۳۵۸۵	۰/۸۸۳۳۹۶	۱۹۹۰
۹۶۵/۷۸۶۷	۱/۷۸۹۹۷۶	۱/۷۲۸۷۲۵	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	۱/۲۷۶۸۱۲	۰/۶۴۹۴۵۷	۱۹۹۲
۱۰۰/۸۵۷	۱/۴۸۲۶۸	۱/۴۹۹۸۸۱	۴۴۶/۵۶۷۲	۴/۱۸۷۵	۱/۸۷	۴۲۷/۲۴۴۱	۱/۱۳۱۹۰۷	۰/۴۸۳۶۰۱	۱۹۹۳
۱۱۱/۰۵۱	۱/۱۷۸۰۱۶	۱/۵۷۷۹۳۶	۶۴۳/۲۲۱۳	۳/۱۷۸۰۴۹	۲/۱۷۳۱۷۱	۴۲۳	۰/۰۷۸۷۳۵	۰/۳۱۷۰۵	۱۹۹۴
۱۰۷/۱۰۹	۱/۱۲۴۹۴۹	۱/۴۲۶۲۸	۶۹۶/۰۳۱	۲/۰۶۶۸۴۹	۲/۱۴۴۶۶	۴۴۲/۴۹۵۸	۰/۷۵۷۷۸۵	۰/۳۳۵۴۹۴	۱۹۹۵
۱۰۴۵/۲۳۸	۱/۱۳۷۹۲۵	۱/۱۳۹۸۴۵	۶۶۴/۰۱۴	۲/۸۰۷۹۶۳	۱/۸۶۶۷۴۵	۵۰۳/۸۳۵۶	۰/۶۲۲۸۶۷	۰/۳۱۸۲۳	۱۹۹۶
۱۰۱۹/۱۹	۱/۱۳۸۱۴۶	۱/۴۰۸۳۲۳	۷۶۱/۰۵۶۲	۲/۰۵۷۲۷۵	۱/۸۷۱۳۶۳	۴۷۸/۹۷۵۷	۰/۶۲۴۵۷۹	۰/۲۹۹۱۵۸	۱۹۹۷
۱۰۰۹/۶۹۸	۱/۴۱۱۸۷۹	۱/۰۵۹۳۱۴	۷۸۷/۰۳۲۸	۲/۰۸۰۴۲۱	۱/۸۲۸۷۲	۴۶۰/۰۰۱۲	۰/۰۴۹۰۰۲	۰/۳۱۱۷۹۴	۱۹۹۸
۱۰۷۴/۹۷۹	۱/۴۵۷۷۸۷	۱/۰۵۶۷۰۹	۶۹۹/۶۲۱۸	۲/۰۹۷۷۸۷	۲/۰۷۸۴۷۷	۴۵۹/۰۲۹۳	۰/۶۶۳۹۳۴	۰/۳۰۴۹۱۸	۱۹۹۹
۱۰۰۹/۶۱۵	۱/۴۹۷۷۶۹	۱/۰۵۱۲۱۷	۵۹۵/۰۵۹۶۷	۳/۰۸۲۲۲۲	۲/۰۷۴	۴۱۰/۲۵۰۶	۰/۷۱۱۵۰۷	۰/۲۹۱۸۹۶	۲۰۰۰
۹۷۷/۳۵۹	۱/۰۵۴۶۴۹	۱/۰۵۰۵۷۶۷	۵۰۸/۲۱۴۱	۴/۱۳۸۱۵۸	۲/۱۰۳۰۷	۳۶۶/۷۳۵۵	۰/۷۷۵۶۴۱	۰/۲۸۴۴۵۵	۲۰۰۱
۹۷۷/۷۸۰۶	۱/۰۵۸۳۳	۱/۰۵۴۸۱۲	۴۴۳/۶۹۶۱۶	۴/۰۷۲۳۸۲	۲/۰۴۹۱۱۲	۳۴۲/۲۲۴۸	۰/۸۳۶۷۶۷	۰/۲۸۶۳۷۱	۲۰۰۲
۹۰۰/۱۲۷۸	۱/۶۳۰۴۲۶	۱/۰۴۷۸۰۵۳	۴۳۷/۰۷۷۳	۵/۰۴۴۶۸۱	۲/۰۲۸۳۸۳	۳۱۲۳۹۱۵	۰/۹۱۰۵۸	۰/۲۸۵۸۹۳	۲۰۰۳
۸۰۰/۱۰۵۹۵	۱/۰۷۴۷۲۷	۱/۰۴۲۰۰۳	۳۱۶/۰۸۶۷	۶/۱۸۹۳۰۸	۱/۹۹۲۸۷۲	۳۰۵/۱۲۲۲	۰/۹۹۶۰۹۹	۰/۳۰۴۱۸۶	۲۰۰۴
۷۰۰/۹۱۰۹	۱/۰۳۵۶۹	۱/۰۲۹۷۶۹۹	۲۹۵/۰۹۸۲	۷/۰۱۸۶۳۴	۲/۰۷۳۲۹۲	۲۸۴/۰۸۳۷	۱/۰۴۸۹۳	۰/۲۹۸۷۷۷	۲۰۰۵
۶۸۰/۹۹۴۲	۱/۹۴۶۰۱۷	۱/۰۳۲۴۹۵۷	۲۶۲/۰۹۴۱	۷/۰۷۶۱۲۲	۲/۰۲۲۰۴۱	۲۷۸/۰۲۰۱۶	۱/۰۱۰۷۸۹	۰/۳۰۷۹۹۴	۲۰۰۶
۶۲۳/۴۰۱۲	۲/۱۰۰۸۵۶	۱/۰۳۰۹۶۷۶	۲۵۷/۰۲۰۵۲	۸/۰۹۰۹۶۸	۲/۱۰۵۸۸۷	۲۸۱/۰۴۰۹	۱/۱۷۵۳۳۴	۰/۳۰۰۷۵۸	۲۰۰۷
۶۱۱/۰۵۸۷۸	۲/۰۲۵۰۰۲۱	۱/۰۳۷۷۹۲	۲۴۳/۰۴۹۹	۹/۱۹۸۰۷	۲/۰۲۳۶۱۸۳	۲۵۰/۰۵۰۵۵	۱/۱۴۸۰۵۸	۰/۳۱۲۶۸۵	۲۰۰۸

سال	مصرف انرژی سرانه	GDP سرانه	ایران	پاکستان	مصرف انرژی سرانه	GDP سرانه	شدت انرژی	مصرف انرژی سرانه	GDP سرانه	شدت انرژی	مصرف انرژی سرانه	GDP سرانه	شدت انرژی	ترکیه	شدت انرژی
۱۹۹۰	۱/۰۱۶۹۳	۴/۷۱۵۸۰۹	۲۱۵/۶۴۲۸	۱/۶۴۸۴۵۳	۲۰۴/۱۴۶۱	۰/۷۲۶۹۹۶	۰/۴۵۸۴۵۴	۷/۴۵۸۴۵۴	۰/۷۲۶۹۹۶	۰/۴۵۸۴۵۴	۰/۷۲۶۹۹۶	۷/۴۵۸۴۵۴	۹۷/۴۷۲۷	۹۸/۰۷۴۳۳	
۱۹۹۱	۱/۱۲۰۶۴	۵/۲۲۵۲۱۷	۲۱۴/۴۹۷۷	۰/۱۳۴۶۹۱	۱/۶۸۸۵۷۸	۱۹۸/۲۰۸۷	۰/۷۲۵۸۸۳	۷/۴۰۱۳۵۶	۰/۷۲۵۸۸۳	۷/۴۰۱۳۵۶	۰/۷۲۵۸۸۳	۷/۴۰۱۳۵۶	۹۸/۰۷۴۳۳	۹۵/۳۱۳۲۵	
۱۹۹۲	۱/۲۱۸۴۵۹	۵/۳۶۰۹۳	۲۲۷/۳۲۰۴	۰/۱۴۴۳۳۴	۱/۷۷۳۶۸۸	۱۹۳/۵۷۰۶	۰/۷۳۵۴۶۲	۷/۷۱۶۲۶۶	۰/۷۳۵۴۶۲	۷/۷۱۶۲۶۶	۰/۷۳۵۴۶۲	۷/۷۱۶۲۶۶	۹۴/۹۶۷۴۸	۹۵/۶۸۷۷۶	
۱۹۹۳	۱/۱۹۲۲۷۱	۵/۱۹۱۶۲۷	۲۲۹/۷۴۱۲	۰/۲۵۵۷۳۷	۱/۷۶۰۲۲	۲۰۲/۰۹۸	۰/۷۷۹۱۴	۸/۲۰۴۲۸۳	۰/۷۷۹۱۴	۸/۲۰۴۲۸۳	۰/۷۷۹۱۴	۸/۲۰۴۲۸۳	۹۴/۹۶۷۴۸	۹۵/۶۸۷۷۶	
۱۹۹۴	۱/۱۳۲۹۰۴۷	۵/۰۹۱۳۶۴	۲۶۱/۰۳۹۴	۰/۲۵۷۳۳۷	۱/۷۸۰۷۷۷	۲۰۰/۰۶۹۷۹	۰/۷۳۴۹۰۲	۷/۶۳۴۹۰۲	۰/۷۳۴۹۰۲	۷/۶۳۴۹۰۲	۰/۷۳۴۹۰۲	۷/۶۳۴۹۰۲	۹۵/۶۸۷۷۶	۹۶/۰۸۶۱۸۷	
۱۹۹۵	۱/۱۳۲۱۹۰۸	۵/۱۴۳۰۰۳	۲۵۸/۹۷۷۹	۰/۲۶۴۹۰۲	۱/۸۳۳۵۸۲	۱۹۹/۹۷۷۳	۰/۷۹۵۰۳۶	۸/۰۵۷۶۹۲	۰/۷۹۵۰۳۶	۸/۰۵۷۶۹۲	۰/۷۹۵۰۳۶	۸/۰۵۷۶۹۲	۹۶/۰۸۶۱۸۷	۹۷/۹۱۲۶۶	
۱۹۹۶	۱/۱۳۴۸۷۸	۵/۰۲۲۶۷۹	۲۴۸/۷۳۲۷	۰/۳۶۷۹۳۷	۱/۸۶۵۸	۱۹۷/۲۰۰۷	۰/۸۴۸۱۷۵	۸/۴۹۲۱۷۱	۰/۸۴۸۱۷۵	۸/۴۹۲۱۷۱	۰/۸۴۸۱۷۵	۸/۴۹۲۱۷۱	۹۷/۹۱۲۶۶	۹۸/۱۵۸۸۶	
۱۹۹۷	۱/۴۰۲۷۳	۵/۰۲۱۳۸۲	۲۵۴/۰۵۴۲	۰/۳۶۷۲۲۱	۱/۸۳۹۹۵	۱۹۹/۶۳۶۱	۰/۸۶۴۵۰	۸/۹۹۶۵۹	۰/۸۶۴۵۰	۸/۹۹۶۵۹	۰/۸۶۴۵۰	۸/۹۹۶۵۹	۹۶/۰۹۷۵۴	۹۷/۴۲۲۶۸	
۱۹۹۸	۱/۱۳۰۸۹۷	۵/۰۵۷۵۳۹۵	۲۵۲/۲۴۱۲	۰/۱۸۲۱۹۴	۱/۸۲۱۹۴	۲۰۰/۰۷۲۲	۰/۸۰۵۲۷۵	۹/۱۴۹۰۲	۰/۸۰۵۲۷۵	۹/۱۴۹۰۲	۰/۸۰۵۲۷۵	۹/۱۴۹۰۲	۹۷/۴۲۲۶۸	۹۸/۰۵۲۹۸۶	
۱۹۹۹	۱/۴۳۷۴۲۴	۵/۰۵۸۹۳۴۸	۲۵۷/۱۷۲۱	۰/۳۷۷۵۶۵	۱/۸۶۴۸۰۵	۲۰۲/۰۵۷۷۲	۰/۸۰۴۸۰۷	۸/۷۰۹۴۸۷	۰/۸۰۴۸۰۷	۸/۷۰۹۴۸۷	۰/۸۰۴۸۰۷	۸/۷۰۹۴۸۷	۹۸/۰۵۲۹۸۶	۹۹/۹۱۲۶۶	
۲۰۰۰	۱/۴۸۰۸۸۸	۵/۰۷۸۱۳۵۸	۲۵۶/۱۴۸۹	۰/۳۷۰۰۶۸	۱/۸۹۷۲۲۳	۱۹۵/۰۵۶۷	۰/۹۰۰۱۸۷	۹/۱۷۰۷۱۳	۰/۹۰۰۱۸۷	۹/۱۷۰۷۱۳	۰/۹۰۰۱۸۷	۹/۱۷۰۷۱۳	۹۸/۰۵۲۹۸۶	۹۹/۹۱۲۶۶	
۲۰۰۱	۱/۵۱۳۳۱۲	۵/۰۸۹۷۵۰۷	۲۵۶/۶۰۲	۰/۳۶۷۶۵۶	۱/۸۸۷۷۲۴	۱۹۴/۹۰۸۶	۰/۷۹۹۲۷۸	۸/۵۳۱۳۱۷	۰/۷۹۹۲۷۸	۸/۵۳۱۳۱۷	۰/۷۹۹۲۷۸	۸/۵۳۱۳۱۷	۹۳/۶۸۷۵۸	۹۷/۶۲۱۷۷	
۲۰۰۲	۱/۵۹۹۷۹	۶/۰۲۴۱۷۸۲	۶۱/۲۴۱۷۸۲	۰/۳۶۹۳۷	۱/۸۸۷۷۲۴	۱۹۴/۰۶۳۹	۰/۸۶۰۶۶	۸/۹۳۷۸۸۸	۰/۸۶۰۶۶	۸/۹۳۷۸۸۸	۰/۸۶۰۶۶	۸/۹۳۷۸۸۸	۹۷/۱۱۱۲	۹۷/۶۲۱۷۷	
۲۰۰۳	۱/۶۹۸۲۵۵	۶/۰۵۸۹۳۴۸	۶۱/۳۷۳۲۴	۰/۳۷۷۸۵۶	۱/۸۹۷۸۵۸	۱۹۵/۲۱۶۴	۰/۹۰۶۵۵	۹/۲۸۷۴۳۷	۰/۹۰۶۵۵	۹/۲۸۷۴۳۷	۰/۹۰۶۵۵	۹/۲۸۷۴۳۷	۹۷/۶۲۱۷۷	۹۷/۹۹۵۱۷	
۲۰۰۴	۱/۸۰۰۴	۶/۰۸/۱۳۱۴۴	۶۱/۱۴۰۸۹	۰/۳۷۰۰۶۸	۱/۸۹۷۲۲۳	۱۹۵/۰۵۶۷	۰/۹۳۷۵۷۱	۱۰/۲۸۰۵	۰/۹۳۷۵۷۱	۱۰/۲۸۰۵	۰/۹۳۷۵۷۱	۱۰/۲۸۰۵	۹۴/۹۹۵۱۷	۹۸/۰۶۹۴۲	
۲۰۰۵	۱/۸۵۳۶۹۸	۷/۰۲۳۰۱۳	۷۱/۰۲۳۰۱۳	۰/۳۶۷۸۵۶	۱/۸۸۷۷۲۴	۱۹۴/۹۰۸۶	۰/۹۵۰۸۳	۱۰/۷۳۵۷۸	۰/۹۵۰۸۳	۱۰/۷۳۵۷۸	۰/۹۵۰۸۳	۱۰/۷۳۵۷۸	۹۸/۰۶۹۴۲	۹۹/۰۷۴۴۴	
۲۰۰۶	۲/۰۰۰۳۵۷	۷/۰۲۳۰۶۷۲	۷۱/۰۲۳۰۶۷۲	۰/۳۶۹۵۱۶	۱/۸۲۲۰۷۵	۱۸۳/۴۶۸۶	۰/۱۰۴۳۸۷۸	۱۱/۳۳۷۰۸	۰/۱۰۴۳۸۷۸	۱۱/۳۳۷۰۸	۰/۱۰۴۳۸۷۸	۱۱/۳۳۷۰۸	۹۲/۰۷۴۴۴	۹۷/۰۸۵	
۲۰۰۷	۲/۱۱۶۰۸	۷/۰۸۰۰۹۰۱	۷۱/۰۲۶۱۲۶	۰/۴۲۶۰۲۸	۱/۳۱۵۶۰۸	۱۸۳/۹۸۱	۰/۱۰۸۵۵۷	۱۱/۷۲۴۴۵	۰/۱۰۸۵۵۷	۱۱/۷۲۴۴۵	۰/۱۰۸۵۵۷	۱۱/۷۲۴۴۵	۹۷/۰۸۵	۸/۹۴۰۵۹	
۲۰۰۸	۲/۱۵۰۵۹۸	۸/۱۳۰۰۷۲	۸/۱۳۰۰۷۲	۰/۴۰۹۰۹۴	۱/۴۰۰۸۷	۱۷۳/۳۹۸۶	۰/۱۰۴۴۴۱	۱۱/۶۹۳۳	۰/۱۰۴۴۴۱	۱۱/۶۹۳۳	۰/۱۰۴۴۴۱	۱۱/۶۹۳۳	۸/۹۴۰۵۹	۹/۸۴۰۵۹	

مأخذ: نتایج تحقیق.