فصلنامه اقتصاد محیط زیست و انرژی
سال اول، شماره ۳، تابستان ۱۳۹۱، صفحات ۳٤-۱۷

ترکیب مصرف و اثرگذاری انرژی بر رشد اقتصادی: کاربردی از رگرسیون غیرخطی انتقال ملایم

دکتر مرتضی خورسندی* و زهرا عزیزی**

تاریخ دریافت: ۳ خرداد ۱۳۹۱ تاریخ پذیرش: ۲۷ آبان ۱۳۹۱

ارتباط مصرف انرژی و رشد اقتصادی یکی از مباحثی است که در سالهای اخیر از جمله موضوعات مورد توجه در زمینه اقتصاد انرژی بوده است. از سوی دیگر ترکیب مصرف انرژی و نحوه تخصیص آن بین بخشهای مختلف، می‌تواند بر ارتباط این دو متغیر تأثیرگذار باشد. در نتیجه به نظر می‌رسد که ارتباط مصرف انرژی و رشد اقتصادی می‌بایست در چارچوب یک الگوی غیرخطی مورد برآورد قرار گیرد. در این مقاله با استفاده از روش رگرسیون انتقال ملایم، غیرخطی بودن ارتباط بین این دو متغیر ارزیابی گردیده و از سهم بخش‌های غیرتولیدی از مصرف انرژی به عنوان متغیر انتقال استفاده شده است. نتایج به‌دست آمده تأییدکننده وجود ارتباط مثبت و غیرخطی بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی در ایران است. این ارتباط به ترکیب مصرف انرژی وابسته بوده و هر چه سهم بخش غیرتولیدی بیشتر باشد، اثربخشی انرژی بر تولید کمتر است. براساس ضرایب به دست آمده از قسمت‌های خطی و غیرخطی الگو، کشش تولید نسبت به انرژی در دوره مورد بررسی (۱۳۸۷-۱۳٦٤) بین دو مقدار حدی ۰/۱٤ و ۰/۸۸ است. مقدار متوسط این کشش برابر ۰/۳۲۵ است.

واژه‌های کلیدی: مصرف انرژی، رشد اقتصادی، ترکیب مصرف انرژی، رگرسیون انتقال ملایم.
طبقه‌بندی JEL: Q43، Q48.

* استادیار دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبائی mkhorsandi57@yahoo.com
** دانشجوی دوره دکتری دانشگاه شیراز zazizi61@yahoo.com

۱. مقدمه

ارتباط مصرف انرژی و رشد اقتصادی یکی از موضوعات مهم در زمینه اقتصاد انرژی است که به‌طور مرتب مورد مطالعه محققین قرار گرفته است. توجه به این موضوع پس از پروتکل کیوتو و توافق برخی کشورهای صنعتی جهت کاهش گازهای گلخانه‌ای از طریق کاهش مصرف انرژی‌های فسیلی، جان دوباره‌ای گرفته است؛ چرا که از دیدگاه بسیاری از اقتصاددانان نظیر استرن[1]، گالی و الساکا[2] و لی و چانگ[3] انرژی به عنوان یک عامل تولید به حساب می‌آید و بنابراین کاهش مصرف آن می‌تواند باعث جلوگیری از رشد اقتصادی و بروز بیکاری شود. بر این اساس، ارتباط کاهش مصرف انرژی با رشد اقتصادی و مقدار این اثر، موضوعی است که مورد توجه اقتصاددانان قرار گرفته است.

از سوی دیگر، وقتی تحقیقات انجام شده در این زمینه بررسی می‌شود، دیده می‌شود که مطالعات مختلف، نتایج متفاوتی را حتی برای یک کشور به‌دست آورده‌اند. تفاوت در نتایج می‌تواند به دلایل مختلفی نظیر متفاوت بودن دوره‌های مورد بررسی باشد. از طرف دیگر، در سالهای اخیر وجود ارتباطات غیرخطی بین متغیرهای اقتصادی در مقابل ارتباطات خطی توجه اقتصاددانان را به خود جلب کرده و ادبیات رو به رشدی در این زمینه شکل گرفته است. جذابیت این الگوها در آن است که اثر متغیرها بر یکدیگر می‌تواند دچار تغییر شود. تغییر ضرایب الگو به دلیل تغییر در شرایط سیستم بوده که می‌تواند علت تفاوت در نتایج مطالعات باشد.

روش رگرسیون انتقال ملایم (STR)[4] از جمله الگوهای غیرخطی است که به دلیل خصوصیات خاص خود مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. این روش در واقع حالت پیشرفته‌تری از مدلهای رگرسیونی تغییر وضعیت[5]، همانند مدل حد آستانه[6] است. از جمله محاسن روش رگرسیون انتقال ملایم آن است که این امکان را ایجاد می‌کند که روابط بین متغیرها برحسب شرایط سیستم دارای چندین نظام باشند. شرایط سیستم توسط متغیری به نام متغیر انتقال و فاصله آن با حد آستانه مشخص می‌شود. به عبارت دیگر، میزان اثرگذاری متغیرهای مدل بر یکدیگر بستگی به وضعیت متغیر انتقال و میزان تفاوت آن از حد آستانه دارد. البته برخلاف مدل

1. Stern (2000)
2. Ghali and El-sakka (2004)
3. Lee and Chang (2008)
4. Smooth Transition Regression
5. Switching Regression
6. Threshold Regression Model

حد آستانه که تغییر از یک نظام به نظام دیگر به‌طور ناگهانی اتفاق می‌افتد، در مدل رگرسیون انتقال ملایم، تغییر نظام با یک شیب ملایم صورت می‌پذیرد. متغیر انتقال که می‌تواند از بین متغیرهای موجود در الگو و یا خارج از آن باشد، متغیری است که میزان اثرگذاری متغیر یا متغیرهای توضیحی بر متغیر وابسته را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

مطالعات مختلفی ارتباط مصرف انرژی و رشد اقتصادی را از طریق مدل‌های غیرخطی مورد بررسی قرار داده‌اند که از جمله آنها می‌توان به لی و چانگ[1]، رحمان و سرلتیس[2]، اومای حسنوف و اوکار[3] اشاره نمود. در ایران نیز برخی مطالعات رابطه مصرف انرژی و رشد اقتصادی را به صورت غیرخطی در نظر گرفته‌اند. فلاحی و هاشمی دیزج (۱۳۸۹) رابطه علی بین مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی را به روش مارکوف سوئیچینگ مورد بررسی قرار داده‌اند. در این تحقیق دو رژیم مختلف در ارتباط مصرف انرژی و تولید تشخیص داده می‌شود و براساس نتایج به‌دست آمده یک ارتباط علی دوطرفه در رژیم اول بین متغیرها برقرار است. اما در رژیم دوم ارتباط علی از سمت تولید به مصرف انرژی است. مهرآرا و زارعی (۱۳۹۰) اثرات خطی و غیرخطی مصرف انرژی بر رشد اقتصادی را با استفاده از روش رگرسیون حد آستانه‌ای مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که مدل‌های غیرخطی اثر مصرف انرژی بر رشد اقتصادی را بهتر از مدل‌های خطی توضیح می‌دهند. همچنین سه رژیم مختلف در ارتباط متغیرها تشخیص داده می‌شود و بر این اساس با افزایش مصرف انرژی تغییر رژیم رخ داده و اثربخشی مصرف انرژی بر رشد اقتصادی در رژیم‌های با مصرف بالا کاهش می‌یابد.

مقاله حاضر همانند مقاله مهرآرا و زارعی (۱۳۹۰) اثرگذاری مصرف انرژی بر رشد اقتصادی را بررسی می‌نماید با این تفاوت که در این مقاله از روش رگرسیون انتقال ملایم استفاده می‌شود. همچنین تفاوت عمده این مقاله با مقالات مشابه، در انتخاب هدفمند متغیر انتقال در جهت نشان دادن اثر ترکیب مصرف انرژی بر میزان اثربخشی مصرف انرژی بر رشد اقتصادی است.

1. Lee and Chang (2007)
2. Rahman and Serletis (2010)
3. Omay, Hasanov and Ucar (2012)

۲. مبانی نظری

۲-۱. جایگاه مصرف انرژی در تابع تولید و نقش آن در رشد اقتصادی

جهان امروز، جهان توسعه اقتصادی و صنعتی است و روند این توسعه در طول دهه‌های اخیر شتاب بسیار گرفته است. انرژی مهم‌ترین کالای تجاری است که برای فعالیت‌های بشر از اهمیت فراوانی برخوردار است. با شروع انقلاب صنعتی و شکل گرفتن صنایع ماشینی، انرژی به عنوان یکی از عوامل اولیه و مهم تولید شناخته شده و به تدریج با ادامه روند توسعه اقتصادی و مدرنیزه شدن بخش‌های مختلف تولیدی، بیش از پیش اهمیت خود را در رشد اقتصادی کشورها به اثبات رسانده است.

براساس نظریه بیوفیزیکی رشد، انرژی تنها عامل و مهم‌ترین عامل تولید است. از دیدگاه این نظریه حتی نیروی انسانی متخصص و غیرمتخصص با صرف مقادیر فراوان انرژی حاصل شده و در تولید بکار گرفته می‌شوند، بنابراین کالاهای تولید شده در اقتصاد فقط از منبع انرژی بکار گرفته شده از طبیعت ناشی می‌شوند. بنابراین در مدل بیوفیزیکی که توسط اقتصاددانان اکولوژیست مانند آیرس و نایر[1] بیان شده، انرژی عامل اصلی و تنها عامل تولید است و نیروی کار و سرمایه، عوامل واسطه‌ای هستند که برای بکارگیری، نیازمند انرژی هستند.[2]

دیدگاه برخی اقتصاددانان نئوکلاسیک مانند برنت[3] و دنیسون[4]، مخالف نظر اقتصاددانان اکولوژیست است. این گروه از نئوکلاسیک‌ها معتقدند که انرژی از طریق تأثیری که بر نیروی کار و سرمایه می‌گذارد، به‌طور غیرمستقیم بر رشد اقتصادی مؤثر است و مستقیماً اثری بر رشد اقتصادی ندارد. اغلب اقتصاددانان نئوکلاسیک معتقدند که انرژی نقش کوچکی در تولید اقتصادی داشته و یک نهاده واسطه است و عوامل اساسی تولید تنها نیروی کار، سرمایه و زمین هستند. اما گروهی از نئوکلاسیک‌ها مانند همیلتون[5]، باربریج[6] و هریسون[7] نقش اساسی‌تری برای انرژی قائلند و انرژی را نیز در کنار نیروی کار و سرمایه به عنوان عامل تولید در نظر می‌گیرند.[8]

---

1. Ayres and Nair (1984)

۲. خورسندی (۱۳۸۳)

3. Berndt
4. Denison
5. Hamilton
6. Barbridge
7. Harrison
8. Stern (1993), p:139-141

در مجموع باید گفت که امروزه اهمیت انرژی در رشد اقتصادی بر کسی پوشیده نبوده و می‌توان مصرف انرژی را به عنوان یک عامل تولید در کنار دیگر نهاده‌های تولیدی در نظر گرفت. به این ترتیب اگر تولید را تابعی از نهاده‌های سرمایه، کار و انرژی در نظر بگیریم، خواهیم داشت:

$$Y = f(K, L, E) \qquad (۱)$$

در رابطه (۱)، Y محصول ناخالص ملی واقعی، K نهاده سرمایه، L نهاده نیروی کار و E نهاده انرژی است. همچنین فرض بر این است که بین میزان استفاده از این نهاده‌ها و سطح تولید رابطه مستقیم وجود دارد. به عبارت دیگر، افزایش در هر یک از نهاده‌های مذکور باعث افزایش تولید می‌گردد. به بیان ریاضی داریم:

$$\Delta Y / \Delta L > ۰ \quad \Delta Y / \Delta E > ۰ \quad \Delta Y / \Delta K > ۰$$

در صورتی که فرم کاب داگلاس را برای تابع تولید در نظر بگیریم خواهیم داشت:

$$Y = AK^{\alpha} L^{\beta} E^{\varphi} \qquad (۲)$$

پارامترهای α، β و φ به ترتیب کشش تولید نسبت به سرمایه، نیروی کار و انرژی است. اگر از این تابع، لگاریتم گرفته و نسبت به زمان مشتق بگیریم، می‌توانیم نرخ رشد تولید را به عنوان تابعی از نرخ رشد عوامل به صورت زیر داشته باشیم:

$$GY = a + \alpha GK + \beta GL + \varphi GE \qquad (۳)$$

که در آن GY رشد تولید، GK رشد سرمایه، GL رشد نیروی کار و GE رشد مصرف انرژی است. این معادله مبنای تخمین ارتباط مصرف انرژی و رشد اقتصادی در این مطالعه است که به روش غیرخطی مورد برآورد قرار می‌گیرد. در مورد علت غیرخطی بودن ارتباط مصرف انرژی و رشد اقتصادی و متغیر اثرگذار بر این ارتباط، در بخش بعدی توضیحاتی ارائه می‌گردد.

۲-۲. ترکیب مصرف و غیرخطی بودن ارتباط انرژی و رشد اقتصادی

همانطور که می‌دانیم امروزه مصارف مختلفی از انرژی صورت می‌گیرد و هر کدام از این مصارف کارکردهای خاص خود را دارد. در ترازنامه انرژی، کل مصرف نهایی انرژی به چند دسته شامل

مصارف خانگی و عمومی، صنعتی، کشاورزی، حمل و نقل و مصارف غیرانرژی تقسیم‌بندی می‌شود. مسلماً انرژی در هر کدام از این بخش‌ها کارکردهای متفاوتی از خود نشان می‌دهد. به خصوص کاربرد مصرف انرژی در بخش‌های تولیدی نظیر بخش‌های صنعت، کشاورزی و حمل و نقل با مصرف در بخش‌های غیرتولیدی نظیر مصارف خانگی کاملاً متفاوت است.

در بخش‌های تولیدی، انرژی مستقیماً به عنوان یک نهاده تولیدی عمل کرده و نقش مؤثری در ایجاد رشد اقتصادی بازی می‌کند. اما در بخش‌های خانگی و عمومی، انرژی یک کالای مصرفی بوده و از طریق افزایش مصرف می‌تواند بر رشد اقتصادی مؤثر باشد. بنابراین تخصیص مصرف انرژی بین بخش‌های مختلف اقتصادی و یا به عبارتی ترکیب مصرف آن می‌تواند بر نحوه اثرگذاری آن بر رشد اقتصادی مؤثر باشد. به بیان روشن‌تر، میزان سهم بخش‌های تولیدی و غیرتولیدی از مصرف انرژی می‌تواند بر ضریب اثرگذاری آن بر رشد اقتصادی (پارامتر φ در معادله (۳)) مؤثر باشد. بدین معنا که یک میزان مشخص از مصرف انرژی با ثابت در نظر گرفتن سایر شرایط، در صورتی که به بخش‌های تولیدی اختصاص یابد، می‌تواند اثر بیشتری بر رشد اقتصادی داشته باشد. در صورتی که معادله (۳) به صورت خطی تخمین زده شود، به طور ضمنی فرض می‌شود که میزان اثرگذاری مصرف انرژی بر رشد تولید، بدون مد نظر قرار دادن ترکیب آن، در طول نمونه مورد بررسی ثابت است. اما همانطور که گفته شد، از آنجا که مصرف انرژی در بخش‌های مختلف می‌تواند آثار متفاوتی را بر تولید بر جای گذارد و از طرف دیگر، سهم بخش‌های مختلف از مصرف کل انرژی در طول نمونه مورد بررسی متغیر بوده است، لذا فرض ثابت بودن ضریب انرژی در تابع رشد چندان قابل دفاع نیست.

بنابراین در این تحقیق از یک الگوی غیرخطی رگرسیون انتقال ملایم برای بررسی میزان اثرگذاری مصرف انرژی بر رشد اقتصادی استفاده می‌شود. مزیت استفاده از این مدل در آن است که ضرایب مدل می‌تواند بسته به وضعیت متغیر انتقال تغییر نماید. همچنین این امکان وجود دارد که متغیر انتقال از بین متغیرهای خارج از الگوی اصلی انتخاب شود. بنابراین می‌توان ضریب انرژی در تابع رشد اول ثابت نباشد و دوم میزان آن بسته به متغیری خارج از مدل، نظیر سهم بخش غیرتولیدی از مصرف کل انرژی تغییر یابد. همچنین در این مدل حد آستانه‌ای برای متغیر انتقال و سرعت انتقال از یک نظام به نظام دیگر تعیین می‌گردد.

۳. ساختار الگو

۳-۱. مدل رگرسیون انتقال ملایم

مدل رگرسیون انتقال ملایم یک مدل سری زمانی غیرخطی است که می‌توان آن را به عنوان یک شکل توسعه‌یافته از مدل رگرسیونی تغییر وضعیت[1] تلقی کرد. این مدل در حالت کلی به صورت زیر معرفی می‌شود.

$$y_t = \pi' w_t + (\theta' w_t) F(s_t, \gamma, c) + u_t \qquad (۴)$$

که در آن $w_t = (1, y_{t-1}, \ldots, y_{t-p1}, x_t, x_{t-1}, \ldots, x_{t-p2})$، y_t متغیر درونزا، x_t متغیرهای برونزا، θ و π بردارهای پارامترها و s_t متغیر انتقال است که تغییرات آن باعث تغییر ضریب متغیرهای برآوردگر می‌شود. این متغیر می‌تواند وقفه متغیر درونزا بوده و یا از جمله متغیرهای برونزا باشد. همچنین می‌تواند متغیر سومی خارج از این چارچوب باشد. تابع $F(s_t, \gamma, c)$، تابع انتقال نامیده می‌شود که مقدار آن می‌تواند بین صفر و یک باشد. بر این اساس، ضرایب مدل STR بین π و $\pi + \theta$ در نوسان خواهند بود. تابع انتقال شامل پارامتر شیب[2]، γ و پارامتر موقعیت[3]، c است. پارامتر شیب، سرعت انتقال را بین دو الگوی حدی مشخص می‌کند و پارامتر موقعیت، تعیین‌کننده حد آستانه[4] بین این رژیم‌هاست. مقدار متغیر انتقال و مقدار تابع انتقال متناظر با آن $F(.)$، تعیین‌کننده الگوی حاکم در هر دوره t خواهد بود.

در ادبیات موجود، شکل تابعی معمول که برای تابع انتقال در نظر گرفته شده است، به صورت لجستیک است. بر این اساس، شکل تابع انتقال به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$F(s_t, \gamma, c) = \{1 + \exp[-\gamma \prod_{j=1}^{J} (s_t - c_j)]\}^{-1}, \gamma > 0 \qquad (۵)$$

در تخمین الگو معمولاً دو حالت $j = 1$ (LSTR۱) و $j = 2$ (LSTR۲) در نظر گرفته می‌شود. در حالت $j = 1$ پارامترهای $\pi + \theta F(s_t, \gamma, c)$ به صورت تابعی یکنوا[5] از s_t، بین

1. Switching Regression
2. Slope Parameter
3. Location Parameter
4. Threshold
5. Monotonic Function

π و $\pi+\theta$ تغییر می‌یابند. در حالت $j=2$، پارامترهای $\pi+\theta F(s_t,\gamma,c)$ به صورت متقارن[1] حول مقدار میانی $\frac{c_1+c_2}{2}$ تغییر می‌یابد.

در این مقاله تخمین معادله (۳) مبنای کار است. اما همانطور که قبلا توضیح داده شد، ارتباط مصرف انرژی و رشد اقتصادی می‌تواند تحت تأثیر ترکیب مصرف و یا سهم بخش‌های مختلف از انرژی باشد. بنابراین ارتباط مصرف انرژی و رشد اقتصادی به صورت غیرخطی در نظر گرفته شده و معادله زیر برآورد می‌شود.

$$\begin{aligned} GY_t &= \alpha GK_t + \beta GL_t + \pi w_t + (\theta w_t)F(s_t,\gamma,c) + u_t \\ w_t &= (1, GE_t) \end{aligned} \qquad (۶)$$

در معادله (۶) ارتباط نیروی کار و سرمایه با رشد اقتصادی، خطی فرض شده اما اثر مصرف انرژی براساس مباحث مطرح شده در مبانی نظری به صورت غیرخطی است. همانطور که قبلاً گفته شد، متغیر انتقال متغیری است که مقدار آن می‌تواند بر نحوه اثرگذاری متغیر توضیحی بر متغیر وابسته تأثیر گذارد. براساس بحثی که در مبانی نظری ارائه گردید، ترکیب مصرف و سهم بخش‌های مختلف از انرژی می‌تواند بر میزان اثرگذاری مصرف انرژی بر رشد اقتصادی اثرگذار باشد. بنابراین در این مقاله با استفاده از آزمون‌های موجود، متغیر انتقال از بین متغیرهایی که می‌توانند نشان‌دهنده ترکیب مصرف انرژی باشند، انتخاب می‌شود. این متغیرها شامل سهم بخش خانگی، عمومی و تجاری از مصرف انرژی، سهم بخش غیرتولیدی از مصرف انرژی، سهم بخش صنعتی از مصرف انرژی و سهم بخش‌های صنعتی و کشاورزی از مصرف انرژی هستند که به ترتیب s_1، s_2، s_3 و s_4 نامگذاری می‌شوند. به منظور تخمین الگوی رگرسیون انتقال ملایم لازم است مراحل زیر به ترتیب انجام شود.

۱. آزمون خطی بودن مدل
۲. انتخاب متغیر انتقال
۳. انتخاب نوع مدل از دو حالت LSTR۱ و LSTR۲
۴. انتخاب مقادیر اولیه پارامترهای γ و c در الگوریتم نیوتون- رافسون

1. Symmetric

۵. برآورد الگوی نهایی توسط الگوریتم نیوتون- رافسون و با استفاده از روش حداکثر تابع درستنمایی شرطی

در ادامه، توضیح مختصری از مراحل لازم برای تخمین الگوی رگرسیون انتقال ملایم ارائه می‌شود.

۳-۲. آزمون خطی یا غیرخطی بودن مدل

یکی از مراحل اساسی در تخمین الگوهای انتقال ملایم، آزمون خطی بودن مدل در برابر مدل غیرخطی است. در صورتی که فرضیه صفر مبنی بر خطی بودن مدل رد نشود، می‌توان گفت که اثر متغیرهای توضیحی بر متغیر وابسته می‌تواند توسط یک مدل خطی توضیح داده شود و نیازی به مدل غیرخطی نخواهد بود. بر این اساس، فرضیه صفر مبنی بر خطی بودن مدل در حالت عمومی (معادله (۴)) می‌تواند به صورت $H_0: \theta = 0$ تعریف شود. اما به دلیل مشکلاتی که در مورد آزمون این فرضیه وجود دارد، لوکونن و دیگران[1] پیشنهاد می‌دهند که از تقریب درجه سوم تیلور[2] تابع انتقال $F(s_t, \gamma, c)$ استفاده شود. بر این اساس از رگرسیون کمکی زیر که از بسط درجه سوم تابع لجستیک به‌دست آمده جهت انجام آزمون خطی بودن مدل استفاده می‌شود.

$$y_t = \delta' w_t + \beta_1' w_t s_t + \beta_2' w_t s_t^2 + \beta_3' w_t s_t^3 + v_{3t} \qquad (۷)$$

در این حالت فرضیه صفر مبنی بر خطی بودن مدل به صورت زیر خواهد بود که با استفاده از مجموع مربعات خطا برای مدل‌های مقید و غیرمقید و محاسبه آماره F، مورد آزمون قرار می‌گیرد.

$$H_0: \beta_1' = \beta_2' = \beta_3' = 0$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۳-۳. انتخاب متغیر انتقال

در معادله (۶) ابتدا باید متغیر انتقال جهت انجام آزمون خطی بودن تعیین گردد. انتخاب این متغیر نه تنها در این آزمون از اهمیت بالایی برخوردار است بلکه در تعیین نوع مدل و تخمین نهایی آن نیز سهم بسزایی دارد. برای این منظور تسای[3] و تراسویرتا (۱۹۹۴) پیشنهاد می‌کنند که متغیر انتقال

1. Luukkonen, *et al* (1988)
2. Taylor Approximation
3. Tsay (1989)

مناسب طوری انتخاب شود که آماره آزمون مربوط به آزمون خطی بودن حداقل شود. به عبارت دیگر جهت انتخاب متغیر انتقال مناسب، ابتدا آزمون خطی بودن مدل برای متغیرهای بالقوه مختلف انجام می‌شود و سپس متغیری انتخاب می‌گردد که مقدار آماره آزمون برای آن در بین سایر متغیرها کمترین باشد.

۳-٤. انتخاب شکل تابع انتقال از بین دو حالت LSTR۱ و LSTR۲

در صورت تأیید غیرخطی بودن مدل، باید شکل تابعی مناسب برای تابع انتقال مورد بررسی قرار گیرد. همانطور که گفته شد در مطالعات موجود، تابع انتقال به دو فرم LSTR۱ و LSTR۲ مطرح شده است. تفاوت این دو مدل در آن است که در حالت LSTR۱ دینامیک انتقال در دو طرف حد آستانه غیرمتقارن بوده ولی در حالت LSTR۲ در دو طرف مقدار میانی حدود آستانه متقارن است. بنابراین یکی از مباحثی که در تخمین مدل رگرسیون انتقال ملایم حائز اهمیت است انتخاب شکل تابع انتقال است. در این آزمون ابتدا معادله (۷) برآورد می‌گردد و سپس مقادیر آماره آزمون برای فرضیات زیر محاسبه می‌گردد و براساس آن الگوی مناسب برای تابع انتقال پیشنهاد می‌شود.

$$H_{0۲}: \beta_۱ = ۰ \,|\, \beta_۲ = \beta_۳ = ۰$$
$$H_{0۳}: \beta_۲ = ۰ \,|\, \beta_۳ = ۰$$
$$H_{0۴}: \beta_۳ = ۰$$

۳-۵. مقادیر اولیه در برآورد پارامترهای موقعیت و شیب

پارامترهای مدل STR توسط الگوریتم نیوتون- رافسون مورد برآورد قرار می‌گیرد. بنابراین لازم است یک مقدار اولیه مناسب برای شروع الگوریتم انتخاب گردد. جستجوی مقادیر اولیه از طریق یک گرید[1] خطی در c (پارامتر موقعیت) و خطی- لگاریتمی در γ (پارامتر شیب) صورت می‌پذیرد. برای هر مقدار c و γ مجموع مربعات خطا محاسبه می‌گردد و مقادیری از این دو پارامتر به عنوان نقطه شروع الگوریتم معرفی می‌شود که کمترین مجموع مربعات خطا (SSR) را حاصل کند.

1. Grid

٤. تحلیل تجربی

در این مقاله به دنبال تخمین ارتباط مصرف انرژی و رشد اقتصادی به روش غیرخطی براساس معادله (۶) هستیم. در این راستا از داده‌های اقتصاد ایران در دوره ۱۳۸۷-۱۳۴۶ استفاده می‌شود. این داده‌ها از منابع آماری بانک مرکزی و ترازنامه انرژی استخراج شده‌اند. در ادامه به برآورد تجربی الگو و انجام آزمون‌های مورد نیاز خواهیم پرداخت.

٤-١. آزمون مانایی

در ابتدا و پیش از تخمین الگو لازم است درجه مانایی متغیرها مورد ارزیابی قرار گیرد. نتایج آزمون ریشه واحد دیکی فولر برای متغیرهای مدل شامل نرخ رشد محصول واقعی (GY)، نرخ رشد حجم سرمایه (GK) ، نرخ رشد نیروی کار(GL) و نرخ رشد کل مصرف نهایی انرژی(GE) در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. نتایج آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم‌یافته برای متغیرها

نام متغیر	آماره آزمون	مقدار بحرانی
GY	-۳.۳۴	-۲.۹۳
GK	-۲.۹۵	-۲.۹۳
GL	-۳.۶۹	-۲.۹۳
GE	-۳.۳۱	-۲.۹۳

مأخذ: یافته‌های تحقیق

در آزمون فوق تعداد وقفه در نظر گرفته شده برای هر یک از متغیرها براساس معیار شوارتز بیزین تعیین گردیده است. با مقایسه آماره‌های آزمون با مقادیر بحرانی ارائه شده، وجود ریشه واحد برای تمامی متغیرها رد می‌شود. بنابراین نتایج حاصل نشان از مانایی کلیه متغیرها دارد.

٤-٢. آزمون غیرخطی بودن مدل، انتخاب متغیر و شکل تابع انتقال

همانطور که در بخش‌های قبلی اشاره شد، جهت انجام آزمون خطی بودن مدل، از تخمین رگرسیون کمکی حاصل از بسط درجه سوم تیلور تابع انتقال (معادله (۶)) استفاده می‌شود. در تخمین معادله (۷) نیاز است ابتدا متغیر انتقال تعیین شود. متغیر انتقال متغیری است که تغییرات آن و

فاصله آن از حد آستانه می‌تواند بر اثربخشی متغیر یا متغیرهای توضیحی بر متغیر وابسته اثرگذار باشد. همانطور که در مبانی نظری اشاره شد، ترکیب مصرف انرژی می‌تواند بر میزان اثرگذاری آن بر رشد اقتصادی مؤثر باشد. بنابراین در این تحقیق از بین متغیرهای مختلفی که به نوعی ترکیب مصرف انرژی را نشان می‌دهند، مناسب‌ترین متغیر انتقال انتخاب می‌شود. این متغیرها شامل سهم بخش غیرتولیدی از مصرف انرژی، سهم بخش خانگی، عمومی و تجاری از مصرف انرژی، سهم بخش صنعتی از مصرف انرژی و سهم بخش‌های صنعتی و کشاورزی از مصرف انرژی هستند که به ترتیب s_1، s_2، s_3 و s_4 نامگذاری می‌شوند. متغیر انتقال از بین این چهار متغیر طوری انتخاب می‌شود که آماره آزمون مربوط به آزمون خطی بودن حداقل شود. به عبارت دیگر مقدار آماره آزمون برای آن در بین سایر متغیرها کمترین باشد.

در صورت تأیید غیرخطی بودن مدلی که متغیر انتقال مناسب را دربر دارد، باید شکل تابعی مناسب برای تابع انتقال مورد بررسی قرار گیرد. بنابراین براساس آزمونی که اشاره شد، شکل تابعی مناسب برای تابع انتقال تعیین می‌گردد. نتایج حاصل از انجام آزمون‌های فوق در جدول ۲ خلاصه شده است. گفتنی است که مقادیر ارائه شده در جدول ۲ سطح عدم اطمینان آماره F (Prob F) را نشان می‌دهد. بر این اساس، ستون اول نشان‌دهنده سطح عدم اطمینان در رد فرضیه خطی بودن و ستون‌های بعدی به ترتیب مربوط به سطح عدم اطمینان در رد فرضیات H_{02}، H_{03} و H_{04} است.

جدول ۲. نتایج آزمون‌های خطی بودن، تعیین متغیر انتقال و شکل تابعی مناسب

	P-value				
متغیر انتقال	فرضیه H_0	فرضیه H_{02}	فرضیه H_{03}	فرضیه H_{04}	شکل تابعی پیشنهادی
S_1	۰/۰۴۳	۰/۲۱۹	۰/۱۰۲	۰/۰۹۷	LSTR1
S_2	۰/۰۱۷	۰/۰۰۱	۰/۳۰۵	۰/۴۵۲	LSTR1
S_3	۰/۲۶۶	۰/۷۲۲	۰/۵۶۰	۰/۰۷۱	Linear
S_4	۰/۱۹۱	۰/۲۱۰	۰/۳۱۰	۰/۲۴۶	Linear

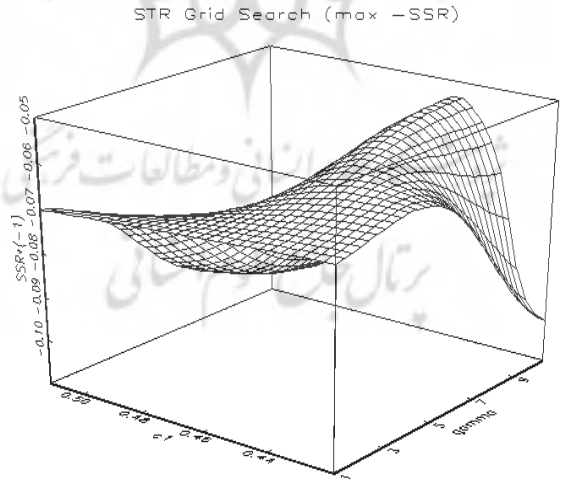
مأخذ: یافته‌های تحقیق

براساس نتایج ستون اول، فرضیه H_0 مبنی بر خطی بودن مدل، با در نظر گرفتن متغیرهای s_1 و s_2 به عنوان متغیر انتقال در سطح اطمینان ۹۵ درصد رد می‌شود. همچنین مقدار p-value در این

آزمون برای متغیر s_2 کمتر از دیگر متغیرهاست. بنابراین متغیر s_2 که نشان‌دهنده سهم بخش غیرتولیدی از مصرف انرژی است، به عنوان متغیر انتقال مناسب انتخاب می‌شود. نتایج حاصل از سه ستون دیگر حاکی از رد فرضیه $H_{0.2}$ و عدم رد فرضیات $H_{0.3}$ و $H_{0.4}$ با در نظر گرفتن متغیر s_2 به عنوان متغیر انتقال است. بر این اساس شکل تابعی مناسب پیشنهاد شده برای تابع انتقال به صورت LSTR1 است.

٤-٣. مقادیر اولیه در برآورد c و γ

برای شروع الگوریتم نیوتون- رافسون در برآورد الگو لازم است یک مقدار اولیه مناسب برای شروع الگوریتم انتخاب گردد. براساس توضیحات ارائه شده در بخشهای قبلی، برای هر مقدار c و γ مجموع مربعات خطا محاسبه می‌گردد و مقادیری از این دو پارامتر به عنوان نقطه شروع الگوریتم معرفی می‌شود که کمترین مجموع مربعات خطا را حاصل کند. در شکل زیر قرینه مجموع مربعات خطا (یعنی SSR-) به صورت تابعی از c و γ نشان داده شده است. بنابراین مقدار ماکزیمم در این شکل نمایانگر کمترین مقدار مربعات خطا بوده و در نتیجه مناسب‌ترین مقدار اولیه برای c و γ است. بدین ترتیب و با توجه به شکل زیر مقدار اولیه $c = ۰/۴۴۸$ و $\gamma = ۱۰$ به عنوان نقطه شروع الگوریتم انتخاب می‌شود.



نمودار ۱. مقادیر قرینه SSR تابعی از c و γ

مأخذ: یافته‌های تحقیق

٤-٤. برآورد اثر مصرف انرژی و رشد اقتصادی توسط مدل LSTR۱

در این مرحله کلیه نکات مبهم الگو مرتفع گردیده و می‌توان به برآورد مدل نهایی پرداخت. شکل کامل الگویی که برآورد می‌گردد با توجه به غیرخطی بودن مدل، انتخاب $s_۲$ به عنوان متغیر انتقال و شکل تابعی LSTR۱ برای تابع انتقال، به صورت زیر است.

$$GY_t = \alpha GK_t + \beta GL_t + \pi w_t + (\theta w_t)F(s_{۲t}, \gamma, c) + u_t$$
$$w_t = (۱, GE_t)$$
$$F(s_{۲t}, \gamma, c) = \{۱ + \exp[-\gamma(s_{۲t} - c)]\}^{-۱}, \gamma > ۰$$

در معادله بالا، اثر نرخ رشد نیروی کار و نرخ رشد سرمایه بر رشد تولید خطی فرض شده و اثر رشد مصرف انرژی غیرخطی و تابعی از سهم بخش غیرتولیدی از مصرف فرض می‌شود. نتایج تخمین این معادله در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳. نتایج تخمین الگوی LSTR۱

متغیر توضیحی	ضریب	Prob
قسمت خطی مدل		
عرض از مبدأ	-۰/۰۸۹	۰/۰۰۱۰
GK	۰/۳۲۰	۰/۰۵۳۶
GL	۰/۳۴۲	۰/۰۴۱۶
GE	۰/۸۸۰	۰/۰۰۰۱
قسمت غیرخطی مدل		
عرض از مبدأ	۰/۱۱۲	۰/۰۰۰۴
GE	-۰/۷۴	۰/۰۲۲۹
γ	۵۵/۳۵	۰/۰۶۹۳
c	۰/۴۴۷	۰

مأخذ: یافته‌های تحقیق

با توجه به جدول ۳، کلیه ضرایب حداقل در سطح ۹۰ درصد معنادار است. ضرایب نرخ رشد سرمایه و نرخ رشد نیروی کار که بیانگر کشش تولید نسبت به سرمایه و نیروی کار هستند، مطابق با انتظار مثبت بوده و به ترتیب برابر ۰/۳۲ و ۰/۳۴ هستند. اما ضریب رشد مصرف انرژی در بخش خطی مدل مثبت و برابر ۰/۸۸ بوده و در بخش غیرخطی منفی و برابر ۰/۷۴- است. از آنجا که

ضریب مصرف انرژی در این مدل در هر لحظه از زمان از جمع ضریب بخش خطی به اضافه درصدی از ضریب بخش غیرخطی حاصل می‌شود، می‌توان گفت که اثر رشد انرژی در کل مثبت است. اندازه این ضریب در هر دوره بستگی به فاصله سهم بخش غیرتولیدی از مصرف انرژی نسبت به حد آستانه دارد. اندازه حد آستانه برابر ۰/۴۴۷ به‌دست آمده است. این بدان معنی است که هر چه سهم بخش غیرتولیدی از مصرف انرژی بیشتر از تقریباً ۴۵ درصد باشد، مقدار تابع انتقال به سمت یک میل کرده و با توجه به منفی بودن ضریب بخش غیرخطی، اثرگذاری رشد مصرف انرژی بر رشد اقتصادی کاهش می‌یابد. در مقابل هر چه سهم بخش غیرتولیدی از مصرف انرژی کمتر از ۴۵ درصد باشد، مقدار تابع انتقال به سمت صفر میل کرده و اثرگذاری رشد مصرف انرژی بر رشد اقتصادی افزایش می‌یابد. این نتیجه مطابق با انتظارات است، چرا که انتظار داریم اثرگذاری آن بخش از مصرف انرژی که وارد بخش‌های تولیدی مثل صنعت، کشاورزی و حمل و نقل می‌شود، بیش از بخش‌های خانگی، تجاری و عمومی باشد.

ضریب γ یا پارامتر شیب، بیانگر سرعت حرکت تابع انتقال بین دو مقدار حدی صفر و یک است که سرعت انتقال بالایی را نشان می‌دهد. جدول ۴ میزان اثرگذاری رشد مصرف انرژی را بر رشد اقتصادی در دو رژیم حدی و دو حالت خاص نشان می‌دهد.

جدول ٤. مقایسه ضرایب دو رژیم حدی

متغیر	رژیم حدی صفر	رژیم حدی یک	S_2=s۱۳۸۷	S_2=mean
عرض از مبدأ	-۰/۰۸۹	۰/۰۲۳	۰/۰۰۸	-۰/۰۰۵
GE	۰/۸۸	۰/۱۴	۰/۲۳۶	۰/۳۲۵

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۴ مقدار عرض از مبدأ و ضریب رشد مصرف انرژی را در دو حالت حدی، یعنی زمانی که تابع انتقال برابر صفر بوده (رژیم حدی صفر) و زمانی که تابع انتقال برابر یک باشد (رژیم حدی یک)، نشان می‌دهد. همچنین این ضرایب برای دو حالت خاص یعنی زمانی که سهم بخش غیرتولیدی از مصرف انرژی برابر مقدارش در سال ۱۳۸۷ بوده (آخرین دوره نمونه) و زمانی که این سهم برابر مقدار میانگین آن در سال‌های مورد بررسی (۱۳۸۷-۱۳۴۶) باشد، نیز محاسبه شده است. براساس این نتایج ضریب رشد مصرف انرژی بر رشد تولید که به عبارتی کشش تولید نسبت

به انرژی است، بین ۰/۸۸ و ۰/۱۴ در تغییر بوده است. مقدار این ضریب در هر لحظه از زمان بستگی به ترکیب مصرف انرژی دارد. اگر ترکیب مصرف انرژی همانند سال ۱۳۸۷ باشد، کشش تولید نسبت به انرژی در حدود ۰/۲۴ است. همچنین اندازه این کشش به‌طور متوسط در طول دوره ۱۳۸۷-۱۳۴۶ تقریباً ۰/۳۲ است.

۵. نتیجه‌گیری

در جهان کنونی مصرف انرژی مرتباً در حال رشد بوده و از آنجا که بیشتر مصرف انرژی از جمله انرژی‌های فسیلی است، این افزایش مصرف، افزایش آلودگی و گرم شدن کره زمین را به دنبال داشته است. از این رو کاهش مصرف انرژی در دستور کار دولت‌ها قرار گرفته و معاهدات بین‌المللی همچون پیمان کیوتو در راستای کاهش مصرف انرژی به امضای برخی کشورها رسیده است.

کاهش مصرف انرژی در ایران نیز به دلایلی همچون اتلاف بی‌رویه آن و لزوم حفظ منابع انرژی برای نسل‌های آینده مورد توجه مسئولین قرار گرفته و اجرای طرح هدفمندی یارانه‌ها نمادی از این امر است. اما از سوی دیگر، براساس برخی تئوری‌های اقتصادی و همچنین برخی شواهد تاریخی، انرژی از عوامل تولید به حساب آمده و محدودیت مصرف آن ممکن است باعث جلوگیری از روند رشد تولید شود. بر این اساس مطالعات مختلفی در ایران و جهان به بررسی ارتباط مصرف انرژی و رشد اقتصادی پرداخته‌اند.

در این مقاله با استفاده از روش رگرسیون انتقال ملایم، غیرخطی بودن ارتباط بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی مورد بررسی قرار گرفت. از جمله محاسن روش رگرسیون انتقال ملایم آن است که این امکان را ایجاد می‌کند که روابط بین متغیرها برحسب شرایط سیستم تغییر یابند. شرایط سیستم توسط متغیری به نام متغیر انتقال و فاصله آن با حد آستانه مشخص می‌شود. از آنجا که اثربخشی مصرف انرژی بر تولید در بخش‌های مختلف متفاوت است، ترکیب مصرف انرژی و سهم بخش‌های مختلف از مصرف انرژی می‌تواند بر میزان اثرگذاری مصرف بر رشد اقتصادی مؤثر باشد. از این رو در این مقاله متغیر انتقال از بین متغیرهایی که به نوعی بیانگر ترکیب مصرف انرژی بودند، انتخاب گردید. این نکته وجه تمایز این مقاله با دیگر مطالعات مشابه است.

نتایج حاصل از این تخمین، تأییدکننده وجود ارتباط مثبت و غیرخطی بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی در ایران است. این ارتباط به ترکیب مصرف انرژی وابسته بوده و هر چه سهم بخش غیرتولیدی از مصرف انرژی بیشتر باشد، اثربخشی انرژی بر تولید کمتر است. مقدار حد آستانه‌ای برای سهم بخش غیرتولیدی تقریباً ۰/۴۵ است. این بدان معنی است که براساس ضرایب به‌دست آمده از قسمت‌های خطی و غیرخطی الگو، هر چه سهم بخش غیرتولیدی از مصرف انرژی بیشتر از ۴۵ درصد باشد، مقدار تابع انتقال به سمت یک میل کرده و اثرگذاری رشد مصرف انرژی بر رشد اقتصادی کاهش می‌یابد. در مقابل هر چه این سهم کمتر از ۴۵ درصد باشد، مقدار تابع انتقال به سمت صفر میل کرده و اثرگذاری رشد مصرف انرژی بر رشد اقتصادی افزایش می‌یابد. بر این اساس، کشش تولید نسبت به انرژی با کاهش سهم بخش غیرتولیدی و افزایش سهم بخش تولیدی از مصرف انرژی، افزایش یافته و مقدار آن در دوره مورد بررسی (۱۳۸۷-۱۳۴۶) بین ۰/۱۴ و ۰/۸۸ در نوسان بوده است. مقدار متوسط این کشش برابر ۰/۳۲۵ است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده به نظر می‌رسد که دولت باید در اجرای سیاست‌های محدودکننده مصرف انرژی، به تفاوت اثربخشی مصرف انرژی در بخش‌های مختلف توجه داشته باشد. به عبارت دیگر، کاهش مصرف انرژی در بخش‌های تولیدی می تواند آثار نگران‌کننده‌ای بر تولید و رشد اقتصادی داشته باشد، در حالی که کاهش مصرف در بخش‌های غیرتولیدی تأثیر کمتری دارد. بنابراین دولت باید در اجرای سیاست‌های محدودکننده مصرف انرژی، سعی در کاهش مصرف در بخش‌های غیرتولیدی داشته و برای بخش‌های تولیدی محدودیت‌های کمتری به اجرا گذارد. از این طریق سیاستگذاران می‌توانند ضمن دستیابی به هدف کاهش مصرف انرژی، اثرات منفی کمتری را بر تولید ملی تحمیل نمایند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

الف- فارسی

خورسندی، مرتضی (۱۳۸۳)، «بررسی رابطه مصرف انرژی، اشتغال و تولید ناخالص داخلی: مورد ایران ۸۰-۱۳۴۶»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، بهمن ۱۳۸۳.

فلاحی، فیروز و عبدالرحیم هاشمی دیزج (۱۳۸۹)، «رابطه علیت بین GDP و مصرف انرژی در ایران با استفاده از مدل‌های مارکوف سوئیچینگ»، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، شماره ۲۶، صفحات ۱۵۲-۱۳۱.

مهرآرا، محسن و محمود زارعی (۱۳۹۰)، «اثرات غیرخطی مصرف انرژی بر رشد اقتصادی مبتنی بر رویکرد حد آستانه‌ای»، *فصلنامه پژوهشهای رشد و توسعه اقتصادی*، شماره ۵، صفحات ۴۳-۱۱.

ب- انگلیسی

Ayres, R. U. and I. Nair (1984), "Thermodynamics and Economics", *Physics Today*, Vol. 37 (November).

Ghali, K. H. and M. I. T. El-Sakka (2004), "Energy Use and Output Growth in Canada: AMultivariate Cointegration Analysis", *Energy Economics*, Vol. 26, pp. 225-238.

Lee, C. C. and C. P. Chang (2007), "The Impact of Energy Consumption on Economic Growth: Evidence from Linear and Nonlinear Models in Taiwa", *Energy*, Vol. 32, pp. 2282-2292.

Lukkonen, R., Saikkonen, P. and T. Teräsvirta (1988), "Testing Linearity Against Smooth Transition Autoregressive Models", *Biometrika*, Vol. 75, No. 3, pp. 491-499.

Omay, T., Hasanov, M. and N. Ucar (2012), "Energy Consumption and Economic Growth: Evidence from Nonlinear Panel Cointegration and causality Tests", Hacettepe University Department of Economics Working Papers, Number 20130.

Rahman, S. and A. Serletis (2010), "The Asymmetric Effects of Oil Price and Monetary Policy Shocks: A Nonlinear VAR Approach", *Energy Economics*, Vol. 32, pp. 1460-1466.

Soytas, U. and R. Sari (2006), "Energy Consumption and Income in G7 Countries", *Journal of Policy Modeling*, Vol. 28, pp. 739-750.

Stern, D. I. (1993), "Energy Use and Economic Growth in the USA, A Multivariate Approach", *Energy Economics*, No. 15, pp. 137-150.

Stern, D. I. (2000), "A Multivariate Cointegration Analysis of the Role of Energy in the US Macroeconomy", *Energy Economics*, Vol. 22, No. 2, pp. 267-283.

Teräsvirta, T. (1994), "Specification, Estimation, and Evaluation of Smooth Transition Autoregressive Models", *Journal of American Statistical Association*, Vol. 89, pp. 208-218.

Tsay, R. (1989), "Testing and Modeling Threshold Autoregressive Processes", *Journal of American Statistical Association*, Vol. 84, pp. 231-240.