

رابطه رشد اقتصادی و مصرف انرژی در ایران (تحلیلی از مدل‌های علیت خطی و غیرخطی)

دکتر تیمور محمدی*، دکتر حمید ناظمیان** و محسن نصرتیان نسب***

تاریخ دریافت: ۲۴ دی ۱۳۹۱ تاریخ پذیرش: ۶ خرداد ۱۳۹۲

رابطه علیت بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی یکی از موضوعات مهم اقتصاد انرژی است که بسیار مورد مطالعه قرار گرفته است. با این حال مطالعات قبلی در ایران رفتار غیرخطی این دو متغیر که می‌تواند به عنوان نتیجه‌ای از شکست‌های ساختاری باشد را نادیده گرفته‌اند. در این مطالعه علاوه بر آزمون علیت مرسوم خطی گرنجر از آزمون علیت غیرخطی نیز برای بررسی رابطه دقیق علی بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی در کشور ایران استفاده شده است. آزمون علیت غیرخطی مورد استفاده در این تحقیق براساس مفهوم انتگرال همبستگی^۱ (یک برآوردگر احتمالات فاصله‌ای در طول زمان) است. در این مطالعه ما با استفاده از داده‌های سری‌های زمانی مصرف انرژی و رشد اقتصادی ایران در دوره زمانی ۱۳۸۹-۱۳۴۶ به نتایجی که حاکی از وجود یک رابطه علی خطی و غیرخطی یک طرفه، از مصرف انرژی به رشد اقتصادی است دست یافتیم.

واژه‌های کلیدی: مصرف انرژی، رشد اقتصادی، رابطه علیت خطی، رابطه علیت غیرخطی.
طبقه‌بندی JEL: C53، O40، Q41.

* عضو هیئت علمی دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی

** عضو هیئت علمی دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی

*** دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی

۱. مقدمه

انرژی به عنوان یک نیروی محرکه در بیشتر فعالیت‌های تولیدی و خدماتی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است و از آنجایی که محور اصلی فرآیند رشد اقتصادی، رشد تولید ناخالص داخلی است، انرژی نقش مؤثری در رشد و توسعه اقتصادی کشور ایفا می‌کند.

رابطه علیت بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی و تعیین جهت علیت بین این دو متغیر، از زمان بروز شوک‌های نفتی در دهه ۷۰ میلادی و ایجاد نوسانات شدید در قیمت حامل‌های انرژی، توسط محققان زیادی مورد مطالعه قرار گرفته است. علاوه بر نوسانات قیمت انرژی و همچنین کمیابی منابع انرژی، عامل مهم دیگری که ضرورت بررسی رابطه بین تولید و مصرف انرژی را دو چندان می‌کند، مسائل زیست‌محیطی است که کشورهای جهان با آن مواجه‌اند. گرم شدن جهان به واسطه افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، یکی از این مسائل به شمار می‌رود. در سال‌های اخیر معاهده‌ها و پیمان‌های زیادی از جمله پیمان کیوتو و منترال، برای کنترل این مشکل توسط کشورهای مختلف امضا شده است که هدف تمام این معاهده‌ها تلاش برای کاستن از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای مثل دی‌اکسید کربن است. اما باید توجه داشت که میزان انتشار این آلاینده‌ها رابطه‌ای مستقیم با میزان مصرف انرژی کشورها داشته و انرژی به عنوان یکی از عوامل تولید و موتور محرکه رشد اقتصادی به شمار می‌رود. بنابراین اگر کنترل انتشار آلاینده‌ها، رشد اقتصادی کشور را کاهش دهد، تناقض در اهداف کشورها ایجاد می‌شود.

از آنجایی که کشور ایران به عنوان یک کشور رو به رشد و برخوردار از منابع انرژی غنی و گسترده و دارا بودن مخازن بزرگ نفتی، معادن عظیم زیرزمینی و پتانسیل بالقوه انرژی، یکی از مصادیق الگوی رشد با فشار بر منابع طبیعی محسوب می‌شود. بنابراین، برنامه‌ریزی برای تولید و مصرف انرژی، اهمیت فراوان داشته و باید با دقت فراوان انجام گیرد.

ارتباط بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی، موضوعی بسیار مهم در اقتصاد انرژی است. مطالعات قبلی در این زمینه رفتار غیرخطی که می‌تواند به وسیله شکست‌های ساختاری ایجاد شود را نادیده گرفته‌اند. با بررسی روند زمانی مصرف حامل‌های انرژی در ایران می‌توان یک یا چند شکست را مشاهده کرد و با وجود شکست‌های ساختاری در سری‌های زمانی، برای بررسی رابطه بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی می‌بایستی رفتار غیرخطی نیز مدنظر قرار گیرد.

در این مطالعه، تلاش می‌شود چگونگی رابطه علیت بین مصرف نهایی انرژی و رشد اقتصادی بررسی شود و بدین منظور از آزمون علیت خطی گرنجر (۱۹۶۹) و آزمون علیت غیرخطی ارائه شده توسط هیمسترا و جونز^۱ استفاده می‌کنیم. دلیل بکارگیری آزمون علیت غیرخطی، وجود شکست‌های ساختاری در الگوی مصرف انرژی در دوره زمانی مورد مطالعه ما است که این شکست‌ها می‌توانند ناشی از نوسانات قیمت نفت، وقایع اقتصادی، تغییرات محیطی و همچنین تغییرات سیاستگذاری‌ها باشند. به دلیل احتمال وجود رابطه غیرخطی در بین متغیرها و به منظور یافتن پاسخ این پرسش که آیا پسماندها در مدل خطی، مستقل و مشخص هستند یا نه، از آزمون BDS ارائه شده توسط براک و همکاران^۲ استفاده می‌کنیم. اگر فرض مستقل و مشخص بودن پسماندها در آزمون BDS رد شود آزمون غیرخطی ارائه شده توسط هیمسترا و جونز^۳ می‌بایستی دنبال شود.

در ادامه مقاله، ابتدا مروری بر مبانی نظری و تجربی رابطه میان مصرف نهایی انرژی و رشد اقتصادی انجام می‌شود، سپس با استفاده از داده‌های سالانه ۱۳۸۹-۱۳۴۶، رابطه علیت خطی و غیرخطی در قالب علیت گرنجری بین رشد اقتصادی و مصرف انرژی در ایران بررسی می‌گردد.

۲. مروری بر مبانی نظری و تجربی تحقیق

۲-۱. مبانی نظری رابطه رشد اقتصادی و مصرف انرژی

میزان دسترسی بنگاه‌های اقتصادی به عوامل تولید بر سطح تولید آنها اثر گذار است و هرگونه تخصیصی از عوامل تولید نیز، نتایج متفاوتی بر سطوح تولیدی کالاها و خدمات خواهد داشت. بدیهی است تولید بنگاه‌ها، تولید کل و نهایتاً سطح رشد اقتصادی را تعیین می‌کند. لذا عوامل تولید از طریق تغییری که بر تولید بنگاه‌ها ایجاد می‌کنند رشد اقتصادی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. بدین ترتیب اگر تولید هر بنگاه را تابعی از بکارگیری عوامل مختلف در نظر بگیریم خواهیم داشت:

$$Q = f(x_i)$$

1. Hiemstra and Jones (1994)

2. Brock, *et al* (1987)

3. Hiemstra and Jone (1994)

که در اینجا Q تولید کل داخلی و X_i عوامل مختلف تولید است. همچنین فرض می‌شود بین استفاده از این عوامل تولید و سطح تولید رابطه مستقیم وجود دارد، یعنی افزایش هر یک از نهاده‌های مذکور باعث افزایش تولید می‌گردد. به عبارتی به همراه رشد اقتصادی، تقاضا برای عوامل تولید افزایش می‌یابد.

یکی از عواملی که به عنوان عامل تولید مورد استفاده قرار می‌گیرد، انرژی با شکل‌های مختلف آن است و در بیشتر فعالیت‌های تولیدی و خدماتی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است و نقش مؤثری در رشد اقتصادی کشورها ایفا می‌کند. در مدل‌های رشد نئوکلاسیک، تنها سرمایه و نیروی کار از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رشد اقتصادی هستند. با این حال در نظریه‌های جدید رشد، عامل انرژی نیز با درجه اهمیت متفاوتی مورد توجه قرار گرفته است. استرن و کلوند^۱ با استفاده از تحقیقات تابع تولید نئوکلاسیکی، عواملی که می‌توانند رابطه بین مصرف انرژی و فعالیت‌های اقتصادی را تحت تأثیر قرار دهند را مورد بررسی قرار داده‌اند و حالت کلی یک تابع تولید را به فرم زیر بیان کرده‌اند:

$$(Q_1, \dots, Q_m) = f(A, X_1, \dots, X_n, E_1, \dots, E_p)$$

که در آن Q_i تولیدات مختلف اقتصادی از قبیل کالاهای تولیدی و خدمات، X_i عوامل تولید از قبیل سرمایه و نیروی کار، E_i عامل انرژی مانند نفت و A نشانه وضعیت تکنولوژیکی و شاخص بهره‌وری است. در این تابع رابطه بین انرژی و تولید کل (تولید ناخالص داخلی) با عواملی از قبیل جانشینی بین انرژی و دیگر عوامل، تغییرات تکنولوژیکی (تغییرات در A)، تغییر در ترکیب عامل انرژی، تغییر در ترکیب محصول تولیدی و تغییر در میزان و ترکیب عوامل تحت تأثیر قرار می‌گیرد. بدین ترتیب اگر تولید را تنها تابعی از کار (L)، سرمایه (K) و شکل‌های مختلف انرژی (E) در نظر بگیریم خواهیم داشت:

$$Q = f(L, K, E)$$

بین استفاده از این نهاده‌ها و سطح تولید رابطه مستقیم وجود دارد. یعنی افزایش هر یک از نهاده‌های مذکور باعث افزایش تولید می‌گردد، به عبارت دیگر زمانی که کشور با رشد تولید روبروست، فشار فزاینده‌ای بر منابع وارد می‌شود. در این راستا تقاضا برای شکل‌های مختلف

1. Stern and Kelond (2004)

رابطه رشد اقتصادی و مصرف انرژی در ایران ۱۵۷

انرژی افزایش می‌یابد. از این رو ارتباط بین رشد اقتصادی و مصرف حامل‌های انرژی توجه بسیاری از تحلیل‌گران اقتصادی را به خود جلب کرده است.

۲-۲. پیشینه تحقیق

انرژی به عنوان یک نیروی محرکه، در بیشتر فعالیت‌های تولیدی و خدماتی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار بوده و در مجموع نقش مؤثری در رشد و توسعه اقتصادی کشور ایفا می‌کند به این منظور دیدگاه چند تن از نظریه‌پردازان مورد بررسی قرار می‌گیرد

گرنجر^۱ اولین مطالعه را بر روی مصرف انرژی و رشد اقتصادی انجام داد و از تحلیل علیت استفاده کرد. پیرو این بررسی تعداد زیادی از مطالعات به بررسی رابطه بین مصرف انرژی و توسعه اقتصادی در ایالات متحده، انگلستان، آلمان، ایتالیا، کانادا، سنگاپور و تایلند پرداختند.

ساری و سویتاس^۲ پیشنهاد کردند که کل مصرف انرژی تنها می‌تواند ۲۱٪ خطای پیش‌بینی در GDP ترکیه را توضیح دهد.

دارکمن و جکسون^۳ به این نتیجه رسیدند که مصرف انرژی در بخش خانگی و انتشار آلودگی مرتبط با آن با سطح درآمد در انگلستان همبستگی قوی دارد.

بیرویل و کپلر^۴ در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که کاهش قیمت انرژی باعث بهبود کارایی انرژی و کاهش شدت انرژی خواهد شد.

الکساندرو و لوزاتی^۵ به این نتیجه رسیدند که سیاستگذاران می‌توانند با سیاستگذاری، سرمایه‌گذاری را در تکنولوژی منابع انرژی جایگزین تحریک نمایند.

یوان و کنگ^۶ طی تحقیقات خود دریافتند که افزایش کارایی انرژی در تکنولوژی سوخت و احتراق می‌تواند باعث کاهش مصرف انرژی شود.

ما و استرن پیشنهاد می‌دهند که تغییر تکنولوژی باید به گونه‌ای باشد که غالب مصرف‌کنندگان قادر باشند مصرف انرژی خود را کاهش دهند تا شدت انرژی کاهش یابد.

-
1. GRAGER (1969)
 2. Sari and Soytas (2004)
 3. Druckman and Jackson (2008)
 4. Birol and Keppler (2000)
 5. Alessandro and Luzzati
 6. Yuan and Kang (2008)

گلاشر^۱ به بررسی ارتباط بین مصرف انرژی و درآمد واقعی در اقتصاد کشور کره با توجه به داده‌های سال ۱۹۹۰-۱۹۶۱ پرداخت. گلاشر بیان می‌کند که عدم وجود ارتباط بین درآمد ملی و مصرف انرژی در مطالعات قبلی به علت عدم حضور متغیرهای تأثیرگذار بر درآمد ملی بر می‌گردد. وی با وارد کردن متغیرهایی چون حجم پول، قیمت واقعی نفت، شوک‌های نفتی و مخارج دولتی در مدل به این نتیجه رسید که یک ارتباط دوطرفه بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی وجود دارد.

اوه و لی^۲ نیز به پژوهش مشابهی پرداختند. آنها رابطه علیت بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی را برای کشور کره و برای سالهای ۱۹۹۹-۱۹۷۰ آزمون نمودند. نتایج حاصل از آزمون علیت نشان می‌داد که یک رابطه علی دوطرفه در کوتاه‌مدت و بلندمدت بین مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی وجود دارد.

در ایران نیز تحقیقات مشابهی در این زمینه به انجام رسیده است.

نسرین قبادی (۱۳۷۶) رابطه کوتاه‌مدت بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی را با استفاده از روش گرنجر مورد بررسی قرار داد. وی نشان داد که علیت در هر دو جهت رد می‌شود. ملکی (۱۳۷۸) نشان داد که در کوتاه‌مدت و بلند مدت، یک رابطه علیت یک طرفه از مصرف انرژی به تولید داخلی وجود دارد.

ابریشمی و مصطفایی (۱۳۸۰) به بررسی رابطه بین رشد اقتصادی و مصرف فرآورده‌های عمده نفتی طی دوره ۱۳۷۸-۱۳۳۸ پرداخته‌اند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که در کوتاه‌مدت رابطه علیت گرنجری از مصرف فرآورده‌های نفتی به GDP وجود ندارد، ولی در بلندمدت رابطه علیت از مصرف فرآورده‌ها به تولید ناخالص داخلی برقرار است.

در مطالعه‌ای دیگر آرمن و زارع (۱۳۸۳) به بررسی رابطه علیت گرنجری بین مصرف حامل‌های انرژی و رشد اقتصادی طی سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۶۴ با استفاده از روش‌های تودا و یاماموتو و تصحیح خطا پرداخته‌اند. نتایج حاصله نشان دهنده یک رابطه علیت گرنجری یک طرفه از مصرف نهایی انرژی، مصرف فرآورده‌های نفتی و مصرف برق به رشد اقتصادی و یک رابطه علیت گرنجری یک طرفه از رشد اقتصادی به مصرف گاز طبیعی و مصرف سوخت‌های جامد وجود دارد.

1. Glasure (2002)

2. Oh and Lee (2004)

مهرآرا (۲۰۰۶) به بررسی رابطه علیت گرنجری بین مصرف انرژی و درآمد در ایران پرداخت. وی از آزمون یوهانسون برای وجود رابطه هم‌انباشتگی و مدل تصحیح خطا استفاده کرد. نتایج نشان داد که در بلندمدت یک رابطه علیت گرنجری یک طرفه از درآمد به مصرف انرژی وجود دارد و در کوتاه‌مدت انرژی و درآمد نسبت به یکدیگر خنثی هستند به این معنی که هزینه انرژی سهم کوچکی از تولید ناخالص ملی است و بنابراین اثر قابل توجه و معنی‌داری بر رشد تولید ندارد.

حمید آماده و مرتضی قاضی (۱۳۸۶) رابطه مصرف انرژی و رشد اقتصادی را آزمون نمودند. نتایج حاکی از آن است که یک رابطه علیت کوتاه‌مدت و بلندمدت یک طرفه از مصرف نهایی انرژی به رشد اقتصادی وجود دارد. یک رابطه علیت کوتاه‌مدت یک طرفه از رشد اقتصادی به مصرف نهایی گاز طبیعی وجود دارد.

فیروز فلاحتی و عبدالرحیم هاشمی (۱۳۸۸) نیز به بررسی رابطه علیت بین GDP و مصرف انرژی در ایران با استفاده از مدل‌های مارکوف سوئیچینگ پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که تولید علت گرنجری مصرف انرژی بوده و خنثی نیست.

۳. روش‌شناسی

۳-۱. آزمون علیت گرنجر

آزمون علیت گرنجر^۱ برای یافتن جهت علیت بین دو سری زمانی طراحی شده است. به بیانی روشن‌تر، آزمون علیت گرنجر، ارتباط بین مقدار جاری یک متغیر و مقدار گذشته متغیر دیگر را بررسی می‌کند. با در نظر گرفتن یک مدل VAR برای دو سری زمانی X_t و Y_t خواهیم داشت:

$$Y_t = \alpha_{1y} + \sum_{i=1}^{rn} \beta_{1yi} Y_{t-i} + \sum_{j=1}^{T_{1x}} \beta_{1yj} X_{t-j} + v_{1yt} \quad (1)$$

$$X_t = \alpha_{2x} + \sum_{i=1}^{T_{1x}} \beta_{2xi} X_{t-i} + \sum_{j=1}^{T_{1y}} \beta_{2xj} Y_{t-j} + v_{2xt} \quad (2)$$

که در آن T درجه وقفه، α و β پارامترهای تخمین و v_t جمله خطا است. به منظور بررسی اینکه آیا علیت گرنجر از X به Y برقرار است یا نه، فرضیه صفر در اینجا به این صورت بیان می‌شود:

1. Granger (1969)

$$H: \beta_{1j} = 0 \quad j = 1, 2, \dots, q$$

اگر H رد شود، حداقل یکی از β_{1j} ها مساوی صفر نیست. بنابراین واضح است که مقدار گذشته X یک قدرت پیش‌بینی خطی قابل ملاحظه‌ای بر روی مقدار جاری Y دارد.

۲-۳. آزمون BDS^۱

آزمون BDS که توسط براک و همکاران^۲ ارائه شده است، بر اساس مفهوم انتگرال همبستگی^۳ (یک برآوردگر احتمالات فاصله‌ای در طول زمان) برای آزمون فرض مشخص و مستقل بودن (iid^۴) توزیع جملات خطا در سری‌های زمانی است.^۵ با در نظر گرفتن سری‌های زمانی m بعدی X_t و مشاهدات آن $(X_t, X_{t+1}, \dots, X_{t+m-1})$ می‌توان انتگرال همبستگی را به صورت زیر تعریف کرد:

$$C_m(T, e) = \sum_{t=1}^{T-m} \sum_{s=t+1}^T I(X_t^m, X_s^m, e) \times \frac{2}{T_m(T_m - 1)} \quad (3)$$

$$I(X_t^m, X_s^m, e) = \begin{cases} 1 & \|X_t^m, X_s^m\| < e \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

که $I(X_t^m, X_s^m, e)$ یک تابع مشخصه است و $\|X_t^m, X_s^m\|$ فاصله اقلیدسی^۶ بین X_t^m و X_s^m است. T_m اندازه نمونه را نشان می‌دهد. می‌تواند به T_m زیرمجموعه نمونه‌ای از بردارهای m بعدی تقسیم شود. انتگرال همبستگی فاصله زوج داده‌های (X_t^m, X_s^m) را اندازه‌گیری می‌کند، بنابراین آماره آزمون BDS به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$W_m(T, e) = \frac{\sqrt{T} [C_m(T, e) - C_1(T, e)^m]}{\sigma_m(e)} \quad (4)$$

1. Brock, Dechert and Scheinkman
2. Brock, *et al*
3. Grassberger (1983)
4. Independent and Identically Distributed
5. Brock, *et al* (1996)
6. Euclian

که T اندازه نمونه و $\sigma_m(e)$ انحراف معیار نمونه است. آماره آزمون BDS، بیان می‌کند که $W(T, e)$ ، از یک توزیع مقید نرمال استاندارد پیروی می‌کند. به منظور آزمون رفتار غیرخطی، آزمون BDS بر این فرضیه استوار است که اگر سری‌های ما در حقیقت iid باشند، با نمونه‌ای به حجم T ، احتمال مشترک هر جفت از نقاط $C_m(T, e)$ که شرط فاصله e را در ابعاد m بر روی دو سری زمانی برآورده می‌کنند به صورت ساده‌ای محصول احتمالات انفرادی هر جفت از نقاط $C_1(T, e)$ بر روی هر کدام از سری‌ها است. به عبارتی اگر مشاهدات مستقل باشند $C_m(T, e) = C_1(T, e)^m$ برقرار خواهد بود و رد این فرضیه احتمال وجود یک رابطه غیرخطی را نشان می‌دهد.

۳-۳. آزمون علیت غیرخطی گرنجری

توان محدود یافتن رفتار غیرخطی، مشکلی است که با روش‌های آزمون علیت خطی همراه است. به عبارت دیگر، آزمون‌های علیت خطی، مانند آزمون گرنجر، نمی‌توانند توان پیش‌بینی غیرخطی را پوشش دهند. هیمسترا و جونز^۱ براساس کارهای بایک و براک^۲ یک روش ناپارامتریک آماری بر پایه انتگرال همبستگی برای یافتن رابطه‌های علیت غیرخطی بین سری‌های زمانی ارائه کردند. با در نظر گرفتن دو سری زمانی اکیداً مانا و به صورت ضعیف وابسته X_t و Y_t خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} X_t^m &= (X_t, X_{t+1}, \dots, X_{t+m-1}) & m = 1, 2, \dots & \quad t = 1, 2, \dots \\ X_{t-L_x}^{L_x} &= (X_{t-L_x}, X_{t-L_x+1}, \dots, X_{t-1}) & L_x = 1, 2, \dots & \quad t = L_x + 1, L_x + 2, \dots \\ Y_{t-L_y}^{L_y} &= (Y_{t-L_y}, Y_{t-L_y+1}, \dots, Y_{t-1}) & L_y = 1, 2, \dots & \quad t = L_y + 1, L_y + 2, \dots \end{aligned} \quad (5)$$

که X_t^m نشان‌دهنده بردار هادی m مؤلفه‌ای، $X_{t-L_x}^{L_x}$ نشان‌دهنده بردار وقفه‌ای L_x مؤلفه‌ای و $Y_{t-L_y}^{L_y}$ نشان‌دهنده بردار وقفه‌ای L_y مؤلفه‌ای است. با اندازه داده شده $m=1$ ، $L_x, L_y \geq 1$ و $e > 0$ ، Y دلیل علی X نیست اگر:

$$\begin{aligned} \Pr \left(\|X_t^m - X_s^m\| < e, \|X_{t-L_x}^{L_x} - X_{s-L_x}^{L_x}\| < e, \|Y_{t-L_y}^{L_y} - Y_{s-L_y}^{L_y}\| < e \right) \\ = \Pr \left(\|X_t^m - X_s^m\| < e, \|X_{t-L_x}^{L_x} - X_{s-L_x}^{L_x}\| < e \right) \end{aligned} \quad (6)$$

1. Hiemstra and Jones (1994)

2. Baek and Brock (1992)

که $\Pr(\cdot)$ نشان‌دهنده احتمال و $\|\cdot\|$ نرم حداکثری است که برای یک بردار d بعدی $x = \{x_1, \dots, x_d\}^T$ با عبارت $\|x\| = \sup_{i=1}^d |x_i|$ داده می‌شود که در اینجا \sup همان سوپریم است. سمت چپ معادله (۶) یک احتمال شرطی است. اگر دو بردار هادی دلخواه X_t^m و X_s^m (به طول m) در فاصله‌ای به اندازه e از یکدیگر قرار داشته باشند، بردارهای وقفه‌ای متناظرشان $X_{s-L_x}^{L_x}$ و $X_{t-L_x}^{L_x}$ به طول L_x و بردارهای وقفه‌ای $Y_{s-L_y}^{L_y}$ و $Y_{t-L_y}^{L_y}$ به طول L_y در فاصله‌ای به اندازه حداکثری e از همدیگر قرار دارند. عبارت سمت راست معادله (۶) نیز احتمالی شرطی است، اگر دو بردار هادی X_t^m و X_s^m (به طول m) در یک فاصله با اندازه e از همدیگر قرار داشته باشند، بردارهای وقفه‌ای متناظرشان، $X_{s-L_x}^{L_x}$ و $X_{t-L_x}^{L_x}$ به طول L_x در یک فاصله با اندازه حداکثری e از همدیگر قرار می‌گیرند. شرط اساسی علیت غیر خطی گرنجر در معادله (۶) را می‌توان با استفاده از نسبت‌های متناظرشان از احتمالات مشترک به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$\frac{C_1(m+L_x, L_y, e)}{C_\gamma(L_x, L_y, e)} = \frac{C_\gamma(m+L_x, e)}{C_\gamma(L_x, e)} \quad (7)$$

که در اینجا احتمالات مشترک به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$C_1(m+L_x, L_y, e) = \Pr\left(\|X_{t-L_x}^{m+L_x} - X_{s-L_x}^{m+L_x}\| < e, \|Y_{t-L_y}^{L_y} - Y_{s-L_y}^{L_y}\| < e\right) \quad (8)$$

$$C_\gamma(L_x, L_y, e) = \Pr\left(\|X_{t-L_x}^{L_x} - X_{s-L_x}^{L_x}\| < e, \|Y_{t-L_y}^{L_y} - Y_{s-L_y}^{L_y}\| < e\right) \quad (9)$$

$$C_\gamma(m+L_x, e) = \Pr\left(\|X_{t-L_x}^{m+L_x} - X_{s-L_x}^{m+L_x}\| < e\right) \quad (10)$$

$$C_\gamma(L_x, e) = \Pr\left(\|X_{t-L_x}^{L_x} - X_{s-L_x}^{L_x}\| < e\right) \quad (11)$$

با جایگذاری معادله (۸) - (۱۱) به وسیله برآورد گرانجری همبستگی، احتمالات مشترک را می‌توان بدین صورت بیان کرد:

$$C_1(m+L_x, L_y, e, n) = \frac{2}{n(n-1)} \sum \sum I(X_{t-L_x}^{m+L_x} - X_{s-L_x}^{m+L_x}, e) I(Y_{t-L_y}^{L_y} - Y_{s-L_y}^{L_y}, e) \quad (12)$$

$$C_\gamma(L_x, L_y, e, n) = \frac{2}{n(n-1)} \sum \sum I(X_{t-L_x}^{L_x} - X_{s-L_x}^{L_x}, e) I(Y_{t-L_y}^{L_y} - Y_{s-L_y}^{L_y}, e) \quad (13)$$

$$C_{\gamma}(m+L_x, e, n) = \frac{\gamma}{n(n-1)} \sum \sum I(X_{t-L_x}^{m+L_x} - X_{s-L_x}^{m+L_x}, e) \quad (14)$$

$$C_{\gamma}(L_x, e, n) = \frac{\gamma}{n(n-1)} \sum \sum I(X_{t-L_x}^{L_x} - X_{s-L_x}^{L_x}, e) \quad (15)$$

$$t, s = \max(L_x, L_y) + 1, \dots, T - m + 1$$

$$n = T - \max(L_x - L_y) - m + 1$$

$I(X, Y, e)$ یک کرنل^۱ را نشان می‌دهد، وقتی که دو بردار X و Y در بین فاصله نرْم حداکثری e از هم قرار داشته باشند برابر ۱ است و در غیر این صورت برابر ۰ است. با اندازه‌های داده شده $m=1$ ، $e > 0$ و $L_x, L_y \geq 1$ و براساس این فروض که X_t و Y_t اکیداً مانا، به صورت ضعیف وابسته و ارگودیک^۲ هستند، اگر Y_t علیت گرنجری X_t نباشد، آنگاه:

$$\sqrt{n} \left[\frac{C_{\gamma}(m+L_x, L_y, e)}{C_{\gamma}(L_x, L_y, e)} - \frac{C_{\gamma}(m+L_x, e)}{C_{\gamma}(L_x, e)} \right] \sim N(0, \sigma^2(m, L_x, L_y, e)) \quad (16)$$

دو آماره (۷) و (۱۶) بروی پسماند مدل VAR به کار برده می‌شوند. مدل‌های VAR هرگونه توان پیشگویی خطی را از بین می‌برند، بنابراین قدرت پیش‌بینی باقیمانده هر یک از سری‌ها برای دیگری، شاخصی از قدرت پیش‌بینی غیرخطی است.

۴. نتایج

۴-۱. داده‌ها

در این مطالعه به بررسی رابطه رشد اقتصادی و مصرف انرژی در ایران پرداخته شده است. داده‌های رشد اقتصادی و مصرف انرژی ایران از منابع بانک مرکزی، ترازنامه انرژی و مرکز آمار ایران تأمین گردیده است. مصرف کل انرژی براساس میلیون تن معادل نفت خام و در داده‌های رشد اقتصادی سال ۱۳۷۶ سال پایه است. در این مطالعه از لگاریتم طبیعی تمام متغیرها استفاده شده است.

1. Kernel
2. Ergodic

۲-۴. آزمون ریشه واحد

قبل از انجام آزمون علیت گرنجر برای اجتناب از رگرسیون کاذب بر روی هر دو سری زمانی آزمون ریشه واحد به منظور اطمینان از مانایی متغیرها انجام شد. جدول ۱، نتایج آزمون ریشه واحد که با استفاده از دیکی فولر تعمیم یافته (ADF) انجام شده است را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود متغیر مصرف انرژی در سطح مانا است ولی نتایج آزمون دیکی فولر تعمیم یافته برای متغیر رشد اقتصادی به دلیل اختلاف کم مقدار آماره آزمون با معیارهای مک کینون در سطح اطمینان ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد قابل اعتماد نبوده و لذا برای وصول اطمینان از مانایی متغیرها از آزمون پیشرفته تر^۱ ERS استفاده نمودیم که با توجه به نتایج جدول ۲ مانایی هر دو متغیر با اطمینان بالا تأیید گردید.

جدول ۱. نتایج آزمون ریشه واحد (ADF)

Critical value	GDP level	EC Level
٪۱	-۴/۱۹	۴/۲۲
٪۵	-۳/۵۲	۵/۷۲
٪۱۰	-۳/۱۹	۶/۷۷
ADF statistic	-۳/۶۲	۲۴۱

۱. * نشان دهنده معنی دار بودن در سطوح متناظر است.

۲. GDP متغیر تولید ناخالص داخلی و EC متغیر مصرف انرژی کل است.
مأخذ: نتایج تحقیق

جدول ۲. نتایج آزمون ERS

Critical value	GDP	EC
٪۱	۴/۲۲	۱/۸۷
٪۵	۵/۷۲	۲/۹۷
٪۱۰	۶/۷۷	۳/۹۱
ERS Statistic	۱۱/۶	۱۴۰

۱. * نشان دهنده معنی دار بودن در سطوح متناظر است.

۲. GDP متغیر تولید ناخالص داخلی و EC متغیر مصرف انرژی کل است.
مأخذ: نتایج تحقیق

1. Elliot-Rothenberg-Stock Point-Optimal

۳-۴. آزمون علیت گرنجر

با توجه به مانایی متغیرها یک مدل VAR باثبات (stable) بین مصرف انرژی و GDP را با وقفه بهینه ۴ برآورد کرده و آزمون علیت خطی گرنجر را انجام دادیم. نتایج آزمون علیت گرنجر در جدول ۳ نمایش داده شده است. در آزمون علیت خطی گرنجری که در این مطالعه انجام شده است، دو فرضیه صفری که باید آزمون شوند بدین صورت بیان می‌شوند: رشد اقتصادی علیت گرنجری مصرف انرژی در ایران نیست و مصرف انرژی علیت گرنجری رشد اقتصادی نیست. نتایج به دست آمده یک رابطه علیت یک طرفه از مصرف انرژی به تولید ناخالص داخلی در سطح معنی داری ۱۰٪ را نشان می‌دهند.

جدول ۳. نتایج آزمون علیت خطی

df	Null hypothesis	F- value	P-value
۴	GDP ≠ EC	۳/۶۶	۰/۴۵۳۳
۴	EC ≠ GDP	۹/۳۲*	۰/۰۵۳۶

۱. *، نشان‌دهنده معنی دار بودن در سطح ۱۰٪ است.
 ۲. فرضیه صفر به صورت EC ≠ GDP به این معنی است که تولید ناخالص داخلی علیت گرنجر مصرف انرژی نیست.
 مأخذ: نتایج تحقیق

۴-۴. آزمون BDS

به منظور اجرای آزمون علیت غیر خطی، ابتدا باید آزمون BDS را بروی پسماندهای مدل VAR، برای بررسی فرض مستقل بودن و مشخص بودن i.i.d^۱ متغیرها انجام شود. اگر فرض i.i.d رد شود رفتار غیرخطی ممکن است بین سری‌ها وجود داشته باشد. بنابراین با احتمال وجود رفتار غیرخطی آزمون علیت غیرخطی گرنجر به جای شکل مرسوم خطی آن مناسب تر به نظر می‌رسد. جدول ۴، نتایج آزمون BDS که بروی پسماندهای سری مصرف انرژی انجام شده است را نشان می‌دهد. براساس نتایج به دست آمده، آماره Z در این آزمون در درجه‌های وقفه ۲، ۳ و ۴ به ترتیب مقادیر ۵/۱۳-، ۳/۶۷- و ۳/۴۵- را اختیار کرده و بنابراین در این سه درجه وقفه فرض i.i.d بودن متغیرها رد می‌شود که بیانگر احتمال وجود رابطه غیرخطی بین سری‌های پسماندها است.

1. Independent and Identically Distributed

بنابراین استفاده از آزمون علیت خطی برای بررسی رابطه علیت بین رشد اقتصادی و مصرف انرژی در ایران مناسب نبوده و با توجه به احتمال وجود رفتار غیرخطی روش مناسب بررسی این رابطه آزمون علیت غیرخطی است که توسط بایک و براک^۱ ارائه گردیده است.

جدول ۴. نتایج آزمون BDS

Length In S.D. (σ^2)	Embedding Dimension (m)	BDS Statistic	W statistic (BDS/SD)
۰/۵	۲	-۰/۰۲۴	-۵/۱۳۲***
۰/۵	۳	-۰/۰۱۱	-۰/۶۷۶***
۰/۵	۴	-۰/۰۰۵	-۳/۴۵۷***
۰/۵	۵	-۰/۰۰۱	-۱/۷۶۹
۰/۵	۶	۰	-۰/۹۷۷

۱. این نتایج براساس پسماندهای مدل VAR است.

۲. *** نشان دهنده معنی دار بودن وابستگی غیرخطی در سطح معنی داری

۱٪ است.

مأخذ: نتایج تحقیق

۵-۴. آزمون علیت غیرخطی گرنجر

براساس احتمال وجود رابطه غیرخطی بین داده‌های رشد اقتصادی و مصرف انرژی در ایران که به وسیله آزمون BDS تأیید شد، آزمون علیت غیرخطی گرنجر به روی پسماندهای مدل برآورد شده به منظور بررسی رابطه دقیق بین این دو متغیر انجام شد. در اینجا به پیروی از روش بایک و براک (۱۹۹۲) بردار هادی (m) را برابر با یک، درجات وقفه ($L_x = L_y$) از ۱ تا ۶ و $e = 1/5$ را در نظر گرفته و دو آماره CS و TS که به ترتیب نشان‌دهنده تفاوت بین دو احتمال شرطی در رابطه (۷) و آماره آزمون استاندارد شده در رابطه (۱۶) هستند را به دست آوردیم. در این آزمون نیز دو فرضیه صفر به صورت عدم وجود علیت غیرخطی از مصرف انرژی و عدم وجود علیت غیرخطی از مصرف انرژی به رشد اقتصادی در نظر گرفته می‌شود. جدول ۵ نتایج آزمون این دو فرضیه را نشان می‌دهند.

1. Baek and Brock (1992)

رابطه رشد اقتصادی و مصرف انرژی در ایران ۱۶۷

همانطور که در جدول ۵ نشان داده شده است، براساس نتایج به دست آمده، رابطه علیت غیرخطی از رشد اقتصادی به مصرف انرژی تأیید نمی‌شود، درعین حال آماره TS در جدول ۵ مقدار ۱/۹۴۴۴- را به خود اختصاص داده است که حاکی از رد فرضیه صفر در این آزمون و وجود یک رابطه علیت غیرخطی یک طرفه، از مصرف انرژی به رشد اقتصادی در سطح معنی داری ۵٪ درصد است.

جدول ۵. نتایج آزمون علیت غیرخطی

$L_x=L_y$	$H_0: GDP \neq EC$		$H_0: EC \neq GDP$	
	CS	TS	CS	TS
۱	-۰/۰۰۰۱	-۰/۰۰۰۶	-۰/۰۰۱۳	-۰/۰۰۸۵
۲	-۰/۰۰۳۰	-۰/۰۱۸۱	-۰/۰۵۰۷	-۰/۳۲۸۳
۳	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۴۰	-۰/۰۵۶۹	-۰/۳۶۴۱
۴	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۶۳	-۰/۰۶۹۳	-۰/۴۳۸۹
۵	۰/۰۰۶۰	۰/۰۳۴۹	-۰/۱۴۴۷	-۰/۹۰۳۷
۶	-۰/۰۰۵۴	-۰/۰۳۳۶	-۰/۳۱۵۵	-۱/۹۴۴۴**

۱. این نتایج براساس پسماندهای یک مدل VAR است. $L_x=L_y$ نشان‌دهنده درجات وقفه استفاده شده در این آزمون است. CS و TS به ترتیب نشان‌دهنده تفاوت بین دو احتمال شرطی در معادله (۷) و آماره استاندارد شده معادله (۱۶) هستند.

۲. ** نشان‌دهنده رد شدن فرضیه صفر در سطح معنی داری ۵٪ است.

مأخذ: نتایج تحقیق

۵. نتیجه‌گیری

رابطه علیت بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی یکی از موضوعات مهم اقتصاد انرژی است که بسیار مورد مطالعه قرار گرفته است. انرژی یکی از عوامل حیاتی برای توسعه اقتصادی هر کشوری بوده و بنابراین نقش مهمی در فعالیتهای اقتصادی ایفا می‌نماید. از طرفی دیگر، سطوح بالاتر توسعه اقتصادی می‌تواند مصرف بیشتر انرژی را القا کند. مشکل گرم شدن زمین و وضع قوانین کاهش گازهای گلخانه‌ای در پروتکل کیوتو، سیاست‌های انرژی کشورهای زیادی را به شکل‌های متفاوتی تحت تأثیر قرار داده است. تغییر در سیاست‌های انرژی و تأثیر متناظر با آن، بر روی رشد اقتصادی (مخصوصاً در کشورهای در حال رشد) نیازمند مطالعات دقیق‌تری است و

روابط پیچیده این دو متغیر را نباید محدود به روش‌های علیت خطی نمود که از دقت کافی برای بیان روابط پیچیده برخوردار نیستند. در این مطالعه ما رابطه رشد اقتصادی و مصرف انرژی در کشور ایران را با دو روش علیت خطی مرسوم گرنجر و همچنین علیت غیرخطی، مورد آزمون قرار داده‌ایم. گفتنی است که قسمت غیرخطی مدل با برنامه‌نویسی با زبان java در محیط نرم‌افزاری Eclipse انجام شده است.

نبود رابطه علی از رشد اقتصادی به مصرف انرژی در ایران با هر دو آزمون خطی و غیرخطی تأیید گردید و نتایج آزمون‌های خطی (در سطح معنی‌داری ۱۰٪) و غیرخطی (در سطح معنی‌داری ۵٪) نشان داد که یک رابطه علی یک طرفه‌ای، از مصرف انرژی به رشد اقتصادی در ایران وجود دارد. اگر چه در این مورد خاص نتایج علیت غیرخطی، نتایج روش خطی را تأیید نموده است اما سطوح اطمینان برآورد شده آنها متفاوت بوده و در کل نتایج این دو روش همیشه همسو نخواهند بود.

در پایان باید عنوان نمود که در این مقاله، سعی بر معرفی صحیح روش نوین علیت غیرخطی، به صورتی کاربردی گردیده است که خود می‌تواند راهنمایی برای مطالعات بعدی در این حیطه و زیربخش‌های مصرف انرژی باشد.

منابع

الف - فارسی

- آرمن، سیدعزیز و روح‌اله زارع (۱۳۸۴)، «بررسی رابطه علیت گرنجری بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی در ایران طی سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۴۶»، *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران*، شماره ۲۴، صفحات ۱۴۲-۱۱۵.
- آماده، حمید و قاضی (۱۳۸۸)، «بررسی رابطه مصرف انرژی و رشد اقتصادی و اشتغال در بخش‌های مختلف اقتصاد ایران»، *مجله تحقیقات اقتصادی*، شماره ۸۶، صفحات ۳۸-۱.
- ابریشمی، حمید و آذر مصطفایی (۱۳۸۰)، «بررسی رابطه بین رشد اقتصادی و مصرف فرآورده‌های عمده نفتی در ایران»، *مجله دانش و توسعه*، شماره ۱۴، صفحات ۴۵-۱۱.
- بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، داده‌های سری زمانی.
- فلاحی، فیروز و هاشمی (۱۳۸۹)، «رابطه علیت بین GDP و مصرف انرژی در ایران با استفاده از مدل‌های مارکف سوئیچینگ»، *فصلنامه مطالعات انرژی*، شماره ۲۶، صفحات ۱۵۲-۱۳۱.

رابطه رشد اقتصادی و مصرف انرژی در ایران ۱۶۹

قبادی، نسرین (۱۳۷۶)، «بررسی رابطه علیت بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی ایران»، همایش ملی انرژی ایران.

ملکی، رضا (۱۳۷۸)، بررسی رابطه علیت بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی.

مرکز آمار ایران، داده‌های سری زمانی.

وزارت نیرو، معاونت انرژی، ترازنامه انرژی، سال‌های مختلف.

ب- انگلیسی

- Alessandro, S. D. and T. Luzzati (2009), "Energy Transition Towards Economics and Environmental Sustainability: Feasible Paths and Policy Implications", *Cleaner Production*, Vol. 18, No. 6, pp. 291-298.
- Baek, E. and W. Brock (1992), "A General Test for Nonlinear Granger Causality: Bivariate Model", Working paper, Iowa State University and University of Wisconsin, *sttistica Sinica* 2, pp. 137-156.
- Brock, W. A. Dechert, W. D. and J. A. Scheinkman (1996), "A Test for Independence Based on the Correlation Dimension", *Econometrics Review*, No. 15, pp. 197-235.
- Birol, F. and J. H. Keppler (2000), "Prices, Technology Development and the Rebound Effect", *Energy Policy*, Vol. 28, No. 6, pp. 457-469.
- Druckman, A. and T. Jackson (2008), "Household Energy Consumption in the UK: A Highly Geographically and Socio-economically Disaggregated Model", *Energy Policy*, Vol. 36, No. 8, pp. 3177-3192.
- Grenger, C. W. J. (1969), "Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross Spectral Methods", *Econometric*, No. 37, pp. 428-438.
- Hiemstra, C. and J. Jones (1994), "Testing for Linear and Nonlinear Granger Causality in the Stock Price-volume Relation", *Journal of Finance*, No. 49, pp. 1639-1664.
- Jing, Zhang and Shihuai Deng (2011), "Modeling the Relationship between Energy Consumption and Economy Development China", *Energy xxx*, pp. 1-8.
- Metcalf, G. E. (1994), "Economics and Rational Conservation Policy", *Energy Policy*, Vol. 22, No. 10, pp. 819-825.
- Sari, R. and U. Soytas (2004), "Disaggregate Energy Consumption, Employment and Income in Turkey", *Energy Economics*, Vol. 26, No. 3, pp. 335-344.

- Son Zan Chio -Wei, Ching-Fu Chen and Zhen Zhu (2008), "Economic Growth and Energy Consumption Revisited-evidence from Linear and Nonlinear Granger Causality", *Energy Economy*, No. 30, pp. 3063-3078.
- Yang Cheng-Lang, Hung-PinLin and Chih-HengChang (2010), "Linear and Nonlinear Causality between Sectoral Electricity Consumption and Economic Growth: Evidence from Taiwan", *Energy Policy*, No. 38, pp. 6570-6573.
- Yuan, J. H. and J. G. Kang (2008), "Energy Consumption and Economic Growth: Evidence from China at both Aggregated and Disaggregated Levels", *Energy Economics*, Vol. 30, No. 6, pp. 3077-3094.

