Archive of SID

فصلنامه علمی مطالعات اقتصادیِ کاربردی ایران
سال هشتم، شماره‌ی ۳۲، زمستان ۱۳۹۸
صفحات: ۱۰۳-۱۲۷
DOI: 10.22084/aes.2019.18854.2858

اثر آستانه‌ای پیچیدگی اقتصادی بر مصرف انرژی در ایران با استفاده از یک الگوی رگرسیون انتقال ملایم

زهرا عزیزی[1*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۲۴

چکیده

شاخص پیچیدگی اقتصادی یکی از جدیدترین شاخص‌های منتشر شده جهت سنجش سطح دانش و تکنولوژی در کشورهاست. در این مقاله با استفاده از یک الگوی رگرسیون انتقال ملایم اثرپذیری مصرف انرژی از پیچیدگی اقتصادی برای اولین بار در اقتصاد ایران طی دوره زمانی ۱۳۹۲-۱۳۵۵ مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. نتایج حاصل از برآورد الگو تأییدکننده وجود رابطه غیرخطی بین متغیرهای درآمد سرانه، شاخص قیمت حقیقی انرژی و پیچیدگی اقتصادی با مصرف انرژی سرانه است. همچنین پیچیدگی اقتصادی سبب یک ساختار دو رژیمی با حد آستانه ۱/۱۵- در این رابطه شده است به‌طوری‌که در رژیم اول که مربوط به سطوح پایین پیچیدگی اقتصادی است، اثر این متغیر بر مصرف انرژی مثبت بوده که می‌تواند ناشی از وجود آثار بازگشتی افزایش تکنولوژی بر مصرف انرژی باشد. در رژیم دوم که مربوط به سطوح بالاتر پیچیدگی است، رابطه موردنظر منفی بوده است؛ بنابراین در رژیم دوم بهبود سطح پیچیدگی می‌تواند به صرفه‌جویی در مصرف انرژی کمک نماید. از طرف دیگر کشش‌پذیری درآمدی و قیمتی انرژی در هر دو رژیم کوچک‌تر از یک بوده است اما با گذر پیچیدگی از حد آستانه کشش‌پذیری به‌ویژه نسبت به قیمت افزایش یافته است که نشان می‌دهد با افزایش تکنولوژی و سطح دانش کشور قدرت واکنش مصرف‌کنندگان انرژی به تغییرات آن بیشتر می‌شود.

کلیدواژه‌ها: مصرف انرژی، کشش‌پذیری تقاضای انرژی، پیچیدگی اقتصادی، پیشرفت تکنولوژی، الگوی غیرخطی رگرسیون انتقال ملایم.

طبقه‌بندی JEL: C24, O30, O33, Q41.

۱. استادیار گروه اقتصاد دانشگاه الزهراء (س) (*نویسنده مسئول)
Email: z.azizi@alzahra.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

رشد شتابان کشورها در دهه‌های اخیر فشار شدیدی را بر منابع انرژی ایجاد کرده است. به همین سبب مساله کمیابی انرژی پررنگ‌تر از پیش جلوه نموده و سیاست‌گذاری مناسب در این حوزه به یکی از دغدغه‌های مهم دولت‌ها تبدیل شده است. شناسایی عوامل اثرگذار بر مصرف انرژی می‌تواند سیاست‌گذاران این حوزه را برای پیش‌بینی نیازهای آینده و برنامه‌ریزی مناسب برای استفاده کارا از ظرفیت‌های آن کمک نماید. به‌خصوص در کشورهای درحال‌توسعه نفتی نظیر ایران، انرژی اهمیت دوچندانی دارد. عمده درآمدهای ارزی کشور از محل فروش نفت است و با مصرف ناکارآمد انرژی در داخل، منابع ارزی زیادی که می‌تواند از صادرات آن حاصل شود، از دست می‌رود. از سوی دیگر ایران به‌دلیل برخورداری از منابع عظیم انرژی یک الگوی رشد اقتصادی همراه با فشار بر منابع طبیعی را دنبال می‌کند. با گذر زمان منابع موجود انرژی‌های فسیلی همچون نفت و گاز کاهش می‌یابد؛ بنابراین اگر کشور به سمت کاراتر نمودن مصرف انرژی حرکت نکند در سال‌های پیش رو با مشکلات عدیده‌ای روبه‌رو خواهد شد.

در اغلب مطالعاتی که به شناسایی عوامل اثرگذار بر مصرف انرژی پرداخته‌اند به دو متغیر قیمت و درآمد توجه ویژه‌ای شده است؛ اما در کنار این دو متغیر سطح تکنولوژی ازجمله مهم‌ترین عواملی است که می‌تواند مصرف انرژی را تحت تأثیر قرار دهد. پیشرفت تکنولوژی می‌تواند کارایی انرژی را بهبود بخشد و درنتیجه باعث کاهش مصرف انرژی شود؛ اما از سوی دیگر، رشد اقتصادی را افزایش می‌دهد که به دنبال آن سبب مصرف بیشتر انرژی می‌شود؛ بنابراین ارتباط بین پیشرفت تکنولوژی و مصرف انرژی بسیار پیچیده است (یوان[1] و همکاران، ۲۰۰۹).

از سوی دیگر رابطه بین تکنولوژی و مصرف انرژی می‌تواند به ماهیت پیشرفت تکنولوژی نیز بستگی داشته باشد (خان[2] و همکاران، ۲۰۱۶). به همین دلیل نوع تکنولوژی و شاخص به‌کاررفته جهت سنجش آن می‌تواند دلیل دیگری بر تفاوت نتایج تجربی در مطالعات این حوزه باشد (جاکوبسن[3]، ۲۰۰۱).

به‌منظور سنجش اثر تکنولوژی بر مصرف انرژی، پژوهشگران از شاخص‌های مختلفی استفاده کرده‌اند. در الگوهای اولیه از متغیر روند زمانی[4] به‌عنوان معیاری از رشد تکنولوژی استفاده شده است. درحالی‌که بعدها شاخص‌هایی همچون میزان ثبت اختراع[5]، مخارج تحقیق و توسعه[6] و بهره‌وری کل

1. Yuan
2. Khan
3. Jacobsen
4. Trend
5. Patent
6. Research and development (R&D)

www.SID.ir

Archive of SID

عوامل تولید[1] برای سنجش رشد تکنولوژی به‌کار گرفته شده‌اند که هر کدام به دلایلی نظیر شمول و عملیاتی شدن، دچار نقصان در اندازه‌گیری درستِ بهبود سطح تکنولوژی در کشورها می‌باشند.

در این مقاله از شاخص جدید پیچیدگی اقتصادی به‌منظور سنجش پیشرفت تکنولوژی استفاده می‌شود. ازآنجاکه مدت زیادی از مطرح‌شدن این شاخص نمی‌گذرد، کمتر مورداستفاده قرار گرفته است، هرچند این شاخص به‌خوبی کشورها را بر اساس تجمیع دانش و ظرفیت‌های تکنولوژیک تفکیک می‌کند. به‌عبارت‌دیگر، پیچیدگی اقتصادی تمامی ظرفیت‌ها، سطح تکنولوژی، نیروی کار ماهر و دانش لازم برای تولید را در خود جای داده است. ازاین‌رو می‌تواند ابعاد وسیع‌تری از بهبود تکنولوژی و دانش فنی را در برگیرد.

مقاله حاضر از دو منظر دارای نوآوری است. اول اینکه برای اولین بار رابطه بین پیچیدگی اقتصادی با مصرف انرژی در اقتصاد ایران موردبررسی قرار می‌گیرد و دوم اینکه از یک الگوی رگرسیون انتقال ملایم به‌منظور بررسی این ارتباط استفاده می‌کند. این الگو از برجسته‌ترین و توسعه‌یافته‌ترین الگوهای تغییر وضعیت[2] است. در سال‌های اخیر گروهی از محققین نشان داده‌اند که الگوی تقاضای انرژی می‌تواند از یک فرآیند غیرخطی تبعیت کند (بالک و فومبی[3]، ۱۹۹۷؛ گاتلی و هانگتینتون[4]، ۲۰۰۲؛ دارگی[5] و همکاران، ۲۰۰۷؛ هو و لین[6]، ۲۰۰۸ و اُمی[7] و همکاران، ۲۰۱۴). ازآنجاکه احتمال غیرخطی بودن مصرف انرژی در ادبیات موجود مورد تأکید قرار گرفته و خطی در نظر گرفتن روابط متغیرها در شرایطی که دارای ارتباط غیرخطی هستند می‌تواند نتایج را دچار خطا نماید، در این مقاله با استفاده از یک الگوی رگرسیون انتقال ملایم[8] تأثیر آستانه‌ای پیچیدگی اقتصادی، به‌عنوان یک شاخص مناسب از سطح دانش و تکنولوژی، بر مصرف انرژی و همچنین نقش این متغیر در میزان کشش‌پذیری قیمتی و درآمدی انرژی مورد برآورد قرار می‌گیرد.

این مقاله شامل ۶ بخش است. پس از مقدمه، مبانی نظری تقاضای انرژی و اثر تکنولوژی بر تقاضای انرژی بررسی می‌گردد. در بخش سوم به بررسی پیشینه تجربی موضوع پرداخته می‌شود. در بخش چهارم، مدل مورد برآورد، داده‌ها و منابع آماری معرفی‌شده و در بخش پنجم نتایج تجربی به‌دست‌آمده از برآورد الگو تبیین می‌گردد. در انتها نیز نتیجه‌گیری و پیشنهادات حاصل از این پژوهش بیان می‌شود.

1. Total Factor Productivity (TFP)
2. Switching Regression
3. Balke & Fomby
4. Gately and Huntington
5. Dargey
6. Hu and Lin
7. Omay
8. Smooth Transition Regression

www.SID.ir

Archive of SID

۲. مبانی نظری

حامل‌های انرژی هم به‌عنوان کالای نهایی توسط مصرف‌کنندگان و هم به‌عنوان نهاده‌های تولیدی توسط بنگاه‌های اقتصادی مورد تقاضا قرار می‌گیرند. از منظر تولیدکنندگان حامل‌های انرژی به‌عنوان نهاده تولید، توسط بنگاه‌های اقتصادی مورد تقاضا قرار می‌گیرند. بر این اساس تقاضا برای نهاده انرژی همانند دیگر نهادها از حداکثرسازی تولید با توجه به مقدار مشخصی هزینه، یا در پی حداقل کردن هزینه با توجه به مقدار مشخص تولید و یا حداکثرسازی سود به‌دست می‌آید. به‌عنوان‌مثال اگر تابع تولید یک بنگاه را به‌صورت زیر در نظر بگیریم:

$$Q = F(L, K, E, T) \qquad (۱)$$

که در آن L، K و E به‌ترتیب معرف نهاده‌های کار، سرمایه و انرژی است و T معرف سطح تکنولوژی بوده که می‌تواند مقدار تولید را در سطح مشخصی از نهاده‌ها تغییر دهد. یک بنگاه اقتصادی ترکیب نهاده‌ها را به‌گونه‌ای انتخاب می‌کند که حداقل هزینه ممکن را برای مقدار مشخصی از محصول داشته باشد. نتایج حاصل از تشکیل شرایط مرتبه اول و دوم برای انتخاب سطح نهاده‌ها گویای آن است که مقدار تقاضای بنگاه‌ها برای نهاده انرژی را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$E = E(p_k, p_l, p_e, Q, T) \qquad (۲)$$

بدین ترتیب تقاضا برای انرژی بستگی به قیمت آن (p_e)، قیمت سایر نهاده‌ها (p_k, p_l)، مقدار تولید محصول (Q) و سطح تکنولوژی (T) دارد. (باتاچاریا[1]، ۲۰۱۱).

از منظر مصرف‌کنندگان، به‌کارگیری بسیاری از کالاهای مصرفی توأم با مصرف انرژی است، بنابراین می‌توان انرژی را نیز در شمار کالاهای مصرفی در نظر گرفت که طبق نظریه اقتصاد خرد تقاضای آن تابعی از قیمت نسبی و درآمد حقیقی است. سطح تکنولوژی نیز میزان مصرف انرژی را دراین‌ارتباط تحت تأثیر قرار می‌دهد. استفاده از تکنولوژی و کالاهای با فناوری پیشرفته‌تر می‌تواند منجر به بهبود کارایی انرژی و کاهش مصرف آن شود (ورهرامی و همکاران، ۱۳۹۴)؛ اما از سوی دیگر تغییر نوع کالاهای مصرفی به موارد انرژی بر می‌تواند مصرف انرژی را افزایش دهد (جاکوبسن، ۲۰۰۱).

بنابراین می‌توان عمده‌ترین عوامل اقتصادی مؤثر بر تقاضای کل انرژی را متغیر قیمت حقیقی انرژی و یک متغیر فعالیت مانند درآمد ملی حقیقی یا تولید ناخالص داخلی حقیقی و سطح تکنولوژی

1. Bhattacharyya

www.SID.ir

Archive of SID

قلمداد نمود. به همین دلیل م شابه با مقالاتی نظیر فی و را سیا[1] (۲۰۱۴) و مورا[2] و همکاران (۲۰۱۹) مصرف انرژی سرانه تابعی از متغیرهای مذکور در نظر گرفته می‌شود.

در مورد جهت اثرگذاری بهبود تکنولوژی بر م صرف انرژی دو نظریه ا صلی مطرح ا ست. در نظریه اول بهبود تکنولوژی می‌تواند مصـرف انرژی را کاهش دهد، بدین‌ترتیب که بهبود تکنولوژی ابزارها و تکنیک‌های جدیدی را برای کاهش و صرفه‌جویی در مصرف انرژی ایجاد می‌کند. بسیاری از محققان بر این باورند که نوآوری‌های تکنولوژیکی و ا ستفاده از عوامل تولید با تکنولوژی بالاتر می‌تواند کارایی انرژی را بهبود بخشـد و در نتیجه باعث کاهش مصـرف انرژی شـود (احمد و ارشـدخان[3]، ۲۰۰۹). برا ساس نظریه دوم، بهبود تکنولوژی سبب افزایش تولید و ر شد اقت صادی شده و همچنین به‌دلیل افزایش کارایی، هزینه اسـتفاده از انرژی را کمتر می‌کند، به همین دلیل مصـرف انرژی را افزایش می‌دهد. این پدیده را اثر بازگشـتی[4] گویند (لین و دو[5]، ۲۰۱۵). ترکیب این دو نظریه را می‌توان در رابطه غیرخطی بین بهبود تکنولوژی و مصـرف انرژی در نظر گرفت. به‌طوری‌که افزایش تکنولوژی تا سطحی معین سبب افزایش م صرف شده و پس از گذر از این سطح آستانه‌ای می‌تواند سبب کاهش م صرف انرژی شود. از طرف دیگر شرایط سی ستم نیز ممکن ا ست بر نوع رابطه بین متغیرها اثرگذار با شد. نحوه اثرگذاری تکنولوژی بر م صرف انرژی ممکن ا ست همواره یک سان نبا شد. در نظر گرفتن الگوی غیرخطی می‌تواند تغییر در رابطه موردنظر را در الگو لحاظ نماید.

به‌منظور برر سی تجربی این ارتباط به صورت غیرخطی در این مقاله از شاخص پیچیدگی اقت صادی به‌عنوان معیاری برای سطح دانش و تکنولوژی ا ستفاده می شود. شنا سایی شاخص منا سب تکنولوژی همواره یکی از بحث‌برانگیزترین موضـوعات در پژوهش‌های تجربی بوده اسـت. تاکنون معیارهای مختلفی برای سنجش بهبود تکنولوژی مطرح شده است. مطالعات اولیه این حوزه از متغیر روند زمانی به‌عنوان معیاری برای پیشـرفت تکنولوژی اسـتفاده کرده‌اند (جورگنسـن و فرامنی[6]، ۱۹۸۱)؛ اما در سال‌های بعد تلاش شد که از معیارهای مناسب‌تری در این رابطه استفاده شود به‌عنوان‌مثال گریلیچز[7] (۱۹۹۸)، آکز[8] و همکاران (۲۰۰۲) و گوتو[9] (۲۰۱۰) از میزان ثبت اختراع استفاده نموده‌اند که این داده‌ها شمول گسترده‌ای را برای رشد فناوری و عملیاتی شدن آن در برنمی‌گیرد.

1. Fei & Rasiah
2. Murad
3. Ahmed & Arshad Khan
4. Rebound effect
5. Lin & Du
6. Jorgenson & Fraumeni
7. Griliches
8. Acs
9. Goto

www.SID.ir

Archive of SID

مطالعات دیگری ازجمله کوهن و کلپر[1] (۱۹۹۲)، کومن[2] و همکاران (۱۹۹۷)، انگ[3] (۲۰۰۹) و وی و یانگ[4] (۲۰۱۰) از مخارج تحقیق و توسعه (R&D) به‌منظور معیار پیشرفت تکنولوژیک استفاده نموده‌اند؛ اما مخارج تحقیق و توسعه به‌عنوان ورودی فرایند توسعه کالاهای جدید و پیشرفت تکنولوژیک بوده و تمام مخارج تحقیق و تو سعه منجر به بهبود تکنولوژی نمی شود. ازاین‌رو این معیار نیز شاخص مناسبی برای نشان دادن پیشرفت تکنولوژیک نیست (کن و گوزگور[5]، ۲۰۱۷).

گروه دیگری ازجمله کرفتز[6] (۲۰۰۳)، باسو و فرناند[7] (۲۰۰۷) و لادو و ملدو[8] (۲۰۱۴) نیز از بهره‌وری کل عوامل تولید (TFP) استفاده کرده‌اند. در نظر گرفتن TFP نیز به‌عنوان شاخص بهبود تکنولوژی کاستی‌هایی دارد. رشد TFP می‌تواند به دلایل دیگری غیر از رشد تکنولوژی اتفاق افتد. از طرفی محاسبه TFP خود دارای پیچیدگی‌هایی است و روش یکسانی ندارد.

یکی از جدیدترین شاخص‌هایی که منعکس‌کننده میزان دانش و تکنولوژی به‌کاررفته در ساختار تولید یک کشور است، شاخص پیچیدگی اقتصادی است که در سال‌های اخیر در گروهی از مطالعات به‌عنوان معیار پیشرفت تکنولوژی از آن استفاده شده است (به‌عنوان‌مثال کن و گوزگور، ۲۰۱۷ و نیگو و تئودور[9]، ۲۰۱۹ از آن جمله‌اند). شاخص پیچیدگی اقتصادی در تلاش برای توضیح تفاوت در رشد اقتصادی کشورهای مختلف توسط هیدالگو و هاسمن[10] (۲۰۰۹) ارائه شد. این شاخص سطح تکنولوژی، دانش و مهارت در اختیار یک کشور را با استفاده از متنوع بودن و پیچیدگی[11] محصولاتی که صادر می‌شود، نشان می‌دهد. ارائه این شاخص بر این پایه استوار است که کشورهایی که کالاهای با پیچیدگی بالا تولید می‌کنند، مطمئناً دارای تکنولوژی، دانش و مهارت لازم برای تولید آن کالا هستند (هیدالگو و هاسمن، ۲۰۰۹).

شاخص پیچیدگی اقتصادی به‌عنوان معیار تولید نوآورانه دارای برتری‌هایی نسبت به سایر معیارها است. این معیار ظرفیت‌های متناسب با ساختار تولید یک کشور در جهت ایجاد نوآوری و همچنین توانایی استفاده از این نوآوری‌ها در ساختار تولید را نشان می‌دهد. دو مفهوم مهمی که در محاسبه این شاخص موردا ستفاده قرار گرفته تنوع و دیگری فراگیر بودن[12] محصولات است. تنوع محصولات به تعداد محصولات متمایزی که یک کشور تولید می‌کند اشاره داشته و میزان بیشتر آن، نشان‌دهنده

1. Cohen & Klepper
2. Komen
3. Ang
4. Wei & Yang
5. Can & Gozgor
6. Crafts
7. Basu & Fernald
8. Ladu & Meleddu
9. Neagu & Teodoru
10. Hidalgo & Hausmann
11. Diversified and Complex
12. Ubiquity

www.SID.ir

Archive of SID

دانش تجمیع‌شـده و توانایی اسـتفاده از تاکتیک‌ها و نوآوری‌های صـورت گرفته در سـاختار تولید یک کشور است. فراگیر بودن محصولات نیز، تعداد کشورهایی که قادر به تولید آن محصول مشابه هستند را نشان می‌دهد. محصولاتی که نیازمند سطح بالای دانش هستند، تنها در کشورهایی تولید می‌شوند که تکنولوژی و دانش تولید آن وجود دارد؛ بنابراین، هرچه کالای تولید شده دارای پیچیدگی بیشتری باشـد، از درجه فراگیری کمتری برخوردار اسـت. به‌طور مثال، تکنولوژی تصـویربرداری پزشـکی، محصولی است که تنها توسط چند کشور (آمریکا و آلمان) صادر می شود، در نتیجه دارای فراگیری کمتری نسبت به محصولات چوبی که توسط بسیاری از کشورها صادر می‌شود، دارد.

استفاده از دو مفهوم تنوع و فراگیر بودن محصولات در محاسبه پیچیدگی اقتصادی، اجازه می‌دهد تا توانایی یک کشور در بازتولید محصولات رقابت‌پذیر از طریق نوآوری‌های سازمانی را نشان دهد. در مجموع، درحالی‌که معیارهای دیگر اندازه‌گیری ظرفیت‌های نوآورانه یک اقتصـاد ازجمله تعداد ثبت اختراعات[1] و مخارج تحقیق و توسعه به ترتیب معیارهایی برای نشان دادن حقوق قانونی ثبت اختراع و نحوه تخصیص منابع شرکت‌ها است، شاخص پیچیدگی اقتصادی، نشان‌دهنده ظرفیت‌های موجود در ساختار تولید یک کشور است (هاسمن[2] و همکاران، ۲۰۱۳).

افزایش پیچیدگی اقتصادی به معنای تغییر در ساختار اقتصاد و متنوع شدن تولید از کالاهای اولیه و کشاورزی به کالاهای صنعتی و پیچیده‌تر است. یک ساختار پیچیده‌تر تولید، کشور را قادر می‌سازد که در فعالیت‌های تولیدی خود بهره‌وری بالاتری را تجربه نماید. در نتیجه می‌تواند مصـرف انرژی را برای مقدار مشخصی از تولید کاهش دهد. مسلماً تولید بیشتر کالاهای پیچیده که فناوری بالاتری را در خود نهفته دارد، نتیجه وجود نوآوری‌های تکنولوژیکی و همچنین هزینه‌های تحقیق و توسـعه مؤثرتر بوده اسـت. این مسـأله نه‌تنها منجر به بهبود تکنولوژی موجود در کالاها و خدمات تولیدی خواهد بود بلکه منجر به افزایش تکنولوژی در فرآیند تولید و مصـرف انرژی می‌شـود (نیگو و تئودور[3]، ۲۰۱۹).

۳. مروری بر پیشینه تجربی موضوع

رابطه بین تکنولوژی و مصرف انرژی در مطالعات متعددی موردبررسی قرار گرفته است. آغاز پژوهش‌های این حوزه را می‌توان به دهه‌های ۷۰ و ۸۰ منسوب نمود. مقاله جورگنستن و فرامنی (۱۹۸۱) از اولین مطالعاتی است که با در نظر گرفتن متغیر روند زمانی تلاش نموده است که تغییر تکنولوژی را در برآورد مصرف انرژی در نظر گیرند. آن‌ها براساس نتایج حاصل از برآورد بیان می‌کنند که شدت انرژی در طول زمان در حال افزایش بوده و رابطه مثبت و معناداری با روند زمانی دارد.

1. Patents
2. Hausmann
3. Neagu & Teodoru

www.SID.ir

Archive of SID

برخلاف نتیجه فوق استرنر[1](۱۹۹۰) با مطالعه بر روی بخش صنعت کشور مکزیک دریافت که بهبود تکنولوژی رابطه مثبتی با صرفه‌جویی در مصرف سوخت داشته است؛ اما در سال‌های اخیر با ارائه شاخص‌های جدیدتر در سنجش تکنولوژی، تنوع و گستردگی مطالعاتی که این مسأله را بررسی کرده‌اند رو به گسترش نهاده است. برای نمونه تانگ و تان[2] (۲۰۱۳) از شاخص ثبت اختراع برای سنجش رابطه بین رشد تکنولوژی و انتشار آلایندگی و مصرف انرژی استفاده کرده‌اند. ایشان در چارچوب یک الگوی ARDL برای کشور مالزی طی دوره ۲۰۰۹-۱۹۷۰ نشان داده‌اند که بهبود تکنولوژی در کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی اثر مثبت داشته است.

فی[3] و همکاران (۲۰۱۴) نیز از تعداد فعالیت‌های ثبت اختراع برای کشف رابطه علی بین نوآوری‌های تکنولوژیکی، رشد و انرژی‌های پاک در نیوزیلند و نروژ در دوره ۱۹۷۱-۲۰۱۰ استفاده کرده‌اند. نتایج برا ساس رویکرد ARDL نشان می‌دهد که نوآوری‌های تکنولوژیکی نقش مهمی در گسترش انرژی‌های پاک و رشد اقتصادی در این کشور داشته است.

فی و راسیا (۲۰۱۴) مصرف برق را در چهار کشور صادرکننده انرژی بررسی کرده‌اند. در این مطالعه همراه با تولید سرانه و شاخص قیمت نسبی برق، متغیر تکنولوژی که توسط تعداد حق ثبت اختراع سنجیده شده، در نظر گرفته شده‌اند. نتایج برآورد الگوها به روش ARDL نشان داده است که بهبود تکنولوژی اثر معناداری بر مصرف انرژی برق در این کشورها نداشته است.

لادو و ملدو[4] (۲۰۱۴) به بررسی رابطه بلندمدت بین بهره‌وری کل عوامل تولید (TFP) و مصرف انرژی در ایتالیا از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۸ در سطح منطقه‌ای پرداخته‌اند. TFP به‌عنوان شاخصی از تغییرات تکنولوژیکی و از تکنیک تخمین پانل پویا[5] برای بررسی اینکه آیا ارتباط بین پیشرفت تکنولوژی و استفاده از انرژی وجود دارد، استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که مناطقی از ایتالیا که TFP بیشتری دارند، استفاده از منابع کمیاب کاهش یافته و حمایت از رشد پایدار اتفاق می‌افتد.

خان و همکاران (۲۰۱۶) اثر نوآوری تکنولوژیکی را بر مصرف کل انرژی و انواع حامل‌های آن (گاز طبیعی، برق و زغال‌سنگ) در پاکستان بررسی نموده‌اند. آن‌ها با استفاده از یک الگوی ARDL نشان داده‌اند که رشد تکنولوژی سبب افزایش مصرف انرژی در مجموع و برای انواع حامل‌های انرژی به‌جز گاز طبیعی در کشور پاکستان شده است. همچنین ایشان بیان می‌کنند که این نتایج نشان می‌دهد که ارائه تکنولوژی‌های نوین در این کشور به‌جای ایجاد کارایی در انرژی، انرژی‌بر بوده است.

1. Sterner
2. Tang & Tan
3. Fei
4. Ladu & Meleddu
5. Dynamic Panel

www.SID.ir

Archive of SID

جین[1] و همکاران (۲۰۱۸) رابطه بین مصـــرف انرژی و نوآوری تکنولوژیک را در چارچوب یک الگوی پانل برای مناطق مختلف چین در دوره ۲۰۱۲-۱۹۹۵ بررسـی کرده‌اند. ایشـان نیز از بهره‌وری عوامل تولید به‌عنوان معیار تکنولوژی اســتفاده نموده‌اند. نتایج این مطالعه نشـــان می‌دهد که در کوتاه‌مدت تکنولوژی ســبب افزایش مصـــرف انرژی شـــده درحالی‌که در بلندمدت یک رابطه مثبت دوطرفه بین مصـــرف انرژی، رشـــد اقتصـــادی و نوآوری تکنولوژی برقرار بوده اســت؛ بنابراین بهبود تکنولوژی منجر به مصرف بیشتر انرژی در مناطق مختلف چین شده است.

موراد و همکاران (۲۰۱۹) رابطه بین بهبود تکنولوژی، قیمت انرژی، رشد اقتصادی و مصرف انرژی را در کشور دانمارک طی دوره ۲۰۱۲-۱۹۷۰ بررسی کرده‌اند. ایشان از حق ثبت اختراع در حوزه انرژی به‌عنوان معیار سـنجش بهبود تکنولوژی اسـتفاده نموده‌اند. نتایج این مطالعه نشـان می‌دهد که درآمد حقیقی اثر مثبت و معناداری بر مصرف انرژی در بلندمدت و کوتاه‌مدت داشته است. درحالی‌که قیمت و تکنولوژی سبب کاهش مصرف انرژی شده‌اند.

عبدلی و ورهرامی (۱۳۸۸) اثر بهبود تکنولوژی بر شـــدت مصـــرف انرژی را در بخش صـــنعت و کشاورزی موردبررسی قرار داده‌اند. آن‌ها در چارچوب یک تابع تولید کاب- داگلاس طی دوره ۱۳۸۶-۱۳۶۵ نشان داده‌اند که میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی با پیشرفت تکنولوژی در بخش صنعت بیشتر از کشاورزی بوده است که می‌تواند ناشی از وابستگی بیشتر صنعت به تکنولوژی باشد.

دهقانپور و اسـماعیلی (۱۳۹۵) به بررسـی رابطه علی بین عوامل تکنولوژی کشـاورزی و تقاضـای انرژی در دوره ۱۳۹۰-۱۳۵۹ پرداخته‌اند. آن‌ها از تعداد ماشین‌آلات کشاورزی، مصرف کود، سطح زیر کشت آبی برای سنجش تکنولوژی در این بخش استفاده نموده‌اند. نتایج این مطالعه نشان‌دهنده یک رابطه علی قوی بین مصرف انرژی و تکنولوژی در بخش کشاورزی است به‌طوری‌که یک رابطه مثبت و پر کشش بین این دو تأیید شده است.

عابدزاده و شـکری (۱۳۹۶) اثر سـطح تکنولوژی، جمعیت و رشـد اقتصـادی را بر مصـرف انرژی الکتریکی در ایران طی دوره ۱۳۹۱-۱۳۵۲ بررسـی نموده‌اند. در این مقاله تعداد حق اختراع ثبت شـده به‌عنوان شاخص رشد تکنولوژی در نظر گرفته شده است. نتایج برآورد به روش فازی نشان داده است که رشد تکنولوژی اثر منفی و معنادار بر مصرف انرژی الکتریکی در ایران داشته است.

مطالعات تجربی این حوزه نتایج مشابهی را در مورد اثرگذاری تکنولوژی بر مصرف انرژی استخراج ننموده‌اند. ازاین‌رو در مقاله حاضر این رابطه توسط یک الگوی غیرخطی رگرسیون انتقال ملایم برای اقتصاد ایران ارزیابی می‌شود که می‌تواند تغییر ضرایب را براساس شرایط حاکم بر الگو در نظر بگیرد. این مقاله نسبت به مطالعات موجود دارای دو نوآوری اصلی است. اول اینکه برای اولین بار رابطه بین

1. Jin

www.SID.ir

Archive of SID

پیچیدگی اقتصادی با مصرف انرژی در اقتصاد ایران موردبررسی قرار می‌گیرد و دوم اینکه از یک الگوی رگرسیون انتقال ملایم به‌منظور بررسی این رابطه استفاده می‌شود.

٤. ارائه مدل و داده‌ها

واکنش تقاضای انرژی به عوامل اثرگذار بر آن، می‌تواند با توجه به سطح تکنولوژی متفاوت باشد. مصرف‌کنندگان انرژی با تغییر قیمت و درآمد در سطوح بالاتر تکنولوژی می‌توانند واکنش مناسب‌تری را داشته باشند. در نتیجه ضرایب الگو الزاماً ثابت نبوده و با در نظر گرفتن تغییر در تکنولوژی می‌تواند تغییر کنند. ازاین‌رو در مقاله حا ضر از یک الگوی رگر سیون انتقال ملایم (STR) برای برر سی ارتباط موردنظر استفاده می‌شود. در الگوی STR تغییر ضرایب یا شکست‌های ساختاری به‌صورت درون‌زا و از طریق آزمون تعیین می‌شود. به همین دلیل نیازی به واردکردن متغیرهای مجازی و یا شکست ساختاری وجود ندارد. ضمن اینکه این تغییر و ضعیت می‌تواند به‌طور ملایم اتفاق افتد و الگوی STR از طریق برآورد سرعت انتقال از یک رژیم به رژیم دیگر این مساله را لحاظ می‌کند.

در این الگو انتقالات بین رژیم‌های مختلف توسط تابع لجستیک تبیین می‌گردد. مصرف انرژی براساس این الگو می‌تواند از فرم زیر تبعیت نماید.

$$LE_t = \pi' w_t + (\theta' w_t) G(s_t, \gamma, c) + u_t$$
$$w_t = (1, Ly, Lp, Leci) \qquad (۳)$$

در این معادله LE_t لگاریتم مصرف انرژی سرانه، w_t بردار متغیرهای توضیح‌دهنده شامل لگاریتم شاخص قیمت نسبی انرژی (Lp_t)، لگاریتم تولید ناخالص داخلی حقیقی سرانه (Ly_t) و لگاریتم شاخص پیچیدگی اقتصادی ($Leci_t$) است[۱]. π بردار ضرایب مربوط به بخش خطی و θ بردار ضرایب بخش غیرخطی است. S_t متغیر انتقال است که تغییرات آن باعث تغییر ضریب متغیرهای برآوردگر می‌شود. این متغیر می‌تواند وقفه متغیر درون‌زا بوده و یا ازجمله متغیرهای برون‌زا و وقفه‌های آن باشد. $G(s_t, \gamma, c)$ یک تابع لجستیک به فرم زیر است که تابع انتقال نامیده می‌شود و مقدار آن می‌تواند بین صفر و یک باشد که بر این اساس ضرائب مدل STR براساس مقدار این تابع بین π و $\pi + \theta$ در نوسان خواهند بود.

$$G(s_t, \gamma, c) = \{1 + \exp[-\gamma \prod_{j=1}^{J} (s_t - c_j)]\}^{-1}, \gamma > 0 \qquad (۴)$$

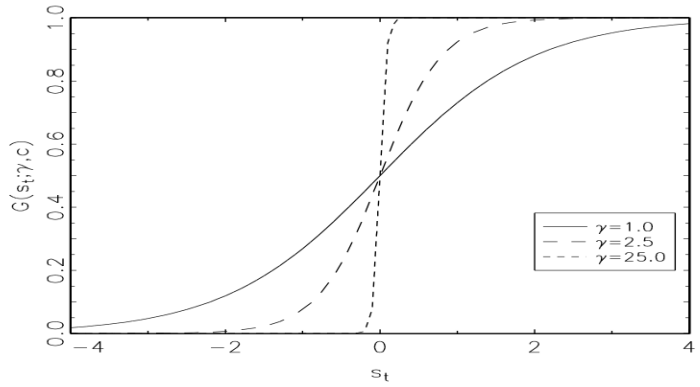
۱. شاخص پیچیدگی اقتصادی بین ۳- تا ۳ تغییر می کند که مقدار بیشتر آن نشان‌دهنده پیچیدگی بیشتر کالاها در اقتصاد است. از آنجا که لگاریتم گیری از اعداد منفی معنادار نمی‌باشد بالاجبار کلیه مقادیر شاخص پیچیدگی با عدد ۳ جمع شده‌اند که در نتیجه بدون از بین رفتن ترتیب، تمامی مقادیر مثبت شده و قابل لگاریتم‌گیری بوده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

تابع انتقال شامل پارامتر شیب[1] γ و پارامتر موقعیت[2] c است. پارامتر شیب سرعت انتقال را بین دو الگوی حدی مشخص می‌کند به‌طوری‌که هر چه مقدار آن بالاتر باشد تغییر از یک رژیم به رژیم دیگر سریع‌تر اتفاق می‌افتد. پارامتر موقعیت (c) تعیین‌کننده حد آستانه[3] بین این رژیم‌هاست. مقدار متغیر انتقال و مقدار تابع انتقال متناظر با آن $G()$ تعیین‌کننده الگوی حاکم در هر دوره t خواهد بود. در نمودار (۱) تابع انتقال دو رژیمی با مقادیر مختلف سرعت انتقال ترسیم شده است.

در تابع انتقال معمولاً دو حالت $j=1$ (LSTR1) و $j=2$ (LSTR2) در نظر گرفته می‌شود. در حالت j=1 پارامترهای $\pi+\theta G(s_t,\gamma,c)$ به‌صورت تابعی یکنوا[4] از S_t، بین π و $\pi+\theta$ تغییر می‌یابند. در حالت j=2 پارامترهای $\pi+\theta G(s_t,\gamma,c)$ به‌صورت متقارن[5] حول مقدار میانی $\frac{c_1+c_2}{2}$ تغییر می‌یابد. تفاوت این دو مدل در آن است که در حالت LSTR1 دینامیک انتقال در دو طرف حد آستانه غیرمتقارن بوده ولی در حالت LSTR2 در دو طرف مقدار میانی حدود آستانه متقارن است. در الگوی دوم می‌توان این فرضیه را که آیا این دو حد آستانه برابرند مورد آزمون قرار داد و در صورت تأیید این فرضیه، تابع انتقال نمایی (ESTR) تأیید می‌گردد.



نمودار ۱: تابع انتقال دو رژیمی با حد آستانه صفر و مقادیر متفاوت سرعت انتقال

منبع: وندایک[6] (۱۹۹۹)

به‌منظور استفاده از این الگو ابتدا باید غیرخطی بودن الگو را آزمون نمود. در صورتی‌که وجود ارتباط غیرخطی بین متغیرها مورد تأیید قرار گیرد می‌توان این فرضیه را تأیید نمود که ضرایب و میزان اثرگذاری متغیرها بر مصرف انرژی همواره ثابت نبوده و تحت تأثیر شرایط می‌تواند تغییر یابد. سپس با

1. Slope Parameter
2. Location Parameter
3. Threshold
4. Monotonic Function
5. Symmetric
6. van Dijk

www.SID.ir

Archive of SID

تعیین متغیر انتقال می‌توان عامل اثرگذار بر این تغییر در ضرایب را شناسایی نمود. برای انجام این آزمون‌ها از رگرسیون کمکی زیر که از بسط درجه سوم تابع لجستیک به‌دست‌آمده استفاده می‌شود.

$$LE_t = \delta' w_t + \beta_1' w_t s_t + \beta_2' w_t s_t^2 + \beta_3' w_t s_t^3 + v_{3t} \qquad (۵)$$

جهت انتخاب متغیر انتقال مناسب ابتدا آزمون خطی بودن مدل برای متغیرهای بالقوه مختلف انجام می شود و سپس متغیری انتخاب می‌گردد که مقدار آماره آزمون برای آن در بین سایر متغیرها کمترین باشد[1]. در آزمون خطی بودن فرضیه صفر مبنی بر خطی بودن مدل به‌صورت $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$ و آماره آزمون مربوط به آن F خواهد بود. عدم رد این فرضیه نشان‌دهنده خطی بودن الگوست. در صورت تأیید غیرخطی بودن مدل باید فرم تابعی مناسب برای تابع انتقال موردبررسی قرار گیرد. همان‌طور که گفته شد در مطالعات موجود تابع انتقال به دو فرم LSTR1 و LSTR2 مطرح شده است. در این آزمون ابتدا معادله (۵) برآورد می‌گردد و سپس مقادیر آماره آزمون برای فرضیات زیر محاسبه می‌گردد.

$$H_{04} : \beta_3 = 0$$
$$H_{03} : \beta_2 = 0 | \beta_3 = 0$$
$$H_{02} : \beta_1 = 0 | \beta_2 = \beta_3 = 0$$

در این آزمون در صورت قوی‌تر بودن رد فرضیه H_{03} پیشنهاد می‌شود که از مدل LSTR2 استفاده گردد و در صورتی‌که H_{02} و یا H_{04} به‌طور قوی‌تری رد شود انتخاب مدل LSTR1 مناسب‌تر است. می‌توان از طریق آزمون برابری دو پارامتر موقعیت ($c_1=c_2$) مشخص نمود که آیا فرم تابع انتقال ESTR است یا خیر.

به‌منظور برآورد تجربی این رابطه در ایران از داده‌های سالیانه ایران در دوره ۱۳۹۲-۱۳۵۵ استفاده شده است.[2] شاخص پیچیدگی اقتصادی از اطلاعات ارائه شده توسط پایگاه اطلس دانشگاه امای‌تی[3] گردآوری شده است. برای محاسبه مصرف انرژی سرانه، مجموع مصرف نهایی کل حامل‌های انرژی بر حسب معادل بشکه نفت از ترازنامه انرژی ایران استخراج گردیده است. همچنین داده‌های مربوط به تولید ناخالص داخلی به قیمت ثابت سال ۸۳ از آمارنامه‌های بانک مرکزی به‌دست‌آمده است. قیمت حقیقی انرژی همانند مقالاتی همچون لی و لین[4] (۲۰۱۴) به‌صورت نسبت شاخص قیمت اسمی انرژی تقسیم بر سطح عمومی قیمت‌ها محاسبه شده است. برای محاسبه شاخص قیمت اسمی انرژی باید

1. Escribano and Jorda, (1999)

۲. داده‌های مربوط به شاخص پیچیدگی اقتصادی برای ایران تا سال ۱۳۹۲ اعلام شده است به همین دلیل امکان به‌روزرسانی بیشتر داده‌ها در زمان مطالعه وجود نداشته است.

3. www.atlas.media.mit.edu/en/rankings/country/eci/

4. Li & Lin

www.SID.ir

Archive of SID

سبدی از اصلی‌ترین حامل‌های انرژی در یک سال پایه مشخص شود و هزینه تمام شده این سبد بر اساس قیمت سال‌های مختلف محاسبه و بر هزینه تمام شده آن در سال پایه تقسیم گردد. ازآنجاکه اصلی‌ترین حامل‌های انرژی در ایران شامل فراورده‌های نفتی، گاز طبیعی و برق هستند، شاخص قیمت اسمی انرژی به‌صورت یک میانگین موزون از این حامل‌ها محاسبه شده است و ازآنجاکه سال پایه در رابطه با متغیرهای دیگر سال ۸۳ است، لذا باید از سبد مصرفی انرژی در این سال جهت ساخت شاخص استفاده شود. آمارهای موردنیاز جهت محاسبه شاخص قیمت انرژی از ترازنامه انرژی ایران، آمارنامه مصرف فراورده‌های نفتی انرژی‌زا مربوط به شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران، گزارش تفصیلی صنعت برق ایران و آمارنامه‌های بانک مرکزی استخراج شده است.

۵. تحلیل تجربی

۵-۱. بررسی مانایی و هم‌تجمعی داده‌ها

پیش از تخمین الگو به‌منظور اجتناب از رگرسیون کاذب، لازم است درجه مانایی متغیرها مورد ارزیابی قرار گیرد. بدین منظور از آزمون دیکی فولر تعمیم‌یافته ADF استفاده می‌شود. در جدول (۱) نتایج آزمون ایستایی برای لگاریتم متغیرهای مصرف انرژی سرانه (LE)، شاخص پیچیدگی اقتصادی (Leci)، شاخص قیمت انرژی (Lp)، تولید ناخالص حقیقی سرانه (Ly) و تفاضل مرتبه اول آن‌ها ارائه شده است.

جدول ۱: نتایج آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم‌یافته

نام متغیر	آماره آزمون برای سطح متغیرها	آماره آزمون برای تفاضل مرتبه اول متغیرها
LE	-۱/۸۲	-۵/۸۷
Leci	-۲/۱۸	-۷/۰۳
Lp	-۱/۷۶	-۵/۶۶
Ly	۰/۷۴	-۶/۱۷
مقدار بحرانی در سطح ۹۵٪: ۲/۹۴-		

منبع: یافته‌های پژوهش

همان‌طور که در جدول (۱) ملاحظه می‌شود، با توجه به کوچک‌تر بودن قدر مطلق آماره آزمون برای سطح متغیرها از مقدار بحرانی، فرضیه صفر مبنی بر وجود ریشه واحد رد نشده و بنابراین کلیه متغیرها در سطح نامانا می‌باشند. به همین سبب آزمون ریشه واحد روی تفاضل مرتبه اول متغیرها نیز انجام شده است. نتایج این آزمون نشان می‌دهد که فرضیه صفر مبنی بر وجود ریشه واحد برای تفاضل مرتبه اول متغیرها در سطح اطمینان ۹۵ درصد رد شده و بنابراین تفاضل مرتبه اول کلیه متغیرها مانا است. ازاین‌رو متغیرهای موردبررسی جمعی از درجه اول I(1) هستند. در نتیجه لازم است از وجود رابطه هم‌تجمعی بین متغیرها اطمینان حاصل شود. بدین‌منظور، از آزمون یوهانسون یوسیلیوس استفاده می‌شود. نتایج این آزمون در جداول ۲ و ۳ بیان شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲: نتایج آزمون اثر

فرضیه صفر	آماره آزمون	مقدار بحرانی	سطح عدم اطمینان
$r=0$	۶۸/۰۴	۶۳/۸۷	۰/۰۲۱
$r\leq 1$	۳۳/۸۵	۴۲/۹۱	۰/۲۹۵
$r\leq 2$	۱۴/۰۵	۲۵/۸۷	۰/۶۵۲
$r\leq 3$	۴/۲۹	۱۲/۵۱	۰/۶۹۸
مقادیر بحرانی در سطح ۹۵ درصد محاسبه شده است.			

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۳: نتایج آزمون حداکثر مقدار ویژه

فرضیه صفر	آماره آزمون	مقدار بحرانی	سطح عدم اطمینان
$r=0$	۳۴/۱۸	۳۲/۱۱	۰/۰۲۷
$r\leq 1$	۱۹/۷۹	۲۵/۸۲	۰/۲۵۴
$r\leq 2$	۹/۷۵	۱۹/۳۸	۰/۶۴۴
$r\leq 3$	۵/۱۳	۱۴/۱۲	۰/۶۸۷
مقادیر بحرانی در سطح ۹۵ درصد محاسبه شده است.			

منبع: یافته‌های پژوهش

براساس آزمون‌های اثر و حداکثر مقدار ویژه در سطح اطمینان ۹۵ درصد، وجود حداقل یک بردار هم‌تجمعی در رابطه بین متغیرهای الگو، تأیید می‌گردد. با تأیید وجود رابطه هم‌تجمعی بین متغیرها، می‌توان از فقدان رگرسیون کاذب و وجود ارتباط حقیقی بین متغیرهای الگو اطمینان حاصل نمود.

۵-۲. آزمون غیرخطی بودن الگو، انتخاب متغیر انتقال و نوع تابع انتقال

ازآنجاکه هدف این مقاله استفاده از یک الگوی رگرسیون انتقال ملایم است، ابتدا باید وجود رابطه غیرخطی بین متغیرها مورد آزمون قرار گیرد. در صورت تأیید غیرخطی بودن ارتباط، تخمین الگو به روش خطی می‌تواند ضرایب و میزان اثرگذاری متغیرها را بر مصرف انرژی نادرست ارزیابی نماید. به‌منظور انجام این آزمون از تخمین رگرسیون کمکی حاصل از بسط درجه سوم تیلور تابع انتقال (معادله ۵) استفاده می‌شود. در تخمین معادله (۵) نیاز است ابتدا متغیر انتقال تعیین شود. به همین منظور تراسویرتا[1] (۱۹۹۴) آزمونی را ارائه کرده است که در آن متغیر انتقال مناسب، طوری انتخاب می‌شود که آماره آزمون مربوط به آزمون خطی بودن حداقل شود. به‌عبارت‌دیگر، ابتدا آزمون خطی‌بودن الگو برای متغیرهای بالقوه مختلف انجام می‌شود و متغیری انتخاب می‌گردد که مقدار آماره آزمون برای آن، در بین سایر متغیرها کم‌ترین باشد. در واقع متغیر انتقال مناسب متغیری است که بیشترین اثر را بر تغییرات ضرایب داشته باشد. در جدول (۴) متغیرهای مختلفی که می‌توانند به‌عنوان متغیر انتقال در نظر گرفته شوند آمده و آزمون غیرخطی بودن برای این متغیرها انجام شده است.

1. Teräsvirta

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤: آزمون‌های خطی بودن، تعیین متغیر انتقال و فرم تابع انتقال

ستون (۱) متغیر انتقال	ستون (۲) Prob F	ستون (۳) Prob F4	ستون (٤) Prob F3	ستون (٥) Prob F2	ستون (٦) مدل پیشنهادی
LE(t-1)	-	-	۰/۰۸۸۰	۰/۲۱۰۸	Linear
Leci(t)*	۰/۰۰۵۷	۰/۰۴۹۰	۰/۲۵۰۴	۰/۰۰۱۳	LSTR1
Ly(t)	-	-	۰/۵۴۱۱	۰/۳۲۰۶	Linear
Lp(t)	۰/۱۵۹۹	۰/۳۴۱۳	۰/۲۸۰۵	۰/۱۰۳۸	Linear
Trend	۰/۰۲۴۲	۰/۰۰۱۹	۰/۹۴۸۲	۰/۵۳۵۱	LSTR1

منبع: یافته‌های پژوهش

اولین ستون در جدول (۴) متغیرهای بالقوه‌ای را که می‌توانند به‌عنوان انتقال در نظر گرفته شوند را نشان می‌دهد. مقادیر ارائه شده در ستون دوم سطح عدم اطمینان در رد فرضیه H0 مبنی بر خطی بودن مدل است. براساس نتایج به‌دست‌آمده از آزمون این فرضیه، خطی بودن الگو را برای متغیرهای لگاریتم شاخص پیچیدگی و روند زمانی در سطح اطمینان ۹۵ درصد می‌توان رد کرد. این نتیجه حاکی از آن است که این دو متغیر می‌توانند باعث تغییر در ضرایب و میزان اثرگذاری متغیرها بر مصرف انرژی شوند؛ اما ازآنجاکه سطح عدم‌اطمینان برای شاخص پیچیدگی کوچک‌تر است فرضیه خطی بودن در این مورد به‌طور قوی‌تری رد می‌شود و ازاین‌رو می‌توان گفت این متغیر بیشترین اثرگذاری را بر تغییر در ضرایب داشته است و باید آن را به‌عنوان متغیر انتقال در نظر گرفت؛ بنابراین تغییر در میزان شاخص پیچیدگی اقتصادی سبب تغییر در میزان اثرگذاری متغیرها بر مصرف انرژی می‌شود.

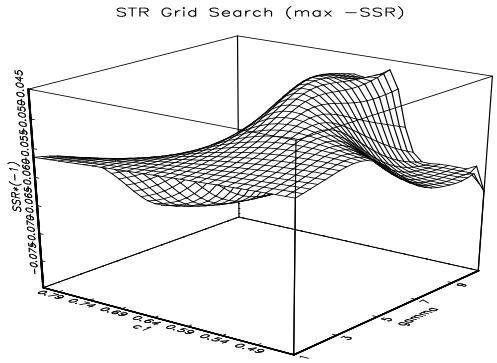
پس از مشخص شدن متغیر انتقال می‌توان فرم تابع انتقال را تعیین نمود. همان‌طور که گفته شد تابع انتقال به دو فرم LSTR1 و LSTR2 است. بر اساس آزمون انجام شده فرضیه H2 به‌طور قوی‌تری نسبت به فرضیه H3 رد می‌شود، در نتیجه فرم تابعی مناسب برای تابع انتقال LSTR1 است که نشان‌دهنده وجود یک حد آستانه در تغییر نظام حاکم بر الگوست. بر این اساس ضرایب متغیرها بر حسب مقادیر شاخص پیچیدگی اقتصادی می‌تواند تغییر یابد.

۵-۳. انتخاب مقادیر اولیه در تخمین

مرحله بعد برای شروع تخمین الگوی STR توسط الگوریتم نیوتون –رافسون به‌دست آوردن یک مقدار اولیه مناسب برای پارامترهای شیب و موقعیت است. انتخاب این مقادیر بدین‌صورت است که برای هر مقدار c و γ مجموع مربعات خطا محاسبه می‌گردد و مقادیری از این دو پارامتر به‌عنوان نقطه شروع الگوریتم معرفی می‌شود که کمترین مجموع مربعات خطا (SSR) را حاصل کند. نمودار (۲) مقادیر - SSR را به‌صورت تابعی از c و γ نشان می‌دهد که براساس آن مقادیر اولیه این دو به‌ترتیب برابر با ۰/۶۱ و ۳/۹۴ می‌باشند.

www.SID.ir

Archive of SID



نمودار ۲: مقادیر (SSR-) تابعی از c و γ و انتخاب مقادیر اولیه

۵-٤. برآورد الگو

با توجه به آزمون‌های انجام شده در مراحل قبل برای برآورد نهایی الگو متغیر لگاریتم پیچیدگی اقتصادی به‌عنوان متغیر انتقال و تابع انتقال به فرم LSTR1 در نظر گرفته شده است. جدول (۵) نتایج برآورد الگو را نشان می‌دهد.

جدول ۵: نتایج برآورد تابع مصرف انرژی توسط الگوی LSTR1

متغیر	ضریب برآورد شده بخش خطی	ضریب برآورد شده بخش غیرخطی
عرض از مبدأ	−۲/۲۹۱** (−۲/۵۹۷)	۰/۹۴۲ (۰/۶۹۳)
LE(t-1)	۰/۶۰۵*** (۳/۱۷۴)	۰/۲۵۴ (۱/۰۱۸)
Leci(t)	۰/۴۴۳* (۱/۸۸۲)	−۰/۵۷۰** (−۲/۰۱۴)
Ly(t)	۰/۱۷۴** (۲/۴۸۳)	۰/۰۴۲** (۲/۳۷۲)
Lp(t)	−۰/۲۹۰*** (−۳/۷۱۷)	−۰/۱۹۲*** (−۳/۲۲۴)
Gamma		۴/۲۷۹* (۱/۸۷۲)
C		۰/۶۱۷*** (۱۷/۷۳۶)
R^2=۰/۹۷		

اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده آماره t است.

*** معنی‌داری ضریب در سطح ۹۹ درصد، ** معنی‌داری ضریب در سطح ۹۵ درصد و * معنی‌داری ضریب در سطح ۹۰ درصد است.

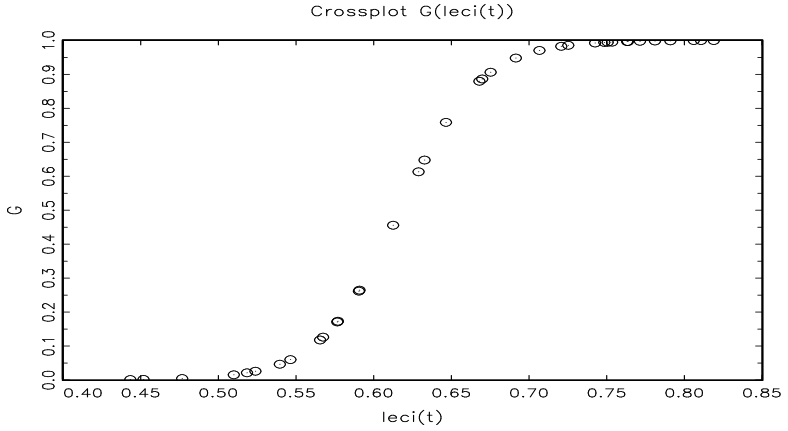
منبع: یافته‌های پژوهش

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵ دارای دو بخش است در ستون اول آن ضرایب برآورد شده بخش خطی و در ستون دوم ضرایب بخش غیرخطی گزارش شده است. همان‌طور که در بخش‌های قبل توضیح داده شد، این الگو در حالت حدی از دو رژیم تبعیت می‌نماید. رژیم اول حالتی است که تابع انتقال برابر با صفر باشد که تنها ضرایب قسمت خطی را خواهیم داشت. رژیم بعدی حالتی است که تابع انتقال برابر با یک باشد. در این صورت ضرایب مدل برابر با مجموع ضرایب بخش خطی و غیرخطی هستند. در الگوی برآورد شده کلیه ضرایب بخش خطی از معناداری لازم برخوردارند و در بخش غیرخطی به‌جز عرض از مبدأ و ضریب وقفه مصرف انرژی، ضرایب سایر متغیرها معنادار می‌باشند؛ بنابراین این دو ضریب در طول دوره بررسی شده ثابت بوده و در اثر تغییر رژیم، دچار تغییر نشده‌اند.

اندازه ضرائب سایر متغیرها در هر دوره بستگی به میزان تابع انتقال در آن دوره دارد. برای روشن شدن بهتر این مسأله، از نمودار (۳) که رابطه بین تابع انتقال و متغیر انتقال (لگاریتم پیچیدگی اقتصادی) را در طول دوره بررسی نشان می‌دهد، استفاده می‌گردد.



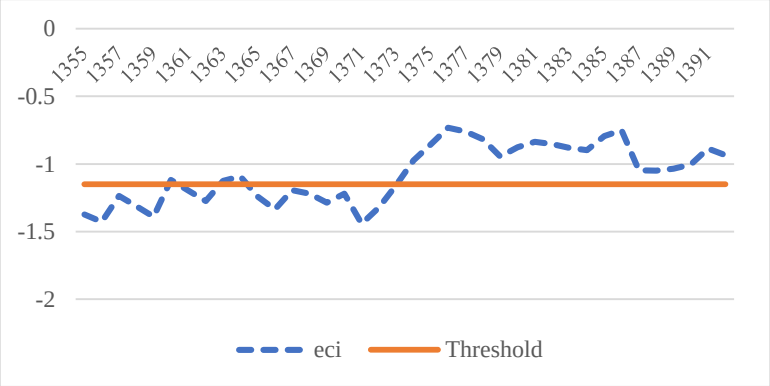
نمودار ۳: ارتباط بین تابع انتقال و متغیر انتقال (لگاریتم پیچیدگی اقتصادی)

همان‌طور که در نمودار ملاحظه می‌شود تابع انتقال به‌صورت ملایم از مقدار صفر که مربوط به مقادیر زیر حد آستانه است به مقدار یک در مقادیر بالای حد آستانه تغییر می‌یابد؛ بنابراین ضرایب الگو متناسب با این تابع بین مقادیر مربوط به بخش خطی و مجموع مقادیر بخش خطی و غیرخطی تغییر می‌کنند. با بازگرداندن مقدار حد آستانه به‌دست‌آمده به‌صورت غیر لگاریتمی عدد ۱/۱۵- به‌دست می‌آید. نمودار (۴) مقدار شاخص پیچیدگی اقتصادی را طی دوره موردبررسی نشان می‌دهد. با توجه به منفی بودن شاخص پیچیدگی اقتصادی در دوره موردنظر سطح پیچیدگی اقتصادی در ایران پایین بوده است؛ اما از سال ۱۳۷۴ رو به رشد نهاده است. با مقایسه مقادیر پیچیدگی اقتصادی با مقدار آستانه‌ای

www.SID.ir

Archive of SID

به‌دست‌آمده می‌توان گفت که در دوره‌هایی که از مقدار آستانه بالاتر بوده است مقدار تابع انتقال به یک نزدیک شده و در نتیجه رژیم دوم بر مصرف انرژی حاکم بوده است.



نمودار ٤: شاخص پیچیدگی اقتصادی در ایران طی دوره ۱۳۹۲-۱۳۵۵ و حد آستانه آن

در جدول ۵ ضریب برآورد شده مربوط به لگاریتم پیچیدگی اقتصادی در بخش خطی مثبت و برابر با ۰/۴۴۳ است. بدین معنا که با افزایش تکنولوژی مصرف سرانه انرژی نیز افزایش می‌یابد که حاکی از وجود اثر بازگشتی در سطوح پایین تکنولوژی است، اما منفی بودن این ضریب در بخش غیرخطی نشان می‌دهد که با افزایش سطح تکنولوژی ضریب این متغیر کاهش یافته و به عدد ۰/۱۲۷- نزدیک می‌شود. در این شرایط افزایش پیچیدگی اقتصادی منجر به کاهش مصرف انرژی می‌گردد. ازاین‌رو ضریب پیچیدگی اقتصادی در سطوح مختلف آن می‌تواند اثر متفاوتی را بر مصرف انرژی به‌دنبال داشته باشد و هرچه سطح تکنولوژی و دانش در فرآیند تولید بیشتر شود، می‌توان اثرات مطلوبی را بر مصرف انرژی انتظار داشت.

علامت کشش‌پذیری درآمدی تقاضای انرژی مثبت و کشش‌پذیری قیمتی آن مطابق با انتظار در هر دو رژیم منفی بوده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد مشابه با یافته‌های اغلب پژوهش‌های گذشته تقاضای انرژی نسبت به این دو متغیر از کشش‌پذیری پایینی برخوردار است؛ اما در سطوح بالاتر تکنولوژی قدر مطلق مقادیر کشش‌پذیری در مورد درآمد (تا حدودی) و به‌خصوص برای قیمت افزایش می‌یابد. این نتیجه نشان می‌دهد که قدرت واکنش مصرف‌کنندگان انرژی در سطوح بالاتر تکنولوژی بیشتر می‌شود.

۵-۵. آزمون‌های تشخیصی برای مدل STR

جهت اطمینان به نتایج حاصله از معادله برآورد شده، آزمون‌های تشخیصی موردبررسی قرار می‌گیرد. اولین آزمون انجام شده، آزمون عدم وجود خودهمبستگی جملات اختلال است. سطح عدم‌اطمینان آزمون F برای وقفه‌های یک و دو این آزمون به‌ترتیب برابر ۰,۲۱ و ۰,۴۹ برآورد شده است که براساس

www.SID.ir

Archive of SID

آن نمی‌توان فرضیه صفر مبنی بر عدم وجود خودهمبستگی را رد کرد؛ بنابراین مدل با مشکل خودهمبستگی جملات اختلال مواجه نیست.

یکی دیگر از آزمون‌هایی که باید بررسی شود، آزمون باقی نماندن رابطه غیرخطی در پسماندهای مدل است. با توجه به نتیجه به‌دست‌آمده از سطح عدم اطمینان آزمون F (۰,۵۸)، فرضیه صفر این آزمون مبنی بر عدم وجود رابطه غیرخطی باقیمانده رد نمی‌شود. در نتیجه مدل توانسته به شکل مطلوبی رابطه غیرخطی بین متغیرها را تصریح کند.

سومین آزمون موردبررسی به ثابت بودن پارامترها در رژیم‌های مختلف می‌پردازد. سطح عدم اطمینان آماره F این آزمون ۰,۰۱ برآورد شده که براساس آن فرضیه صفر مبنی بر یکسان بودن ضرائب در دو رژیم حدی رد می‌شود.

آخرین آزمون‌های موردبررسی، مربوط به بررسی وجود ناهمسانی واریانس‌ها و نرمال نبودن باقیمانده‌هاست که به ترتیب توسط آزمون‌های ARCH-LM و آزمون Jarque-Bera انجام می‌شوند. براساس آزمون ARCH-LM، سطح عدم اطمینان آماره‌های F و کای دو به‌ترتیب برابرند با ۰,۸۳ و ۰,۶۵ و براساس آن فرضیه صفر مبنی بر عدم‌وجود ناهمسانی در واریانس‌ها رد نمی‌شود. در ضمن سطح عدم‌اطمینان آماره کای دو آزمون Jarque-Bera، ۰,۳۷ برآورد شده است که نشان می‌دهد فرضیه صفر مبنی بر نرمال بودن پسماندها نیز رد نمی‌شود. بدین‌ترتیب نتایج به‌دست‌آمده از آزمون‌های تشخیصی مدل STR نشان می‌دهد تخمین این الگو به‌طور مناسب و مطلوبی صورت پذیرفته است.

نتیجه‌گیری

یکی از جدیدترین شاخص‌های مطرح شده برای اندازه‌گیری سطح تکنولوژی و دانش فنی به‌کاررفته در تولیدات کشورها شاخص پیچیدگی اقتصادی است. مقاله حاضر با استفاده از داده‌های اقتصاد ایران در دوره ۱۳۵۵-۱۳۹۲ اثر پیچیدگی اقتصادی را بر مصرف انرژی با استفاده از یک الگوی غیرخطی STR مورد برآورد قرار داده است. نتایج این مقاله تأییدکننده وجود یک رابطه غیرخطی در تقاضای انرژی است. یافته‌های حاصل از برآورد نشان می‌دهد متغیر پیچیدگی اقتصادی می‌تواند به‌عنوان متغیر انتقال نقش مهمی بر تغییر ضرایب در الگوی مصرف انرژی داشته باشد به‌طوری‌که کشش‌پذیری مصرف انرژی نسبت به درآمد و قیمت کوچک‌تر از یک بوده اما در سطوح بالاتر پیچیدگی اقتصادی که می‌تواند منعکس‌کننده سطح بالاتر تکنولوژی در کشور باشد، کشش‌پذیری نسبت به هر دو متغیر اندکی افزایش یافته است. این در حالی است که قدر مطلق مقادیر آن کماکان کمتر از یک بوده است. در مطالعاتی نظیر قادری و همکاران (۲۰۰۶)، آذربایجانی و همکاران (۱۳۸۷) و صدرزاده مقدم و همکاران، (۱۳۹۲) نیز کشش‌پذیری پایین تقاضای انرژی تأیید گردیده است.

www.SID.ir

Archive of SID

پیچیدگی اقتصادی در رژیم اول اثر مثبت و در رژیم دوم اثر منفی بر مصرف انرژی داشته است؛ بنابراین با افزایش سطح پیچیدگی در اقتصاد می‌توان به ایجاد اثرات مطلوب رشد تکنولوژی بر مصرف انرژی امید داشت.

با توجه به تأیید رابطه غیرخطی در تابع تقاضای انرژی، به‌منظور سیاست‌گذاری مناسب در این حوزه برای تأمین نیازهای کشور لازم است سیاست‌گذاران به شناسایی درست ارتباط بین متغیرها با مصرف انرژی و عوامل اثرگذار بر آن توجه ویژه‌ای داشته باشند. این موضوع می‌تواند سیاست‌گذاران این حوزه را برای پیش‌بینی نیازهای آینده و برنامه‌ریزی مناسب برای استفاده کارا از ظرفیت‌های آن کمک نماید.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

آذربایجانی، کریم؛ شریفی، علیمراد و شجاعی، عبدالناصر. (۱۳۸۷). «تخمین تابع تقاضای گاز طبیعی در بخش صنعت کشور»، *مجله توسعه و سرمایه*، شماره ۱، ۷۰-۴۷.

دهقانپور، حامد و اسماعیلی، عبدالکریم. (۱۳۹۵). «بررسی رابطه بین تکنولوژی کشاورزی و تقاضای انرژی در ایران»، *تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، ۸(۱)، ۴۹-۳۵.

صدرزاده مقدم، سعید؛ صادقی، زین‌العابدین و قدس الهی، احمد. (۱۳۹۲). «تخمین تابع تقاضای انرژی و کشش قیمتی و جانشینی نهاده‌ها در بخش صنعت: رگرسیون معادلات به ظاهر نامرتبط»، *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، ۲، ۱۲۷- ۱۰۷.

عابدزاده، کاظم و شکری، مصطفی. (۱۳۹۶). *تأثیر سطح تکنولوژی جمعیت و رشد اقتصادی روی مصرف انرژی الکتریکی با کاربرد رگرسیون فازی*، سی و دومین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران، ایران.

عبدلی، قهرمان و ورهرامی، ویدا. (۱۳۸۸). «بررسی اثر پیشرفت تکنولوژی بر صرفه‌جویی مصرف انرژی در بخش صنعت و کشاورزی با استفاده از تابع کاب-داگلاس»، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، ۲۳، ۴۱-۲۳.

ورهرامی، ویدا؛ مشرفی، رسام و لایق گیگلو، جابر. (۱۳۹۴). ارزیابی تقارن یا عدم تقارن واکنش مصرف گاز طبیعی به تغییرات قیمت و درآمد در بخش صنعت ایران. *فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*، ۴(۱۶)، ۱۳۵-۱۵۵.

Acs, Z. J., Anselin, L., & Varga, A. (2002). "Patents and innovation count as measures of regional production of new knowledge". *Research policy*, 31(7), 1069-1085.

Ahmad, U., & ArshadKhan, M. (2009). "Energy demand in Pakistan: a disaggregate analysis". *The Pakistan Development Review*, 437-455.

Khan, G., Ahmed, A. M., & Kiani, A. (2016). "Dynamics of energy consumption, technological innovations and economic growth in Pakistan". *Journal of Business & Economics*, 8(1), 1-29.

Ang, J. B. (2009). "CO2 emissions, research and technology transfer in China". *Ecological Economics*, 68(10), 2658-2665.

Balke, N. S., and Fomby, T. B. (1997). "Threshold Cointegration". *International economic review*, 627-645.

Basu, S., & Fernald, J. (2007). "Information and communications technology as a general-purpose technology: Evidence from US industry data". *German Economic Review*, 8(2), 146-173.

Bhattacharyya, S. C. (2011). *Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance*. Springer Science & Business Media.

Can, M., & Gozgor, G. (2017). "The impact of economic complexity on carbon emissions: evidence from France". *Environmental Science and Pollution Research*, 24(19), 16364-16370.

Cohen, W. M., & Klepper, S. (1992). "Firm size versus diversity in the achievement of technological advance". *Innovation and technological change: An international comparison*, 183-203.

Crafts, N. (2003). *Quantifying the contribution of technological change to economic growth in different eras: a review of the evidence*.

Dargay, J. M., Gately, D., & Huntington, H. G. (2007). *Price and Income Responsiveness of World Oil Demand, by Product*, Energy Modeling Forum Working Paper EMF OP 61.

www.SID.ir

Archive of SID

Fei, Q., & Rasiah, R. (2014). "Electricity consumption, technological innovation, economic growth and energy prices: does energy export dependency and development levels matter?", *Energy Procedia*, *61*, 1142-1145.

Fei, Q., Rasiah, R., & Leow, J. (2014). "The impacts of energy prices and technological innovation on the fossil fuel-related electricity-growth nexus: An assessment of four net energy exporting countries". *Journal of Energy in Southern Africa*, 25(3), 37-46.

Gately, D., and Huntington, H. G. (2002). "The Asymmetric Effects of Changes in Price and Income on Energy and Oil Demand", *The Energy Journal*, Vol. 23, No. 1, 19-55.

Griliches, Z. (1998). *Patent statistics as economic indicators: a survey. In R&D and productivity: the econometric evidence (pp. 287-343)*. University of Chicago Press.

Hausmann, R., Hidalgo, C. A., Bustos, S., Coscia, M., Simoes, A., & Yildirim, M. A. (2013). *The atlas of economic complexity: Mapping paths to prosperity*. Mit Press.

Hu, J. L., and Lin, C. H. (2008). "Disaggregated Energy Consumption and GDP in Taiwan: A Threshold Co-Integration Analysis." *Energy Economics*, Vol. 30, Issue. 5, 2342-2358.

Hidalgo, C. A., & Hausmann, R. (2009). "The building blocks of economic complexity". *Proceedings of the national academy of sciences*, 106(26), 10570-10575.

Huntington, H. G. (2007). "Industrial Natural Gas Consumption in the United States: An Empirical Model for Evaluating Future Trends". *Energy Economics*, Vol. 29(4), 743-759.

Jacobsen, H. K. (2001). "Technological progress and long-term energy demand—a survey of recent approaches and a Danish case". *Energy Policy*, 29(2), 147-157.

Jin, L., Duan, K., & Tang, X. (2018). "What Is the Relationship between Technological Innovation and Energy Consumption? Empirical Analysis Based on Provincial Panel Data from China". *Sustainability*, *10*(1), 145-158.

Jorgenson, D. W., & Fraumeni, B. M. (1981). *Relative Prices and Technical Change in Modeling and Measuring Natural Resource Substitution*, ER Berndt and BC Fields.

Komen, M. H., Gerking, S., & Folmer, H. (1997). "Income and environmental R&D: empirical evidence from OECD countries". *Environment and Development Economics*, 2(4), 505-515.

Ladu, M. G., & Meleddu, M. (2014). "Is there any relationship between energy and TFP (total factor productivity)? A panel cointegration approach for Italian regions". *Energy*, 75, 560-567.

Li, K., & Lin, B. (2014). "The nonlinear impacts of industrial structure on China's energy intensity". *Energy*, *69*, 258-265.

Lin, B., & Du, K. (2015). "Measuring energy rebound effect in the Chinese economy: an economic accounting approach". *Energy economics*, 50, 96-104.

Murad, M. W., Alam, M. M., Noman, A. H. M., & Ozturk, I. (2019). "Dynamics of technological innovation, energy consumption, energy price and economic growth in Denmark". *Environmental Progress & Sustainable Energy*, *38*(1), 22-29.

www.SID.ir

Archive of SID

Neagu, O., & Teodoru, M. C. (2019). "The Relationship between Economic Complexity, Energy Consumption Structure and Greenhouse Gas Emission: Heterogeneous Panel Evidence from the EU Countries". *Sustainability*, 11(2), 497-526.

Ghaderi, S. F., Azadeh, M. A., and Mohammadzadeh, S. (2006). "Electricity Demand Function for the Industries of Iran", *Information Technology Journal*, Vol.5, Issue. 3, 401-404.

Omay, T., Hasanov, M., and Ucar, N. (2014). "Energy Consumption and Economic Growth: Evidence from Nonlinear Panel Cointegration and Causality Tests." *Applied Econometrics*, 34(2), 36-55.

Sterner, T. (1990). "Energy efficiency and capital embodied technical change: the case of Mexican cement manufacturing". *The Energy Journal*, 155-167.

Tang, C. F., & Tan, E. C. (2013). "Exploring the nexus of electricity consumption, economic growth, energy prices and technology innovation in Malaysia". *Applied Energy*, *104*, 297-305.

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

van Dijk, D. D. (1999). *Smooth transition models: extensions and outlier robust inference* (No. 200).

Wei, W. X., & Yang, F. (2010). "Impact of technology advance on carbon dioxide emission in China". *Statistical Research*, 27(7), 36-44.

Yuan, C., Liu, S., & Wu, J. (2009). "Research on energy-saving effect of technological progress based on Cobb–Douglas production function". *Energy Policy*, 37(8), 2842-2846.

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

Applied Economics Studies, Iran (AESI) 127

Volume 8, Number 32, Wintre 2020

The Threshold Effect of Economic Complexity on Energy Consumption in Iran Using Smooth Transition Regression Model

Azizi, Z.[1*]

Abstract

The economic complexity index is one of the latest published indicators to measure the level of knowledge and technology in countries. In this paper, using a smooth transition regression model, the effect of economic complexity on energy consumption is evaluated for the first time in the Iranian economy during the period 1971-2013. The results of the model estimation confirm the existence of a nonlinear relationship between per capita income, real energy price index, and the complexity of the economy with per capita energy consumption. Also, economic complexity leads to a two-regime structure with a threshold of -1.15. So that in the first regime, which is related to the low levels of economic complexity, the effect of this variable on energy consumption was positive, that could be due to the rebound effects of technology on energy consumption. In the second regime, which is related to higher levels of complexity, the relationship was negative. Therefore, in the second regime, improving the level of complexity can help to save energy. On the other hand, the elasticity of income and price in both regimes was less than one, but as the complexity passing the threshold, the elasticity has increased in particular with respect to price, which indicates that with the increase of technology and knowledge of the country, the power of the reaction of consumers to the price changes will increase.

Keywords: Energy Consumption, Energy Demand Elasticity, Economic Complexity, Technological Progress, Nonlinear Model Smooth Transition Regression.

JEL Classification: Q41, O33, O30, C24.

1. Assistant Professor of Economics, Alzahra University **Email:** z.azizi@alzahra.ac.ir

www.SID.ir