نشریه علمی پژوهشهای اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)
مقاله پژوهشی/ سال بیست و چهارم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۳، ص: ۹۱-۱۱۴

تحلیل تأثیر پیچیدگی اقتصادی بر مصرف انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در کشورهای توسعه‌یافته و درحال توسعه

نجمه محمدی[۱]
بهرام سحابی[۲]
حسن حیدری[۳]
حسین صادقی سقدل[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۶

چکیده

تأثیر فناوری بر مصرف انرژی یکی از موضوع‌های چالش برانگیز در حوزه سیاستگذاری اقتصاد انرژی است. پیچیدگی اقتصادی معیاری برای محاسبه میزان فناوری در یک کشوراست. فناوری فرصتی را برای اقتصاد فراهم می‌کند تا از منابع آلوده‌کننده پرمصرف و تجدیدناپذیر به منابع تجدیدپذیر برای تأمین نیازهای انرژی حرکت کند. در این مطالعه تأثیر پیچیدگی اقتصادی بر مصرف انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در کشورهای توسعه‌یافته و درحال توسعه طی دوره زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۰ با استفاده از روش GMM بررسی شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که شاخص پیچیدگی اقتصادی بر توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای درحال توسعه و توسعه‌یافته تأثیر می‌گذارد و همچنین باعث کاهش استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر و مصرف انرژی کل در کشورهای توسعه‌یافته و افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر و مصرف انرژی کل در کشورهای درحال توسعه می‌شود. در این پژوهش بازبودن تجارت تأثیر مثبت بر مصرف انرژی تجدیدپذیر در هر دو گروه کشورها داشته است و در کشورهای توسعه‌یافته بازبودن تجارت باعث کاهش مصرف انرژی تجدیدناپذیر و کل شده است و در کشورهای درحال توسعه عکس این نتیجه به‌دست آمده است. در هر دو گروه کشورها مصارف انواع انرژی با سطح درآمد رابطه مثبت دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهند که اگر رشد اقتصادی، همراه با فناوری بالاتر باشد، می‌تواند به افزایش کمتری در مصرف انرژی کل در هر دو گروه کشور منجر شود.

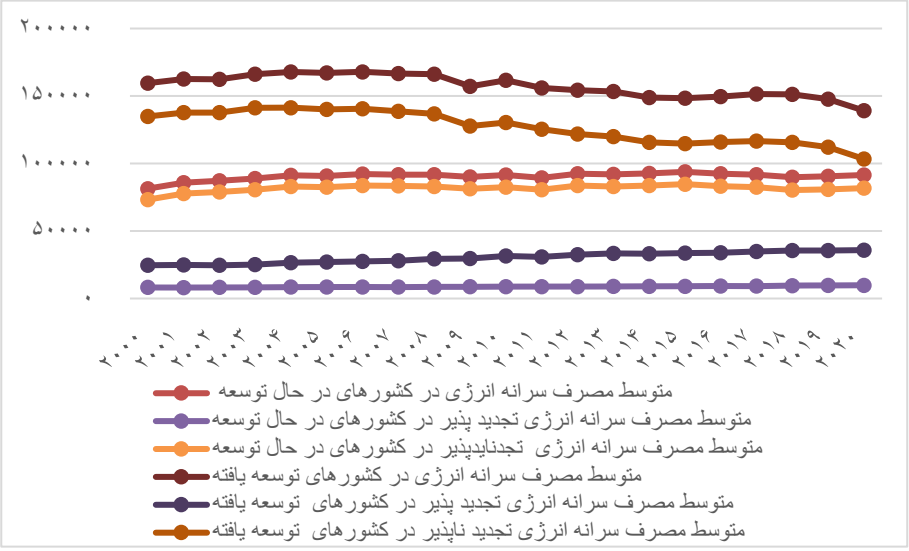
واژگان کلیدی:. پیچیدگی اقتصادی، مصرف انرژی تجدیدپذیر، مصرف انرژی تجدیدناپذیر، کشورهای توسعه‌یافته، کشورهای درحال توسعه
طبقه‌بندی JEL: Q56 , Q54, O31

۱. دانشجو دکتری علوم اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس ، تهران، ایران n.mohamadi@modares.ac.ir
۲. دانشیار، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (نویسنده مسئول) Sahabi_b@modares.ac.ir
۳. استادیار، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران hassan.heydari@modares.ac.ir
۴. دانشیار، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران sadeghih@modares.ac.ir

۱. مقدمه

تقاضای انرژی در سراسر جهان به‌سرعت در حال افزایش است. تقاضای برای انرژی تقریبا ۴۴ درصد طی دوره ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۴ در جهان افزایش یافته است (ارن و همکاران ۲۰۱۹)[1]. با وجود اجماع فزاینده جهانی در مورد کاهش مصرف انرژی به‌خاطر محیط زیست پاک، انتظار می‌رود چنین تقاضای فزاینده انرژی تا سال ۲۰۴۰ به مراتب بیشتر شود (آژانس بین المللی انرژی۲۰۱۹)[2]. انرژی نقش مهمی در توسعه کشورها دارد، علاوه بر این دستیابی به رشد پایدار ارتباط نزدیکی با حفظ منابع طبیعی و محیط زیست دارد (کان و همکاران۲۰۲۲)[3].

امنیت انرژی برای کشورها یک ضرورت است زیرا بروز مشکل در جریان انرژی می‌تواند اثر منفی بر کل اقتصاد داشته باشد (کاگلار ۲۰۲۰)[4]. از این رو، سیاستگذاری برای مدیریت بخش انرژی یک امر ضروری است اما در کنار مدیریت انرژی، منابع پاک انرژی یک کلید برای دستیابی به رشد با مشکلات زیست محیطی کمتر است. اهمیت بهره‌وری انرژی برای رشد اقتصادی پس از افزایش قیمت جهانی در سال ۱۹۷۰ افزایش یافت. در حال حاضر تمرکز سیاستگذران بر تولید منابع انرژی جایگزین برای کاهش مصرف انرژی سوخت فسیلی است (احمد و همکاران ۲۰۲۲)[5].



نمودار ۱: روند متوسط مصرف سرانه انرژی های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر و مصرف انرژی کل در کشورهای درحال توسعه و توسعه‌یافته در دورهٔ زمانی ۲۰۰۰- ۲۰۲۰

(منبع: یافته‌های پژوهش)

1. Eren et. al (2019)
2. IEA (2019)
3. can et. al (2022)
4. Caglar (2020)
5. ahmed et. al (2022)

در نمودار (۱) روند متوسط مصرف سرانه انرژی های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر و همچنین مصرف انرژی کل در کشورهای درحال توسعه و توسعه‌یافته در دوره زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۰ نشان داده است.

همانطور که مشاهده می‌شود کشورهای توسعه‌یافته در این سال‌ها مصرف انرژی کل و تجدیدناپذیر را کاهش داده‌اند و مصرف انرژی تجدیدپذیر را افزایش داده‌اند. کشورهای درحال توسعه در انرژی های تجدیدپذیر روند به نسبت خوبی داشته‌اند اما در مورد انرژی‌های تجدیدناپذیر روندشان کاهشی نبوده است. البته باید در نظر داشت این موضوع را که مسیر توسعه کشورهای کم‌درآمد مستلزم افزایش مصرف انرژی است (دوگان و همکاران ۲۰۲۲)[1]نمودار (۱) به‌خوبی گویای این موضوع است که ساختار اقتصادی کشورها تأثیر قابل توجهی بر تقاضای انرژی آن‌ها دارد.

اخیراً محققان تلاش کرده‌اند پارامترهایی را که می‌توانند بر مصرف انرژی تأثیر بگذارند شناسایی کنند در این شرایط، محققان به بررسی اثر پارامترهای مختلف مانند سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، تجارت، جهانی شدن، توسعه مالی بر مصرف انرژی کرده‌اند. یکی از این پارامترها که در تحقیقات اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته است بررسی شاخص پیچیدگی اقتصادی بر مصرف انرژی است. پیچیدگی اقتصادی شاخصی که در دهه اخیر مطرح شده و بیانگر استفاده از تکنولوژی فناورانه در فرایند تولید کالاها و خدمات یک کشور است که از طرق ایجاد ساختار مولد در ترکیب محصولات تولیدی، افزایش بهره‌وری و تنوع محصولات تولیدی منجر به افزایش رشد و شکوفایی اقتصادی می‌شود (زبیری و موتنمی، ۱۳۹۹) پیچیدگی اقتصادی نمایانگرساختار تولیدی پیچیده و مبتنی بر دانش یک کشور معین است که زمان زیادی طول می‌کشد تا به بلوغ برسد (کان و همکاران ۲۰۲۲)، بنابراین، سیاستگذاران اقتصادی باید نقش این شاخص را در ایجاد رشد پایدار اقتصادی در نظر بگیرند (گوزگور و همکاران ۲۰۱۸)[2].

انتظار می‌رود پیچیدگی اقتصادی بر مصرف انرژی تأثیر بگذارد، زیرا ساختار اقتصادی یک کشور تأثیر قابل‌توجهی بر تقاضای انرژی دارد (ژانگ و همکاران ۲۰۱۱)[3]. در مراحل اولیه رشد، ساختار اقتصادی ممکن است تغییرات اساسی ناشی از تلاش‌های صنعتی شدن را تجربه کنند. این تغییرات اغلب به مقادیر اضافی انرژی نیاز دارند و متعاقباً تعدادی از مسائل مرتبط با تخریب محیط زیست را به همراه دارند. کشورهایی که درآمد کم دارند، زمانی که پیچیدگی اقتصادی آن‌ها افزایش می‌یابد، تمایل به اجرای سیاست های زیست‌محیطی خاصی دارند. در غیر این صورت، ساختار تولید می‌تواند بر محیط زیست تأثیر منفی بگذارد تا زمانی که سطح مشخصی از درآمد حاصل شود (دوگان و همکاران ۲۰۲۲). علاوه بر این، سطح دانش تکنولوژیکی کشورها به‌طور قابل‌توجهی می‌تواند بهره‌وری انرژی را تحت تأثیر قرار دهد (رفیق و همکاران، ۲۰۲۱)[4]. افزایش پیچیدگی اقتصادی به معنی استفاده

1. Doğan et al (2022)
2. Gozgor et al (2018)
3. zheng et al (2011).
4. Rafique et al (2021)

بیشتر از تکنولوژی های نوآورانه در تولیدات است که ممکن است باعث افزایش استفاده از محصولات فناورانه موثر مانند انرژی های تجدیدپذیر گردد (نیاگو و همکاران ۲۰۱۹)[1].

از این‌رو در این پژوهش به بررسی اثرات پیچیدگی اقتصادی و رشد اقتصادی بر مصرف انرژی تجدیدپذیر، مصرف انرژی تجدیدناپذیر و مصرف انرژی کل در کشورهای درحال توسعه و توسعه‌یافته در دوره زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۰ با استفاده از روش GMM[2] پرداخته شده است.در این مطالعه چندین نوآوری جدید به شرح ذیل صورت گرفته است:

۱. مطالعه حاضر پیشگام بررسی پیچیدگی اقتصادی به‌عنوان شاخص تحول ساختار اقتصادی و ارائه یافته‌های نوآورانه در مورد تأثیر آن بر مصرف انرژی تجدیدپذیر، مصرف انرژی تجدیدناپذیر و مصرف انرژی کل در کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته است. برخلاف سایر مطالعات که تنها تأثیر پیچیدگی اقتصادی را بر مصرف کل انرژی بررسی کرده‌اند و همچنین فقط بر روی یک کشور یا یک گروه کشور کوچک تمرکز کرده‌اند در این مطالعه برای بررسی دقیق‌تر مصرف انرژی به دو بخش تجدیدپذیر و ناپذیر تفکیک شده و در دو گروه کشورهای درحال توسعه و توسعه‌یافته مطالعات صورت گرفته است. در این زمینه پیچیدگی اقتصادی نشان دهنده سطوح تکنولوژی و فناوری تولیدات در کشورها است. حوزه پژوهشی این مقاله برای کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته است زیرا سطح پیچیدگی اقتصادی و مصرف انرژی یک کشور ممکن است به سطح توسعه آن بستگی داشته باشد. بنابراین الگوی مصرف انرژی در آینده را در کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته روشن می‌کند. به عبارت دیگر معرفی یک بحث سیاست انرژی تجدیدپذیر و ناپذیر با زمینه ECI و لحاظ نوع توسعه‌یافتگی کشورها احتمالاً کمک مفیدی به سیاستگذاران کشورهای مورد مطالعه ارائه می‌دهد.

۲. برای پر کردن شکاف‌ها در ادبیات تجربی و رسیدن به اجماع در مورد تأثیر پیچیدگی اقتصادی بر مصرف انرژی پیامدهای ساختار اقتصادی کشورها بر چنین تأثیری برای اولین بار مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نقش پیچیدگی اقتصادی در رشد اقتصادی کشورها و اثرات سرریز آن بر چگونگی تأثیر رشد اقتصادی بر مصرف انرژی مورد مطالعه قرار گرفته است. این مطالعه توضیح می‌دهد که چگونه پیچیدگی اقتصادی مسیرهای رشد کشورها را تعیین می‌کند.

۳. علاوه بر این، مطالعه حاضر بررسی کاملی از تأثیر بازبودن تجارت، انتشار CO_2، تولید ناخالص داخلی بر انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی‌های تجدیدناپذیر و مصرف کل انرژی برای اقتصادهای توسعه‌یافته و در حال توسعه با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته داده‌های تابلویی ارائه می‌کند که برای اولین‌بار این رابطه به این صورت مورد بررسی قرار می‌گیرد .در این زمینه، پژوهش حاضر در تلاش است تا با به‌کارگیری روش‌های تجربی جایگزین، شکاف پژوهشی موجود را پر کند.

1. Neagu et al (2019)
2. Generalized Method of Moments

این مقاله شامل پنج بخش است. پس از مقدمه در بخش اول، در بخش دوم به بررسی پیشینه تجربی موضوع پرداخته شده است. در بخش سوم، مبانی نظری پژوهش و در بخش چهارم مدل مورد برآورد، داده‌ها و منابع آماری معرفی شده است و در بخش پنجم نتایج تجربی به دست آمده از برآورد الگو بررسی شده است. در انتها نیز به نتیجه‌گیری و پیشنهادات حاصل از این پژوهش پرداخته شده است.

۲. مروری بر ادبیات تحقیق

رابطهٔ تکنولوژی با مصرف انرژی یکی از موضوع‌های چالش‌برانگیز در سیاستگذاری اقتصاد انرژی می‌باشد. بسیاری از پژوهشگران بر این باورند که نوآوری‌های فناورانه می‌توانند کارایی انرژی را بهبود بخشند و درنتیجه، باعث کاهش مصرف انرژی شوند. اما پیشرفت فناورانه از مسیرهای مختلفی بر مصرف انرژی تأثیر می‌گذارد. از یک‌سو، ابزارها و تکنیک‌های جدیدی برای کاهش مصرف انرژی ایجاد می‌کند و از سوی دیگر، رشد اقتصادی را افزایش می‌دهد که به دنبال آن مصرف انرژی بیشتر می‌شود (یوآن و همکاران، ۲۰۰۹)[1].

تاکنون پژوهش‌های متعددی به بررسی این رابطه پرداخته‌اند که به نتایج یکسانی دست نیافته‌اند. در پژوهش‌ها از شاخص‌های متفاوتی برای سنجش بهبود تکنولوژی استفاده شده که می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد. ۱. متغیر روند زمانی در مطالعه جورگسن و فرامنی (۱۹۸۱)[2]؛ ۲.میزان ثبت اختراع در مطالعات گریلیچز (۱۹۹۸)[3]، آکز و همکاران (۲۰۰۲)[4]، گوتو (۲۰۱۰)[5]؛ ۳. مخارج تحقیق و توسعه (R & D) در مطالعات کوهن و کلپر[6](۱۹۹۲)، کومن و همکاران (۱۹۹۷)[7]، انگ (۲۰۰۹)[8] و وی و یانگ (۲۰۱۰)[9]؛ ۴. بهره‌وری کل عوامل تولید (TFP) در مطالعات کرفتز (۲۰۰۶)[10]، باسو و فرناندز (۲۰۰۸)[11] و لادو و ملودو[12] (۲۰۱۴) استفاده شده است (عزیزی، ۲۰۲۰).

این شاخص‌ها به علت عدم شمول تمامی دامنه گسترده رشد فناوری و عملیاتی شدن آن محققان را بر آن داشت که به دنبال شاخص‌های مناسب‌تری باشند. شاخص پیچیدگی اقتصادی یکی از جدیدترین شاخص‌هایی است که منعکس‌کننده میزان دانش و تکنولوژی به‌کاررفته در ساختار تولید یک کشور می‌باشد که در سال‌های اخیر در تعدادی از مطالعات به‌عنوان معیار پیشرفت فناوری

1. Yuan et al (2009)
2. Jorgenson & Fraumeni(1981)
3. Griliches (1998)
4. Acs(2002)
5. Goto (2010)
6. Cohen & Klepper (1992)
7. Komen (1997)
8. Ang (2009)
9. Wei & Yang (2010)
10. Crafts (2003)
11. Basu & Fernald (2007)
12. Ladu & Meleddu (2014)

استفاده شده است. علی‌رغم اهمیت رابطه بین پیچیدگی اقتصاد و مصرف انرژی، این موضوع تاکنون بسیار کم مورد توجه قرار گرفته است. این مطالعات در ادامه بررسی خواهد شد.

نواز و همکاران (۲۰۲۰)[1] تأثیر پیچیدگی اقتصادی بر مصرف انرژی در پاکستان را ارزیابی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که پیچیدگی اقتصادی مصرف انرژی را کاهش می‌دهد.

فانگ و همکاران (۲۰۲۱)[2] با استفاده از روش AMG برای کشورهای OECD از سال ۱۹۷۸ تا ۲۰۱۶ نشان دادند که ECI و شاخص قیمت‌های واقعی انرژی در سطح اقتصاد تأثیر منفی و سطح درآمد تأثیر مثبت بر تقاضای انرژی دارد.

رفیق و همکاران (۲۰۲۱)[3] طی دورهٔ زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۷ با استفاده از آزمون هم‌انباشتگی Westerlund و رگرسیون داده‌های تابلویی برای کشورهای پیشرفته (G7) و درحال ظهور (E7) نشان دادند که پیچیدگی اقتصادی و رشد اقتصادی تأثیر مثبت بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر دارند.

دوگان و همکاران[4] (۲۰۲۲) با استفاده از روش ARDL برای سال‌های ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۸ در یک مجموعه پانل از ۶۳ کشور طبقه‌بندی‌شده تحت عنوان کشورهای با درآمد بالا، با درآمد متوسط بالا و کشورهای با درآمد متوسط پایین به این نتیجه رسیدند که پیچیدگی اقتصادی تقاضای انرژی را در کوتاه‌مدت افزایش می‌دهد، اما تقاضای انرژی را در بلندمدت کاهش می‌دهد.

در مطالعه‌ای دیگر دوگان و همکاران (۲۰۲۲) برای کشورهای G7 و E7 از سال ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۷ نشان دادند که پیچیدگی اقتصادی باعث کاهش شدت مصرف انرژی و انتشار کربن در کشورهای G7 می‌شود و درمقابل در کشورهای E7 تأثیر منفی بر بهره‌وری انرژی و انتشار کربن دارد.

کان و همکاران[5] (۲۰۲۲) برای چهارده کشور اتحادیه اروپا از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۷ به این نتیجه رسیدند که پیچیدگی اقتصادی باعث افزایش انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر می شود.

چو و همکاران (۲۰۲۳)[6] به بررسی عوامل تعیین‌کننده استفاده از انرژی های تجدیدپذیر در ۲۳ اقتصاد مصرف‌کننده بالا انرژی طی سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۷ پرداخته‌اند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که شاخص پیچیدگی اقتصادی به‌طور قابل‌توجهی بر توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر تأثیر می‌گذارد .

در ایران مطالعات کمی در این زمینه صورت گرفته است. عزیزی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از یک الگوی رگرسیون انتقال ملایم طی دوره زمانی ۱۳۵۵-۱۳۹۲ به این نتیجه رسیدندکه پیچیدگی اقتصادی سبب ساختاری دورژیمی شده است، به‌طوری‌که در رژیم اول با سطوح پایین پیچیدگی اقتصادی اثر این متغیر بر مصرف انرژی مثبت است و در رژیم دوم که مربوط به سطوح بالاتر پیچیدگی است، رابطهٔ موردنظر منفی بوده است.

1. Nawaz et al (2020)
2. Fang et al (2021)
3. Rafique et al (2021)
4. Doğan et al (2022)
5. Can et al (2022)
6. Chu et al (2023)

سعیدی و همکاران (۱۴۰۱) نشان دادند که افزایش پیچیدگی محرک مصرف انرژی فسیلی در استان های ایران است و پیچیده تر شدن ساختار فعلی تولید در اقتصاد ایران به کاهش مصرف انرژی فسیلی کمکی نخواهد کرد.

زبیری و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی اثر پیچیدگی اقتصادی بر سرانه مصرف انرژی ۶۱ کشور منتخب، طی سال‌های ۲۰۰۲-۲۰۱۸ با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته پرداخته‌اند و نشان دادندکه پیچیدگی اقتصادی اثر منفی و معناداری برمصرف انرژی داشته است.

اگرچه برخی از محققان تلاش کردند تأثیر پیچیدگی اقتصادی را بر مصرف انرژی بررسی کنند، این مطالعات محدود هستند. این مقاله اولین مقاله‌ای است که تأثیر پیچیدگی اقتصادی بر مصرف انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر برای گروه‌های کشورهای توسعه‌یافته و درحال توسعه را به‌طور هم‌زمان بررسی می‌کند.

۳. مبانی نظری پژوهش

۳ – ۱. مفهوم پیچیدگی اقتصادی

امروزه اقتصاددانان رشد اقتصادی را نه‌تنها با حجم تولید کالاها و خدمات، بلکه با ساختار تولید کالاها و خدمات بر حسب دانش فنی مورد استفاده (سطح فناوری) می‌سنجند. از این‌رو در دهه‌های اخیر شاخص پیچیدگی اقتصادی مطرح شده است که با محاسبهٔ آن می‌توان به میزان توسعه‌یافتگی کشورها پی برد.

گروهی از محققان از سال ۲۰۰۶ تحقیقات گسترده‌ای را در مورد رشد اقتصادی انجام داده‌اند. تحقیقات این گروه به شناسایی شاخص پیچیدگی اقتصادی منجر شده است. پیچیدگی یک اقتصاد به میزان دانش مفید انباشته‌شده در یک کشور بستگی دارد. اقتصادهای پیچیده، اقتصادهایی هستند که می‌توانند محصولات دانشی متنوعی تولید کنند. برعکس، اقتصادهای ساده‌تر سطح دانش مولد پایینی دارند و محصولات ساده‌تری تولید می‌کنند که به شبکه‌های کوچک‌تری برای تعامل نیاز دارند (هاسمن ۲۰۱۴).[1] پیچیدگی اقتصادی از طریق ایجاد ساختار مولد، امکان استفاده از ظرفیت‌های بلااستفاده تولیدی را فراهم می‌کند و همچنین صرفه‌جویی در منابع تولیدی، تخصیص بهینه منابع تولید، کاهش هزینه‌های تولید و افزایش بهره‌وری و تنوع محصولات تولیدی را ایجاد می‌کند که تمامی این موارد منجر به افزایش تولید ناخالص داخلی می شود (شاه‌آبادی و ارغند، ۱۳۹۷).

پیچیدگی اقتصاد هر کشور به‌طور محسوسی با پیچیدگی محصولاتی که صادر می‌کند در ارتباط است، درنهایت اینکه کشورها تنها در صورتی می توانند رتبه شاخص پیچیدگی اقتصادی خود را افزایش دهند که بتوانند تعداد صنایع پیچیده خود را افزایش دهند (هاسمن ۲۰۱۷).[2] پیچیدگی اقتصادی مهم است؛ زیرا به توصیف تفاوت در سطح درآمد کشورها کمک می‌کند و مهم‌تر اینکه رشد اقتصادی آتی کشورها را پیش‌بینی می‌کند (شاهمرادی، ۱۳۹۷).

1. Hausmann (2014)
2. Hausmann (2017)

۳ - ۲. روش محاسبهٔ پیچیدگی اقتصادی

محاسبهٔ شاخص پیچیدگی اقتصادی براساس ماتریس M_{cp} است. این ماتریس ساختار یک شبکه را نشان می‌دهد و اگر کشور c محصول p را صادر کند، مقدار ۱ را می‌گیرد (و در غیر این‌صورت ۰). سطرها و ستون های ماتریس M_{cp} متعاقباً به‌صورت زیر جمع می‌شوند.

$$diversity = k_{c,0} = \sum_{p} M_{cp} \quad (۱)$$

$$ubiquity = k_{p,0} = \sum_{c} M_{cp} \quad (۲)$$

تنوع کشور نشان‌دهنده تعداد محصولات صادرشده توسط آن کشور است. فراگیر بودن برعکس تعداد کشورهای صادرکننده محصول را نشان می‌دهد (هاسمن و همکاران، ۲۰۱۴).

برای به‌دست آوردن شاخصی دقیق از تعداد توانمندی‌های موجود در هر کشور، لازم است اطلاعات مربوط به تنوع و فراگیری را تصحیح نمود، به این صورت که از هرکدام برای تصحیح نمودن دیگری استفاده کرد. این امر مستلزم آن است که برای هر کشور، میانگین فراگیری کالاهایی را که صادر می‌کند و نیز میانگین تنوع کشورهایی را محاسبه نمود که آن کالاها را تولید می‌کنند. برای کالاها نیز باید میانگین متوسط تنوع کشورهایی که آن‌ها را تولید می‌کنند و میانگین متوسط فراگیری کالاهای دیگری را که این کشورها تولید می‌کنند محاسبه نمود. این مسئله را می‌توان با استفاده از روابط زیر چنین بیان نمود:

$$K_{C,N} = \frac{1}{K_{C,0}} \sum_{p} M_{cp} . K_{p,N-1} \quad (۳)$$

$$K_{p,N} = \frac{1}{K_{p,0}} \sum_{c} M_{cp} . K_{c,N-1} \quad (۴)$$

با قرار دادن رابطهٔ (۴) در رابطهٔ (۳)، رابطهٔ (۵) را به‌دست می‌آوریم:

$$K_{C,N} = \frac{1}{K_{C,0}} \sum_{p} M_{cp} . \frac{1}{K_{p,0}} \sum_{c} M_{c'p} K_{c,N-2} \quad (۵)$$

$$K_{C,N} = \sum_{c'} K_{C,N-2} \sum_{p} \frac{M_{cp} M_{c'p}}{K_{C,0} K_{p,0}} \quad (۶)$$

اگر $\sum_{p} \frac{M_{cp} M_{c'p}}{K_{C,0} K_{p,0}}$ را $\tilde{M}_{cc'}$ تعریف کنیم، رابطهٔ (۷) را به‌دست می آوریم:

$$K_{C,N} = \sum \tilde{M}_{cc'} K_{c',N-2} \quad (۷)$$

رابطهٔ (۷) زمانی برقرار است که $K_{C,N} = K_{C,N-2} = 1$ این همان بردار ویژه $M_{-}(cc')$ که با بزرگ‌ترین مقدار ویژه مرتبط است. ازآنجایی‌که این بردار ویژه، برداری از عددهای یک، دارای اطلاعات مفیدی نیست؛ از این‌رو به‌جای آن، از بردار ویژه مربوط به دومین مقدار ویژه بزرگ استفاده می‌شود. این بردار ویژه‌ای است که بزرگ‌ترین مقدار واریانس را در سیستم انعکاس می‌دهد و شاخصی برای اندازه‌گیری و سنجش پیچیدگی اقتصادی است؛ بنابراین، شاخص پیچیدگی اقتصادی برابر است با:

$$ECI = \frac{\vec{K} - < \vec{K} >}{se(\vec{K})} \qquad (۸)$$

در این رابطه $< >$ معرف میانگین حسابی، se نشان دهندهٔ انحراف معیار و $\vec{K}$ بردار ویژه ماتریس $M_{cć}$ مرتبط با دومین مقادیر بزرگ است، به همین ترتیب شاخص پیچیدگی محصولات (PCI) به‌راحتی می‌توان با جابه‌جایی نماد c که معرف کشور با نماد P که معرف محصول است را محاسبه نمود:

$$PCI = \frac{\vec{Q} - < \vec{Q} >}{se(\vec{Q})} \qquad (۹)$$

۳ – ۳. بررسی وضعیت پیچیدگی اقتصادی

در جدول شمارهٔ (۱) برای کشورهای منتخب مقدار شاخص پیچیدگی اقتصادی و رتبهٔ آن‌ها در سال ۲۰۲۰ آورده شده است.

جدول۱: رتبه‌بندی کشورهای منتخب در شاخص پیچیدگی اقتصادی سال ۲۰۲۰

کشور	رتبه	ECI	کشور	رتبه	ECI	کشور	رتبه	ECI
ژاپن	۱	۲,۲۷	اسرائیل	۲۱	۱,۱۵	پاکستان	۸۸	۰,۴۹-
سوئیس	۲	۲,۱۴	ترکیه	۴۱	۰,۶۳	الجزایر	۱۰۸	۰,۸۸-
آلمان	۳	۱,۹۶	عربستان	۴۲	۰,۶۲	یمن	۱۰۹	۰,۸۹-
کره جنوبی	۴	۱,۹۵	هندوستان	۴۶	۰,۴۲	آذربایجان	۱۲۱	۱,۲۴-
سنگاپور	۵	۱,۸۷	لبنان	۴۷	۰,۳۳	ونزوئلا	۱۲۵	۱,۳۷-
چک	۶	۱,۷۸	اندونزی	۶۷	۰,۰۷-	گینه نو	۱۲۶	۱,۴۷-
اتریش	۷	۱,۷۰	گرجستان	۶۸	۰,۰۸-	کامرون	۱۲۷	۱,۶۲-
سوئد	۸	۱,۵۹	مصر	۶۹	۰,۰۹-	کنگو	۱۲۸	۱,۶۴-
مجارستان	۹	۱,۵۴	قطر	۷۱	۰,۱۸-	نیجریه	۱۲۹	۱,۷۳-
انگلستان	۱۰	۱,۵۴	ازبکستان	۷۸	۰,۲۶-	گابن	۱۳۰	۱,۸۳-
اسلوونی	۱۱	۱,۵۴	عمان	۷۹	۰,۲۷-	لیبی	۱۳۲	۲,۲۴-
آمریکا	۱۲	۱,۴۷	ایران	۸۵	۰,۳۹-	آنگولا	۱۳۳	۲,۵۱-

(منبع :www.atlas.media.mit.edu)

همان‌طور که در این جدول مشخص است کشورهای مورد مطالعه شامل کشورهای عضو اوپک و منطقه و کشورهای با بالاترین و پایین‌ترین شاخص پیچیدگی اقتصادی است. مطابق جدول ژاپن، سوئیس ، آلمان و کره از نظر پیچیدگی دربین ده کشور برتر قرار دارند. شاخص پیچیدگی اقتصادی ایران را به هشتاد و پنجمین کشور پیچیده تبدیل کرده است. و این نشانگر سطح پایین استفاده از دانش در تولیدات اقتصادی کشور است. در سال ۲۰۲۰، رژیم اسرائیل با کسب رتبه ۲۱ از میان ۱۳۳ کشور مورد بررسی، نخستین کشور منطقه و ترکیه با کسب رتبه ۴۱، دومین کشور و عربستان سعودی با کسب رتبه ۴۲سومین اقتصاد منطقه از نظر شاخص پیچیدگی اقتصادی بوده است.

علاوه بر رتبه‌بندی پیچیدگی اقتصاد کشورها، پیچیدگی اقتصاد محصولات نیز توسط آزمایشگاه رشد هاروارد در سایت اطلس پیچیدگی اقتصادی، رتبه‌بندی شده است. هرکدام از این محصولات با کدهایی با عنوان کد HS مشخص شده‌اند. طبق داده‌های سال ۲۰۲۰، پنج محصول با بیشترین پیچیدگی در جدول شماره (۲) شرح داده شده‌اند.

جدول ۲: کالاهای با بالاترین پیچیدگی اقتصادی در سال ۲۰۲۰

رتبه	کد HS	نام کالا	pci
۱	۳۷۰۵	صفحات و فیلم های عکاسی به‌غیر از فیلم های متحرک	۲,۳۱
۲	۹۰۱۰	تجهیزات آزمایشگاه‌های عکاسی ازجمله فیلمبرداری، نگاتوسکوپ، صفحه نمایش پروجکشن، قطعات و لوازم جانبی آن	۲,۲۷
۳	۲۸۴۳	فلزات گرانبها کلوئیدی؛ ترکیبات غیر آلی یا آلی فلزات گرانبها	۲,۲۴
۴	۹۰۱۲	میکروسکوپ‌های غیر از میکروسکوپ‌های نوری. دستگاه پراش و قطعات و لوازم جانبی آن	۲,۰۹
۵	۳۸۱۸	عناصر شیمیایی ذوب‌شده برای الکترونیک	۲,۰۶

(منبع: www.atlas.media.mit.edu)

۴. روش‌شناسی تحقیق

۴ – ۱. معرفی مدل

مدل یکپارچه جمعیت، ثروت و فناوری (IPAT) مدلی بسیار معروف برای بررسی عوامل تعیین‌کننده برای مصرف انرژی است دیتز و رزا (۱۹۹۷)[1] این مدل را گسترش دادند و مدل اصلاح‌شده STIRPAT را مطرح کردند این مدل STIRPAT دارای مشخصات زیر است:

$$I_t = \alpha p_t^b A_t^c T_t^d \mu_t \quad (۱۰)$$

1. Ditez & Roza (1997)

در این معادله α جمله ثابت و μ عبارت خطا را نشان می‌دهد. علاوه بر این، P، A و T به‌ترتیب مخفف جمعیت، ثروت و فناوری هستند. I مصرف انرژی است. این مدل توضیح می‌دهد که اندازه جمعیت، ثروت و سطح فناوری یک کشور بر مصرف انرژی تأثیر می‌گذارد (کان، ۲۰۲۲).

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر پیچیدگی اقتصادی بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و غیرقابل‌تجدید در ۶۰ کشور درحال توسعه و ۳۴ کشور توسعه‌یافته طی سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۹ انجام شده است. مدل تجربی با پیروی از مطالعات انجام‌شده در این حوزه به‌ویژه دو مطالعه رفیق (۲۰۲۱) و کان (۲۰۲۲) و توسعه مدل STIRPAT ایجاد شده است.

در این مطالعه اطلاعات مربوط به مصرف انرژی تجدیدپذیر، مصرف انرژی تجدیدناپذیر، مصرف انرژی کل ،تولید ناخالص داخلی، انتشار دی اکسید کربن، باز بودن تجارت و جمعیت از پایگاه داده‌های بانک جهانی[1]استخراج شده است و درنهایت پیچیدگی اقتصادی از پایگاه اطلس دانشگاه ام ای تی[2] جمع‌آوری شده است.متغیرهای مورد استفاده ذر این پژوهش به شرح ذیل هستند.

GDP تولید ناخالص داخلی به صورت سرانه و به قیمت ثابت سال ۲۰۱۷ و شاخص برابری قدرت خرید نسبی، CO_2 انتشار دی اکسید کربن به صورت سرانه و با واحد تن ، REN مصرف انرژی تجدید پذیر به صورت سرانه و با واحد مگاژول ، NREN مصرف انرژی تجدیدناپذیر به صورت سرانه و با واحد مگاژول به ازائ هر نفر ، TEN مصرف انرژی کل به صورت سرانه و با واحد مگاژول به ازای هر نفر، OPE باز بودن بودن تجارت از تقسیم مجموع واردات و صادرات به تولید ناخالص داخلی و ECI شاخص پیچیدگی اقتصادی، از تمامی متغیرها لگاریتم گرفته شده است و مدل های ۱۱، ۱۲ و ۱۳ برآورد شده است:

$$LREN_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 LREN_{i,t-1} + \beta_2 ECI_{i,t} + \beta_3 LGDP_{i,t} + \beta_4 LOPE_{i,t} + \beta_5 LCO_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (11)$$

$$LNREN_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 LNREN_{i,t-1} + \beta_2 ECI_{i,t} + \beta_3 LGDP_{i,t} + \beta_4 LOPE_{i,t} + \beta_5 LCO_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (12)$$

$$LTEN_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 LTEN_{i,t-1} + \beta_2 ECI_{i,t} + \beta_3 LGDP_{i,t} + \beta_4 LOPE_{i,t} + \beta_5 LCO_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (13)$$

علاوه بر این، مدل شماره (۱۴) برای تعیین اثرات ضرایب تعاملی شاخص پیچیدگی اقتصادی بر رشد اقتصادی برای کشورها با درجات مختلف توسعه اقتصادی در تابع مصرف انرژی کل برآورد شده است.

1. World Bank
2. www.atlas.media.mit.edu

$$LTEN_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 LTEN_{i,t-1} + \beta_2 LGDP_{i,t} + \beta_3 LOPE_{i,t} + \beta_4 LCO_{i,t} + \beta_5 ECI_{i,t} * LGDP_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (۱۴)$$

در معادله (۱۴) β_5 می تواند منفی و یا مثبت باشد .ضربب منفی به این معنی است که در اقتصاد پیچیده‌تر اثرات افزایش رشد اقتصادی باعث کاهش مصرف انرژی کل می‌شود.

$$\frac{d(LTEN_{i,t})}{d(LGDP_t)} = \beta_2 + \beta_5 ECI_t \quad (۱۵)$$

با توجه به پیشینه پژوهش، انتظار داریم در کشورهای توسعه‌یافته علامت منفی برای پیچیدگی اقتصادی و در کشورهای درحال توسعه علامت مثبت در تابع مصرف انرژی کل و مصرف انرژی تجدیدناپذیر به‌دست آید و انتظار داریم در هر دو گروه با افزایش پیچیدگی اقتصادی مصرف انرژی تجدیدپذیر افزایش یابد.

۴ - ۲. روش اقتصادسنجی

در مدل‌های پانل پویا به دلیل وجود متغیر وابسته تأخیری نباید دیگر برای برآورد الگو از روش‌های OLS[1] یا GLS[2] برآورد مدل‌های اقتصادی را انجام داد؛ زیرا اجزای اخلال با متغیر وابسته دارای وقفه همبستگی خواهند داشت و نتایج تخمین دیگر مانند قبل بدون تورش و سازگار نخواهد بود، از این‌رو برای رفع این مشکل از روش GMM که در سال ۱۹۹۱ توسط آرلانو و باند[3] پیشنهاد گردیده است استفاده خواهد شد. تخمین زننده GMM زیرمجموعهٔ تخمین‌زن‌های روش متغیرهای ابزاری است. در این روش علاوه بر اینکه مشکل همبستگی متغیر مستقل با اجزای اخلال برطرف می‌شود، درون‌زایی متغیرها و ناهمسانی واریانس مدل هم رفع می‌گردد. باید این امر مورد توجه قرار گیرد که این روش زمانی قابل اجرا است که T (تعداد دوره زمانی) کوچک‌تر از N (تعداد مقاطع) باشد (وربیک ۲۰۱۲)[4] می توان گفت به‌طورکلی روش گشتاورهای تعمیم‌یافته پویا حداقل به سه دلیل نسبت به روش‌های دیگر مناسب‌تر و بهتر هستند. ۱. روش گشتاورهای تعمیم‌یافته امکان استفاده وقفه‌های متغیرها به‌عنوان ابزارهای مناسبی جهت کنترل درون‌زایی را دارد؛ ۲. در روش GMM می‌توان پویایی‌های موجود متغیرها در مدل لحاظ نمود؛ ۳. روش GMM در همه نوع داده اعم از سری زمانی، مقطعی و پانلی قابل استفاده است (بالتاجی ۲۰۰۵)[5]

1. Ordinary least squares
2. Generalized Least Square
3. Arellano & Bond
4. Verbeek (2012)
5. Baltagi (2005)

۵. برآورد مدل و بررسی نتایج

شرط استفاده از متغیرها و برآورد انجام آزمون های ریشه واحد است. مهم‌ترین و پرکاربردترین آزمون‌های ریشه‌واحد برای داده‌های پانلی آزمون‌های ایم، پسران و شین (IPS)[1]، فیشر- دیکی فولر تعمیم‌یافته (ADF)[2] و فیشر- فیلیپس پرون (pp)[3] است. این سه آزمون برای بررسی مانایی متغیرهای موجود درمدل‌ها استفاده شده است. در این آزمون‌ها، روند بررسی وجود ریشه واحد مشابه است و با رد فرضیه H_0 نامانایی رد خواهد شد (شاه آبادی و همکاران، ۱۳۹۷).

ازآنجایی‌که متغیرهای مورد استفاده در تحقیق حاضر از درجات مختلفی I(0) و I(1) ایستا هستند. پس از بررسی مانایی متغیرها از آزمون هم انباشتگی پانلی برای بررسی وجود روابط بلندمدت استفاده می‌شود. چندین آزمون هم انباشتگی داده‌های پانل ازجمله: آزمون کائو[4] پدرونی[5] و فیشر[6] وجود دارد. در این پژوهش از آزمون کائو استفاده شده است؛ استفاده از آزمون پدرونی به دلیل تعداد زیاد متغیرهای مدل و آزمون فیشر به علت ناکافی بودن داده‌ها امکان‌پذیر نیست (علی سوری، ۱۳۹۴). مطابق نتایج جدول (۳) و (۴) فرضیه صفر رد شده است و بین متغیرها، رابطه بلندمدت وجود دارد.

جدول ۳: نتایج آزمون هم‌انباشتگی کائو کشورهای توسعه‌یافته

آماره	مدل شماره ۱	مدل شماره ۲	مدل شماره ۳	مدل شماره ۴
T - Statistic	-۱۵,۳۷	-۸,۵۴	-۹,۰۰	-۸,۷۱
p-value	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)

(مأخذ: محاسبات تحقیق)

جدول ۴: نتایج آزمون هم‌انباشتگی کائو کشورهای درحال توسعه

آماره	مدل شماره ۱	مدل شماره ۲	مدل شماره ۳	مدل شماره ۴
T - Statistic	-۱۵,۲۹	۱۵,۷۳-	۱۶,۸۸-	-۱۷,۱۶
p-value	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)

(مأخذ: محاسبات تحقیق)

برای بررسی معنی‌دار بودن روش داده‌های پانل از آماره آزمون F لیمر[7] مورد استفاده قرار گرفته است. فرضیه H_0 در این آزمون قابلیت تخمین مدل به صورت داده های تلفیقی و فرضیه مقابل یعنی H_1 قابلیت تخمین مدل به صورت داده های پانل می‌باشد. براساس این آزمون ابتدا مدل به صورت

1. Im ; Pesaran and Shin
2. Fisher-Augmented Deyki Fuller
3. Fisher-Phillips Peron
4. Kao
5. Pedroni
6. Fisher
7. Leamer

مقید و در حالت کلی با عرض از مبدأها و شیب‌های مشترک برآورد می‌شود و سپس مجموع مجذورات پسماندهای مقید[1]محاسبه خواهد شد. سپس مدل را به‌صورت نامقید و با فرض عرض از مبدأهای ناهمگن در بین مقاطع و شیب‌های مشترک تخمین زده خواهد شد و مجموع مجذورات پسماند نامقید[2] محاسبه می‌گردد و F محاسباتی را با F جدول مورد مقایسه قرار می‌گیرد ، در صورتی که مقدار F محاسباتی از مقدار F جدول بزرگ‌تر باشد . فرضیه H_0 رد خواهد گردید. در این صورت می‌توان از روش پانل دیتا جهت برآورد مدل می‌توان استفاده نمود (علی سوری، ۱۳۹۴).

جدول۵: نتایج آزمون F لیمر در کشورهای درحال توسعه طی دوره ۲۰۰۰-۲۰۲۰

آماره	مدل شماره ۱	مدل شماره ۲	مدل شماره ۳	مدل شماره ۴
F-Statisti	۱۴,۵۶	۱۰,۷۶	۵,۴۱	۵,۴۲
p-value	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)

(مأخذ: محاسبات تحقیق)

جدول۶: نتایج آزمون F لیمر در کشورهای توسعه‌یافته طی دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۹

آماره	مدل شماره ۱	مدل شماره ۲	مدل شماره ۳	مدل شماره ۴
F-Statisti	۱۴,۹	۱۷,۶۰	۱۵,۱۲۷	۱۵,۰۷
p-value	(۰,۰۴)	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)

(مأخذ: محاسبات تحقیق)

براساس نتایج به‌دست آمده از جدول‌های (۵) و (۶)، باتوجه به اینکه احتمال آماره F تمامی مدل‌ها کمتر از ۰۵٪ می‌باشد، درنتیجه فرضیه صفر رد و مدل به روش داده‌های پانل برآورد خواهد شد.

جدول ۷: نتایج آزمون هاسمن در کشورهای توسعه‌یافته طی دوره ۲۰۰۰-۲۰۲۰

آماره	مدل شماره ۱	مدل شماره ۲	مدل شماره ۳	مدل شماره ۴
Chi-sq. statitic	۱۹,۲۶	۵۳۱,۵۴	۴۶۳,۵۷	۴۶۳,۳۰
p-value	(۰,۰۰۱)	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)

(مأخذ: محاسبات تحقیق)

جدول ۸: نتایج آزمون هاسمن در کشورهای درحال توسعه طی دوره ۲۰۰۰-۲۰۲۰

آماره	مدل شماره ۱	مدل شماره ۲	مدل شماره ۳	مدل شماره ۴
Chi-sq. statitic	۵۲۰,۳۴	۵۴۵,۳۶	۲۴۵,۲۶	۲۴۵,۳۰
p-value	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)

(مأخذ: محاسبات تحقیق)

1. Restrict Residual Sum Squares
2. Un Restrict Residual Sum Squares

مطابق جدول‌های (۷) و (۸) مقدار احتمال آزمون هاسمن[1] محاسبه‌شده در تمامی مدل‌ها، کمتر از ۰/۰۵ است و درنتیجه مدل، دارای اثرات ثابت بر روی مقاطع می‌باشد.

در این پژوهش از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته استفاده شده است. در جداول (۹) و (۱۰) نتایج تخمین چهار مدل آورده شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که پیچیدگی اقتصادی تأثیر مثبت و معناداری برمصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای درحال توسعه و توسعه‌یافته دارد، یک واحد افزایش در ECI باعث افزایش ۰,۰۱۹ یا ۰,۰۱۲ در انرژی‌های تجدیدپذیر می‌شود. نتایج با نتایج مطالعات رفیق و همکاران (۲۰۲۱)، کان و همکاران (۲۰۲۲) و چو و همکاران (۲۰۲۳) مطابقت دارد.

نتایج همچنین نشان می دهد که افزایش پیچیدگی اقتصادی به‌طور قابل‌توجهی مصرف انرژی تجدیدناپذیر و کل را در مورد کشورهای توسعه‌یافته کاهش می‌دهد و برای کشورهای درحال توسعه افزایش می‌دهد. به عبارت دیگر، پیچیدگی اقتصادی برای کشورهای توسعه‌یافته و درحال توسعه نقش تعیین‌کننده‌ای در زمینه مصرف انرژی دارد. می‌توان چنین ارزیابی کرد که اگر پیچیدگی اقتصادی یک واحد افزایش یابد، مصرف انرژی تجدیدناپذیر و کل به ترتیب در کشورهای درحال توسعه حدود ۰,۰۰۹ و ۰,۰۰۴ درصد افزایش و در کشورهای توسعه‌یافته ۰,۰۳۹ و ۰,۱۳۱ درصد کاهش می‌یابد. یافته‌ها و نتایج به‌دست آمده (تأثیر پیچیدگی اقتصادی بر مصرف انرژی کل) برای کشورهای درحال توسعه با مطالعات نواز و همکاران (۲۰۲۰) و عزیزی و همکاران (۱۳۹۸) مطابقت دارد، البته هر دو این مطالعه نمونه مورد بررسی تنها یک کشور درحال توسعه بوده است و نتایج برای کشورهای توسعه‌یافته با مطالعات فانگ و همکاران (۲۰۲۱)، دوگان و همکاران (۲۰۲۲) و کان و همکاران (۲۰۲۲) که برای کشورهای اروپایی یا پیشرفته بررسی کرده‌اند و مطالعاتشان شامل تمام کشورهای توسعه‌یافته نبوده است یکسان است.

همان‌طور که در قسمت مقدمه ذکر شد، پیچیدگی اقتصادی نمایانگرساختار تولیدی پیچیده و مبتنی بر دانش یک کشور معین است که زمان زیادی طول می کشد تا به بلوغ برسد. هنگامی که پیچیدگی اقتصادی افزایش می یابد، استفاده از انرژی تجدیدناپذیر و تخریب محیط زیست ابتدا در یک کشور معین افزایش می یابد. با این‌حال، با افزایش ترجیحات زیست‌محیطی در یک جامعه، بازیگران اقتصادی انرژی خود را با استفاده از عادات انرژی‌های تجدیدناپذیر تغییر می دهند که در نتایج برآورد مدل‌ها همان‌طور که در بالا توضیح داده شد، این مورد کاملا مطابق است.

1. Hausman

جدول ۹: نتایج برآورد مدل کشورهای درحال توسعه طی دوره ۲۰۰۰-۲۰۲۰

نام متغیر	مدل شماره ۱	مدل شماره ۲	مدل شماره ۳	مدل شماره ۴
LREN (-1)	۰,۷۲۸	–	–	–
	(۰,۰۰)	–	–	–
LNREN (-1)	–	۰,۵۰۷	–	–
	–	(۰,۰۰)	–	–
LTEN (-1)	–	–	۰,۵۳۸	۰,۵۳۹
	–	–	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)
LECI	۰,۰۱۹	۰,۰۰۹	۰,۰۰۴	–
	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)	–
LGDP	۰,۲۲۱	۰,۱۰۰	۰,۱۶۵	۰,۱۶۶
	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)
LCO_2	-۰,۵۴۶	۰,۴۱	۰,۰۹۸	۰,۰۹۷
	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)
LOP	۰,۰۳۱	۰,۰۰۶	۰,۰۰۱	۰,۰۰۱
	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)
LGDP*LECI	–	–	–	-۰,۰۰۰۴
	–	–	–	(۰,۰۰)
J-statistic	۶۵,۰۴۶	۵۵,۶۹	۶۰,۰۹۲	۶۲,۸۵۳
	(۰,۲۱)	(۰,۴۴)	(۰,۲۹۶)	(۰,۲۱)
Instrumen rank	۶۲	۶۰	۶۰	۶۰

(مأخذ: محاسبات تحقیق)

(اعداد داخل پرانتز بیانگر p-value است)

طبق نظر سونگ و ژنگ (۲۰۱۲)[1]، درآمد از دو طریق بر مصرف انرژی تأثیر می گذارد. اول اینکه افزایش درآمد باعث افزایش حساسیت اجتماعی در زمینهٔ محیطی می‌شود که منجر به استفاده از فناوری صرفه‌جویی در انرژی در تولید می‌شود. علاوه بر این، مصرف انرژی ممکن است با افزایش درآمد افزایش یابد، زیرا فعالیت‌های اقتصادی برای ایجاد درآمد نیاز به مصرف انرژی دارند که نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که در هر دو دسته کشورهای توسعه‌یافته و درحال توسعه با افزایش درآمد مصرف تمامی انواع انرژی افزایش یافته است که برای انرژی های تجدیدپذیر این نتیجهٔ خوبی است. نتایج به‌دست آمده برای تأثیر درآمد بر انرژی‌های تجدیدپذیر با نتایج مطالعات چو و همکاران (۲۰۲۳)، رفیق و همکاران (۲۰۲۱)؛ و برای تأثیر درآمد بر انرژی های تجدیدناپذیر در کشورهای توسعه‌یافته با مطالعات کان و همکاران (۲۰۲۲)، فانگ و همکاران (۲۰۲۱)، دوگان و همکاران (۲۰۲۲) و همچنین برای تأثیر درآمد بر انرژی های تجدیدناپذیر در کشورهای درحال توسعه با مطالعات نواز و همکاران (۲۰۲۰)، دوگان و همکاران (۲۰۲۲) و عزیزی و همکاران (۱۳۹۸) مطابقت دارد.

1. Song & Zheng(2012)

جدول ۱۰: نتایج برآورد مدل کشورهای توسعه‌یافته طی دوره ۲۰۰۰-۲۰۲۰

نام متغیر	مدل شماره ۱	مدل شماره ۲	مدل شماره ۳	مدل شماره ۴
LREN(-1)	۰,۸۸۰	-	-	-
	(۰,۰۰)	-	-	-
LNREN(-1)	-	۰,۲۸۸	-	-
	-	(۰,۰۰)	-	-
LTEN(-1)	-	-	۰۲۵۱	۰,۲۴۶
	-	-	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)
LECI	۰,۰۱۲	-۰,۳۹	-۰,۱۳۱	-
	(۰,۰۸)	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)	-
LGDP	۰,۱۶۶	۰,۰۵	۰,۱۵۳	۰,۱۷۴
	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)
LCO_2	-۰,۰۶۷	۰,۶۷۴	۰,۴۶۱	۰,۴۶۰
	(۰,۲۴)	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)
LOP	۰,۰۷۲	-۰,۰۸۰	-۰,۰۶۷	-۰,۰۶۷
	(۰,۹۳)	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)	(۰,۰۰)
LGDP*LECI	-	-	-	-۰,۰۱۳
	-	-	-	(۰,۰۰)
J-statistic	۲۸,۰۳۰	۱۴,۷۴	۳۵,۲۵۴	۳۴,۵۰۷
	(۰,۵۱)	(۰,۹۹)	(۰,۲۳۳)	(۰,۲۲۱)
Instrumen rank	۳۴	۳۵	۳۵	۳۴

(مأخذ: محاسبات تحقیق)

(اعداد داخل پرانتز بیانگر p-value است)

نتایج این مطالعه همچنین نشان می‌دهد که انتشار کربن اثر منفی بر انرژی های تجدیدپذیر و اثر مثبت بر انرژی های تجدیدناپذیر دارد و مطابق با یافته‌های رفیق و همکاران (۲۰۲۱) است.

در چهارمین مدل اثرات تعاملی شاخص پیچیدگی اقتصادی بر اثربخشی تولید ناخاص داخلی در کاهش مصرف انرژی کل در هر دو گروه کشورها، سنجش شده است و ضریب منفی و معنادار به‌دست آمده است، یعنی در سطوح بالاتر پیچیدگی رشد اقتصادی باعث کاهش در مصرف انرژی کل می‌شود.

می‌توان گفت علامت این ضریب نشان می‌دهد که اگر رشد اقتصادی، همراه با فناوری بالاتر باشد، می‌تواند به افزایش کمتری در مصرف انرژی منجر شود. با توجه به این نتیجه، پیچیدگی اقتصادی از کانال کاهش ضریب تولید ناخالص داخلی به‌طور غیرمستقیم می‌تواند بر مصرف انرژی اثرگذار باشد و این اثر گذاری برای کشورهای توسعه‌یافته (۰,۰۱۳) بیشتر از درحال توسعه (۰,۰۰۴) است.

در این مطالعه برای بررسی اعتبار ماتریس ابزارها از آزمون سارجنت استفاده شده است. عدم رد فرضیه صفر در آزمون سارجنت نشان‌دهنده عدم همبستگی سریالی و معتبر بودن ابزارها است؛ بنابراین همان‌طور که در هر چهار مدل رگرسیون در هر دو گروه کشورها قابل مشاهده است با توجه

به آماره‌های محاسبه‌شده و میزان معنادار بودن آن‌ها عدم همبستگی ابزارها با اجزای اخلال را نمی‌توان رد کرد، درنتیجه ابزارهای مورد استفاده برای تخمین از اعتبار لازم برخوردار هستند.

۶. نتیجه گیری

در سال‌های اخیر، کشورها با رقابت عظیمی در تولید و صنعتی‌سازی مواجه شده‌اند و همچنین تحت فشار جهانی از سوی تغییرات آب و هوایی و اهداف توسعه پایدار برای ارتقای زیرساخت‌های انرژی‌های تجدیدپذیر و مدیریت انرژی تجدیدناپذیر قرار گرفته‌اند.

همان‌طور که در قسمت مقدمه ذکر شد، پیچیدگی اقتصادی نمایانگرساختار تولیدی پیچیده و مبتنی بر دانش یک کشور معین است که زمان زیادی طول می‌کشد تا به بلوغ برسد. هنگامی که پیچیدگی اقتصادی افزایش می یابد، استفاده از انرژی تجدیدناپذیر و تخریب محیط زیست ابتدا در یک کشور معین افزایش می‌یابد. با این‌حال، با افزایش ترجیحات زیست‌محیطی در یک جامعه، بازیگران اقتصادی انرژی خود را با استفاده از عادات انرژی‌های تجدیدناپذیر تغییر می‌دهند که در نتایج برآورد مدل‌ها همانطور که در این تحقیق توضیح داده شد این موردکاملا مطابق است.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهند پیشرفت فناوری که توسط شاخص پیچیدگی اقتصادی منعکس می‌شود، به‌طور قابل‌توجهی بر توسعهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای درحال توسعه و توسعه‌یافته تأثیر می‌گذارد و همچنین باعث کاهش استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر و مصرف انرژی کل در کشورهای توسعه‌یافته و افزایش استفاده از انرژی های تجدیدناپذیر و مصرف انرژی کل در کشورهای درحال توسعه می‌شود. در این پژوهش در کشورهای درحال توسعه بازبودن تجارت تأثیری مثبت بر مصرف انرژی تجدیدپذیر، مصرف انرژی تجدیدناپذیر و مصرف انرژی کل داشته است. در کشورهای توسعه‌یافته بازبودن تجارت تأثیر مثبت بر مصرف انرژی تجدیدپذیر و تأثیر منفی بر مصرف انرژی تجدیدناپذیر و مصرف انرژی کل داشته است. یعنی در هر دو گروه کشورها باز بودن تجارت و ارتباط تجاری با سایر کشورها منجر به وارد شدن فناوری‌های پیشرفته برای افزایش مصرف انرژی تجدیدپذیر می‌شود. در هر دو گروه کشورها مصارف انواع انرژی با سطح درآمد رابطهٔ مثبت دارد. همچنین یکی از مهم‌ترین نتایج این تحقیق اثرات تعاملی شاخص پیچیدگی اقتصادی بر اثربخشی تولید ناخالص داخلی در کاهش مصرف انرژی کل در هر دو گروه کشورها است. بدین معنا که در سطوح بالاتر پیچیدگی اقتصادی، رشد اقتصادی باعث کاهش کمتر در مصرف انرژی کل می‌شود.

براساس نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که پیچیدگی اقتصادی عاملی سیاستی برای تحول کلی انرژی تجدیدپذیر و تقاضای انرژی سبزتر است. این مطالعه توصیه می‌کند که سیاست‌های پیچیدگی و تغییر ساختاری باید برای رشد پاک‌تر و سبزتر و به‌طور کلی ارتقای انرژی سبزتر در کشورهای درحال توسعه و توسعه‌یافته اجرایی شود.

با توجه به حرکت کشورهای درحال توسعه به سمت توسعهٔ فناوری، نیاز به انرژی در سال‌های پیشِ رو افزایش خواهد یافت. از این‌رو، نیاز است که سیاستگذاران برای تأمین نیازهای انرژی برنامه‌ریزی اتخاذ نمایند. با توجه به محدودیت‌های موجود در استفاده از انرژی‌های فسیلی که عوارضی

همچون آلایندگی محیط زیست و تخلیه منابع را به دنبال دارد، باید برای توسعهٔ انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر سرمایه‌گذاری‌های لازم صورت پذیرد و به‌منظور کاهش مصرف انرژی از سیاست‌های افزایش‌دهنده کارایی انرژی یا جلوگیری از هدررفت آن، به‌ویژه در بخش‌های اقتصادی استفاده شود

در این‌خصوص توصیه می‌شود که باید سطح مصرف انرژی فسیلی در هر صنعت به طور مشخص برآورد شود و بر اساس آن دولت‌ها قوانین خاص هر صنعت را وضع کنند. دوم؛ به واسطه سیاست‌های مربوط به تسهیل تجارت، هزینه واردات تکنولوژی‌های جدید را کاهش دهند یا با تأمین مالی مؤسسات تحقیق و توسعه، هزینهٔ کشف تکنولوژهای جدید را کاهش دهد.

دولت ها باید مقررات انرژی را برای کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی ترویج کنند.

مطالعات آینده می‌توانند تأثیر پیچیدگی اقتصادی بر تقاضای انرژی را از نظر اقتصاد واردکنندهٔ نفت در مقابل صادرکنندهٔ نفت بررسی کنند. بررسی اثرات پیچیدگی اقتصادی بر جنبه‌های مختلف انرژی (به‌عنوان مثال، انرژی برق و هسته‌ای) می‌تواند سوال تحقیقاتی مهمی برای محققانی باشد که در بررسی استراتژی انرژی کار می‌کنند

References

Ahmed, Z., & Le, H. P. (2020). Linking Information Communication Technology, trade globalization index, and CO2 emissions: evidence from advanced panel techniques. *Environmental Science and Pollution Research, 28*(7), 8770–8781. https://doi.org/10.1007/s11356-020-11205-0

Ahmed, Z., Nathaniel, S. P., & Shahbaz, M. (2021). The criticality of information and communication technology and human capital in environmental sustainability: Evidence from Latin American and Caribbean countries. *Journal of Cleaner Production, 286*, 125529. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125529

www.atlas.media.mit.edu Atlas of Economic Complexity (2020). Available online: https://atlas.cid.harvard.edu/countries.

Azizi, Z. (2020), The Threshold Effect of Economic Complexity on Energy Consumption in Iran Using Smooth Transition Regression Model. *Applied Economics Studies*. Iran (AESI) *7*(32).

Baltagi B H, (2005). Econometric Analysis of Panel Data. John Wiley & Sons Ltd, the Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO198SQ, England.

Can, M., & Ahmed, Z. (2022). Towards sustainable development in the European Union countries: Does economic complexity affect renewable and non-renewable energy consumption? *Sustainable Development, 31*(1), 439–451. https://doi.org/10.1002/sd.2402

Can, M., & Doğan, B. (2020). The Effect of Knowledge and Skill-Based Production on Agricultural Employment: An Empirical analysis in the sample of South Korea. In *Springer eBooks* (pp. 223–234). https://doi.org/10.1007/978-981-15-4206-017

Can, M., Doğan, B., & Saboori, B. (2020). Does trade matter for environmental degradation in developing countries? New evidence in the context of export product diversification. *Environmental Science and Pollution Research, 27*(13), 14702–14710.https://doi.org/10.1007/s11356-02008000-2

Caglar A, Yavuz E, Mert M, Kilic E (2022). The ecological footprint facing asymmetric natural resources Challenges: Evidence frome the USA. *Environmental scince and pollution Research, 29*(7), 10521-10534.

Chu, L. K., Ghosh, S., Doğan, B., Nguyen, N. H., & Shahbaz, M. (2023). Energy security as new determinant of renewable energy: The role of economic complexity in top energy users. *Energy, 263*, 125799. https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125799

Doğan, B., Ghosh, S., Shahzadi, I., Balsalobre-Lorente, D., & Nguyen, C. P. (2022). The relevance of economic complexity and economic globalization as determinants of energy demand for different stages of development. *Renewable Energy, 190*, 371-384. https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.117

Doğan, B., Ghosh, S., Hoang, D. P., & Chu, L. K. (2022). Are economic complexity and eco-innovation mutually exclusive to control energy demand and environmental quality in E7 and G7 countries? *Technology in Society, 68*, 101867. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101867

Eren, B. M., Taspinar, N., & Gokmenoglu, K. K. (2019). The impact of financial development and economic growth on renewable energy consumption: Empirical analysis of India. *Science of the Total Environment, 663*, 189–197. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.323

Fang, J., Gozgor, G., Mahalik, M. K., Padhan, H., & Xu, R. (2021). The impact of economic complexity on energy demand in OECD countries. *Environmental Science and Pollution Research, 28*(26), 33771–33780. https://doi.org/10.1007/s11356-020-12089-w

Hausmann, R.; Hidalgo, C. A.; Bustos, S.; Coscia, M.; Simoes, A., & Yildirim, M. A. (2014). *The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity*. MIT Press.

Gozgor, G., Lau, C. K. M., & Lu, Z. (2018). Energy consumption and economic growth: new evidence from the OECD countries. *Energy, 153*, 27–34. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.158

IEA. 2019. Global energy & CO2 status report: The latest trends in energy and emissions in 2018. IEA Publications

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. https://doi.org/10.3390/su11020497

Nawaz, K., Lahiani, A., & Roubaud, D. (2020). Do natural resources determine energy consumption in Pakistan? The importance of quantile asymmetries. *The Quarterly Review of Economics and Finance. In press*. https:// doi.org/10.1016/j.qref.2020.10.003.

Shah abadi, A., Arghand, H. (2018). The Impact of Economic Complexity (ECI) on Social Welfare in Selected Developing Countries. *Business Journal, 23*(89), 89-122. [In persian]

Shahmoradi B, (2018). Atlas of Economic Complexity, First edition, Commercial Printing and Publishing Company. [In persian]

Sori, A., (2016). Econometrics (advanced) with the application of Eviews & Stata, 5th edition. *cultural publication*. [In persian]

Saeedi, R., Nessabian, Sh., Moghaddasi, R., Damankeshideh M (2022). Economic Complexity and Fossil Energy Consumption: An Empirical Analysis for Iranian Provinces. *Journal of Economic Research, 22(85)*, 155-188. [In persian]

Rafique, M. Z., Doğan, B., Husain, S., Huang, S., & Shahzad, U. (2021). Role of economic complexity to induce renewable energy: contextual evidence from G7 and E7 countries. *International Journal of Green Energy, 18*(7), 745–754. https://doi.org/10.1080/15435075.2021.1880912

UN. Country classification. Retrieved. 2020. from, http://www.un.org/en/ development/desa/policy/wesp/wesp_current/20202wesp_country_ classification.pdf

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. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.04.

Verbeek Marno (2012), A Guide to Modern Econometrics, 4nd edition

WB. World development indicators. Online database, World Bank. 2020. Retrieved from, https://data.worldbank.org/indicator

Zoundi, Z. (2017). CO2 emissions, renewable energy and the Environmental Kuznets Curve, a panel cointegration approach. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, *72*, 1067–1075. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.018

Zobiri, H., Motmani, M., (2020). Human capital and economic complexity in Iran. *Economic Research Quarterly (Sustainable Growth and Development), 20(*3), 145-166. [In persian]

Zobiri, H., & Ghafarinia, H., Seyedah Sahar, 2020. economic complexity and energy consumption (a case study of selected countries using the GMM method). the first international conference of the Laboratory of Management and Innovative Approaches in Management and Economics. [In persian]

Zeren, F., & Akkuş, H. T. (2020). The relationship between renewable energy consumption and trade openness: new evidence from emerging economies. *Renewable Energy, 147*, 322–329. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.006

Quarterly Journal of The Economic Research (Sustainable Growth and Development)
Original Research Article/ Vol.24, No.2, Summer 2024, pp: 91-114

Economic Complexity, Renewable and Non-renewable Energy Consumption A Comparative Study of Developed and Developing Countries

Najme Mohammadi[1]
Bahram Sahabhi[2]
Hassan Heydari[3]
Hossein Sadeghi Saqdel[4]

Received: 2023/06/13 Accepted: 2023/08/28

Introduction
Economic complexity is an index that has been raised in the last decade and indicates the use of technology in the process of producing goods and services of a country, which leads to increased economic growth and prosperity by creating a productive structure in the composition, increased productivity and diversity of manufactured products. Economic complexity is expected to affect energy consumption because the type of products produced is an important determinant of energy consumption. If countries operate in energy-intensive industries such as metals, chemicals, and forest products, energy consumption will be high, and if they specialize in low energy and highly complex products, energy consumption in these countries will decrease. In addition, the level of technological knowledge of countries can significantly affect energy efficiency. Therefore, in this research, the effects of economic complexity and economic growth on renewable, non-renewable and total energy consumption in developing and developed countries in the period of 2000-2020 have been investigated by GMM method.

Methodology
GMM estimator is a subset of instrumental variable method estimators. In this method, in addition to solving the problem of correlation of the independent variable with disturbance components, the endogeneity of the variables and the heterogeneity of the variance of the model are also solved. It should be noted that this method is applicable when T is smaller than N (number of segments).

Results
The results of this research show that the economic complexity index affects the development of renewable energy in developing and developed countries and also causes a decrease in the use of non-renewable energy and total energy consumption in developed countries and an increase in the use of non-renewable and total energy consumption in developing countries. It is currently being developed. In this research, the opening of trade has had a positive effect on the

1. PhD student in Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: n.mohamadi@modares.ac.ir
2. Associated Professor, Faculty of Management and Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (Corresponding Author). Email: Sahabi_h@modares.ac.ir
3. Assistant Professor of Economics Department, Faculty of Management and Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: hassan.heydari@modares.ac.ir
4. Assistant Professor of Economics Department, Faculty of Management and Economics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: sadeghih@modares.ac.ir

consumption of renewable energy in both groups of countries, and in developed countries, the opening of trade has reduced the consumption of non-renewable and total energy, and in developing countries, the opposite result has been obtained. In both groups of countries, energy consumption has a positive relationship with income level. Also, the results show that if economic growth is accompanied with higher technology, it can lead to a lower increase in total energy consumption in both groups of countries.

Conclusion and Discussion

As mentioned in the introduction, economic complexity represents a complex and knowledge-based production structure of a given country that takes a long time to mature. When economic complexity increases, the use of non-renewable energy and environmental degradation increases first in a given country. However, with the increase of environmental preferences in a society, the economic actors change their energy by using non-renewable energy habits. This is completely consistent with the results of the estimation models as explained above. Based on the obtained results, it can be said that economic complexity is a policy factor for the overall transformation of renewable energy and demand for greener energy. The study recommends that complexity and structural change policies should be implemented for cleaner and greener growth and overall promotion of greener energy in developing and developed countries. Due to the movement of developing countries towards the development of technology, the need for energy will increase in the coming years. Hence, there is a need for policymakers to plan to meet energy needs. Considering the existing limitations in the use of fossil energy, which leads to complications such as environmental pollution and resource depletion, necessary investments should be made for the development of clean and renewable energy. In order to reduce energy consumption, policies that increase energy efficiency or prevent any form of waste should be formulated, especially in economic sectors. In this regard, Can and Guzgur recommend that the level of fossil energy consumption in each industry should be clearly estimated and based on that, governments should establish specific laws for each industry. Through developing policies related to trade facilitation, they should also reduce the cost of importing new technologies, or decrease the cost of discovering new technologies via financing research and development institutions. Governments should promote energy regulations to reduce fossil fuel dependence and energy intensity. Future studies could examine the impact of economic complexity on energy demand in terms of oil-importing versus oil-exporting economies. Examining the effects of economic complexity on different aspects of energy (e.g., electric and nuclear energy) can be an important research question for researchers working on energy strategy.

Keywords: Economic Complexity, Renewable Energy Consumption, Non-renewable Energy Consumption, Developed Countries, Developing Countries
JEL Classification: O31, Q56, Q54