

تجزیه مصرف انرژی و عوامل مؤثر بر آن در ایران و کشورهای منتخب

رضامحسینی*

میثم کاکاوند**

چکیده

انرژی نقشی مهمی در زندگی فعالان اقتصادی دارد و چنین نقشی کشورها را بر آن داشته است که از دهه‌های قبل برای تأمین امنیت انرژی عرضه را افزایش دهند. از دهه ۷۰ میلادی تدابیر اتخاذشده در طرف عرضه انرژی دیگر کافی نبود و نگاه‌ها متوجه طرف تقاضای انرژی شد؛ بنابراین کنترل تقاضا و مصرف هدفمند انرژی آغاز گشت. «روش تجزیه» از روش‌های بررسی عوامل مؤثر بر مصرف انرژی است. در این روش، تغییرات مصرف انرژی به سه اثر «تولیدی»، «ساختاری» و «شدتی» تقسیم می‌شود. در انتخاب کشورهای منتخب ساختار اقتصادی و موقعیت جغرافیایی آن‌ها در نگاه نخست متفاوت به نظر می‌رسد؛ اما این کشورها در استفاده از یک شاخص ترکیبی متشکل از شدت انرژی و درجه آزادی اقتصادی شبیه به یکدیگر هستند. در واقع همه آن‌ها در گروه کشورهای با درجه آزادی اقتصادی پایین و شدت مصرف انرژی بالا قرار می‌گیرند و از این حیث مبنایی برای مقایسه دارند.

نتایج این مطالعه نشان داده است که تجزیه مصرف انرژی در کشورهای منتخب، شامل ایران، چین، روسیه و آفریقای جنوبی، اثر تولیدی، شدتی و ساختاری به ترتیب مهم‌ترین نقش را در توضیح تغییرات مصرف انرژی در این کشورها دارد. همچنین بر اساس بررسی شدت انرژی در کشورهای منتخب با استفاده از مدل پانل شدت انرژی با قیمت حامل‌های انرژی و ارزش افزوده رابطه منفی و با مصرف انرژی، تشکیل سرمایه و نیروی کار شاغل رابطه مثبت و معنی‌داری داشته است.

واژه‌های کلیدی: مصرف انرژی، شدت انرژی، روش تجزیه، الگوی پانل

JEL: Q۴۰, Q۴۱, Q۴۸, C۳۳, C۲۳, C۰۱, طبقه‌بندی

* استادیار، عضو هیات علمی دانشکده اقتصاد و علوم سیاسی، دانشگاه شهید بهشتی (نویسنده مسئول)
re_mohseni@sbu.ac.ir

** کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی سیستم‌های اقتصادی، دانشکده اقتصاد و علوم سیاسی، دانشگاه شهید بهشتی
meysamkavand69@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۰۸

فصلنامه راهبرد اقتصادی، سال ششم، شماره بیست و دوم، پاییز ۱۳۹۶، صص ۱۶۸-۱۳۷

مقدمه

در دنیای امروز، انرژی نقش برجسته‌ای را در زمینه‌های مختلف اقتصادی و سیاسی ایفا می‌کند؛ نقشی که بسیاری از کشورها را گرفتار اقتصاد تک‌محصولی و عوارض ناشی از آن و برخی دیگر را دچار مشکلات هزینه‌ای ناشی از افزایش قیمت انرژی کرده است و در نگاهی کلان‌تر، حتی مناسبات و مناقشات کشورها را در سطح بین‌الملل متأثر ساخته است.

وابستگی روزافزون بشر به انرژی موجب شده که این عامل به‌طور بالقوه و بالفعل در کارکرد بخش‌های مختلف اقتصادی کشورها نقش بسیار مهمی ایفا کند؛ از این‌رو کشورها در راستای مدیریت مصرف انرژی حرکت می‌کنند. در ایران اما بیشتر تمرکز روی بخش مدیریت عرضه انرژی بوده و کمتر به مدیریت سمت تقاضای انرژی توجه شده است که این عامل باعث گشته مصرف انرژی در ایران بسیار بالاتر از متوسط مصرف جهانی آن باشد. البته با توجه به مواهب خدادادی عظیم در حوزه ذخایر نفتی و گازی در ایران، شاید بخشی از این نگاه قابل توجیه باشد؛ اما رشد روزافزون مصرف انرژی در ایران به حدی است که نه تنها ذخایر ایران را با تهدید مواجه می‌کند، بلکه ادامه این روند می‌تواند کشور را از صادرکننده انرژی، به واردکننده آن تبدیل نماید. در ایران بیش از ۹۰ درصد مصرف انرژی از منابع هیدروکربنی نفت و گاز تأمین می‌شود (ترازنامه انرژی ۱۳۹۶) که با توجه به روند مصرف انرژی در سالیان اخیر و رشد بالای شدت انرژی در بخش‌های مختلف مصرف، با هدف منطقی کردن مصرف انرژی و ایجاد توسعه پایدار و همچنین کاهش پرداخت یارانه‌های سنگین برای حامل‌های انرژی،

باید توجه ویژه‌ای به برنامه‌ریزی در زمینه مدیریت مصرف انرژی صورت گیرد. بر همین اساس جوامع به دنبال راهکارهایی هستند تا مصرف انرژی را بدون آسیب به روند رشد اقتصادی‌شان به‌درستی مدیریت کنند و کشورهای توسعه‌یافته دهه‌ها است که این سیاست‌ها را پیگیری می‌نمایند. بر همین اساس تحقیق حاضر به دنبال پاسخ به این پرسش است که «مصرف انرژی در کشورهای منتخب از چه منبعی منبث شده و چطور تغییرات قیمت حامل‌های انرژی بر مصرف انرژی تأثیر می‌گذارد». هدف از طرح این پرسش و پاسخ ارائه راهکارهایی برای کنترل و کاهش مصرف انرژی با وجود کاهش نیافتن تولید ناخالص داخلی کشورها است. بر این اساس در ادامه ابتدا مبانی نظری و شواهد تجربی تحقیق ارائه و سپس تجزیه مصرف انرژی در ایران و کشورهای منتخب ارزیابی می‌شود. پس از آن مدل بررسی شدت مصرف انرژی برآورد شده، در بخش آخر نتیجه‌گیری ارائه می‌گردد.

۱. مبانی نظری و شواهد تجربی

بین تقاضای انرژی و تابع تولید (ارزش افزوده) رابطه متقابل و دوطرفه‌ای وجود دارد و هرکدام به‌عنوان متغیری اثرگذار در مقدار دیگری نقش آفرینی می‌کنند. چنین ارتباطی می‌تواند از طریق آزمون‌های مختلف بررسی شود؛ اما در نظریه‌ها به لحاظ رفتاری تعریف شده است. نمونه‌ای از این ارتباط را می‌توان در توابع رفتاری تولید مشاهده کرد که انرژی به‌عنوان یک نهاده در آن وارد و از تابع تولید برای تعیین تقاضای مشتق شده انرژی استفاده می‌شود (عباسی‌نژاد و وافی‌نجر، ۱۳۸۳).

بعد از بحران نفتی ۱۹۷۰، اهمیت انرژی در کنار کار و سرمایه به‌عنوان عامل تولید، در بحث‌های اقتصاد کلان مطرح شد؛ به‌طوری‌که انرژی نقش مهمی را در زنجیره عرضه، هم به‌عنوان کالای نهایی برای استفاده‌کنندگان و هم به‌عنوان نهاده در فرایند تولید پیدا کرد. در مطالعه‌ای که به‌وسیله آژانس بین‌المللی انرژی در سال ۲۰۰۳ انجام گرفت، در طول دوره ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۰، انرژی به‌عنوان مهم‌ترین عامل در تولید محصولات در کشورهای درحال توسعه نسبت به سایر عوامل تولید یعنی نیروی کار و سرمایه ایفای نقش می‌کند. در الگوهای جدید رشد، عامل انرژی نیز وارد تابع تولید و عوامل مؤثر بر رشد اقتصادی شده است؛ ولی اهمیت آن در

مدل‌های مختلف یکسان نیست.

«دپره و وست (۱۹۷۲)»^۱، «موریسن و ردلینگ (۱۹۶۸)»^۲ مطالعات اولیه‌ای را انجام داده‌اند که در آن‌ها صرفاً به سطح تولید (بخشی یا کلی) توجه دارند و آن را عامل مؤثر در تقاضای انرژی در نظر می‌گیرند. در این مطالعات فرض بر آن بوده است که قیمت‌های عوامل تولید در برآورد تابع تقاضای انرژی هیچ نقشی ندارد؛ اما مطالعات «آندرسن (۱۹۷۱)»^۳، باکسترو ریز (۱۹۶۸)؛^۴، مانت، چاپمن و تریل (۱۹۷۳)»^۵ تابع تقاضای انرژی را با توجه به تغییرات قیمت انرژی و همچنین امکان جانشینی انواع مختلف سوخت‌ها نشان داده و نقش قیمت‌های دیگر عوامل تولیدی سرمایه و نیروی کار و مواد اولیه را نادیده گرفته‌اند. همچنین مطالعاتی نیز بعدها «برندت و وود (۱۹۷۵)»^۶ در مورد تقاضای انرژی در آمریکا و «سدایو و همکاران (۱۹۸۷)»^۷، «گریفین و گریگوری (۱۹۷۶)»^۸، «پندیک (۱۹۷۹)»^۹ هودسن و جورگنسون (۱۹۷۴)»^{۱۰} انجام شد که کشش‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت انرژی را در کشورهای مختلف بررسی کرده‌اند. از دیدگاهی دیگر در رابطه با نقش انرژی در تولید می‌توان استنباط کرد، سطح درآمدی که هر واحد تولیدی یا کل اقتصاد می‌تواند تولید کند، به موجودی سرمایه قابل لمس، مقدار سرمایه انسانی نهفته در نیروی کار، کمیت و کیفیت منابع طبیعی و سطوح تکنولوژی در آن واحد یا کل اقتصاد بستگی دارد؛ رابطه میان به‌کارگیری این عوامل تولید و درآمد، «تابع تولید» نام دارد.

در مدل‌های بیوفیزیکی که توسط «آیرس و نایر (۱۹۸۴)»^{۱۱} به نقل از

-
۱. Dupre and West (۱۹۷۲)
 ۲. Morrison and Reading (۱۹۶۸).
 ۳. Andersen (۱۹۷۱)
 ۴. Baxter and Rees (۱۹۶۸)
 ۵. Mount, Chapman and Tyrell (۱۹۷۳)
 ۶. Berndt & Wood (۱۹۷۵)
 ۷. Siddayao, et al (۱۹۸۷)
 ۸. Griffin and Gregory (۱۹۷۶)
 ۹. Pindyck (۱۹۷۹)
 ۱۰. Hudson and Jorgenson (۱۹۷۴)
 ۱۱. Ayres and Nair (۱۹۸۴)

«استرن (۲۰۰۴)»^۱ بیان شد، انرژی تنها عامل و مهم‌ترین عامل تولید و رشد اقتصادی بوده است و عوامل دیگر نظیر کار و سرمایه عوامل واسطه‌ای هستند که برای به‌کارگیری به انرژی نیاز دارند. «برنت و وود» (۱۹۷۵) در مطالعات تجربی خود استدلال کردند که در تابع تولید کل، انرژی یک عامل تولیدی است که ارتباط جداپذیر ضعیفی با نیروی کار دارد. تابع پیشنهادی آن‌ها به فرم $Q_t = F[g(K, E), L]$ است که در این تابع پیشنهادی، انرژی مستقیماً وارد نمی‌شود؛ بلکه ابتدا با سرمایه ترکیب می‌شود و عامل تولید g را می‌سازد، سپس عامل g به همراه عامل کار، محصول را ایجاد می‌کند (ابراهیمی و جبدورقی، ۱۳۹۱). در بررسی تغییرات مصرف انرژی دانستن منشأ و عامل این تغییر بسیار مهم است؛ چراکه هر عامل، سیاست و تدابیر مخصوص به خود را می‌طلبد. به‌طور کلی در چند دهه گذشته برای بررسی عوامل مؤثر بر تقاضای مصرف انرژی از دو رویکرد متفاوت استفاده شده است: نخست «تحلیل تجزیه ساختاری»^۲ (جدول داده- ستانده) (SDA) و دیگری «تحلیل تجزیه شاخص»^۳ (IDA) است.

در این مقاله برای بررسی تغییرات مصرف انرژی از تحلیل تجزیه شاخص بهره برده خواهد شد. روش‌های تجزیه شاخص یا مجزاسازی شاخص به شکل وسیعی در تحلیل‌های عددی (فاکتوریال)، برای بررسی تغییرات یک متغیر در طول زمان به کار برده می‌شوند. بر اساس این روش تغییر در کل مصرف انرژی در دوره مورد مطالعه به مجموع سه اثر ساختاری، تولیدی و شدت خالص تجزیه می‌شود. در ادامه برخی از مطالعات داخلی و خارجی در این حوزه مرور می‌گردد. «اقبال و همکاران» (۱۳۹۳)، در مطالعه‌ای شدت مصرف انرژی را در کشورهای نفتی، شامل ۲۱ کشور بزرگ تولیدکننده نفتی و غیرنفتی، ۲۱ کشور در حال گذار که اقتصادشان وابستگی کمتری به نفت دارد، بررسی و در آن تأثیر متغیرهای قیمت انرژی (نفت)، تولید ناخالص داخلی، نرخ ارز، میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن، جمعیت، مساحت سرزمین و بهره‌وری را با استفاده از مدل

۱. Stern (۲۰۰۴)

۲. Structural Decomposition Analysis

۳. Index Decomposition Analysis

اقتصادسنجی داده‌های پانل طی دوره ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۹ ارزیابی کرده‌اند. بر طبق نتایج این مطالعه در هر دو گروه مورد بررسی، متغیرهای جمعیت و مساحت سرزمین رابطه مثبت و معنی‌داری با شدت مصرف انرژی دارند و متغیر تولید ناخالص داخلی نیز با شدت مصرف انرژی رابطه منفی دارد. متغیر نرخ ارز با شدت مصرف انرژی در کشورهای نفتی رابطه مثبت، اما در کشورهای غیرنفتی رابطه منفی دارد. «محسنی و همکاران» (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای به بررسی عوامل مؤثر بر تجزیه

مصرف انرژی در بخش حمل‌ونقل ایران طی دوره زمانی ۱۳۹۰-۱۳۵۵ مبتنی بر روش «SVAR» پرداخته‌اند. نتایج تجزیه مصرف انرژی در بخش حمل‌ونقل ایران نشان می‌دهد که اثر تولیدی، شدتی و ساختاری به ترتیب مهم‌ترین نقش را در توضیح تغییرات مصرف انرژی در این بخش دارند. برآورد مدل شدت انرژی در بخش حمل‌ونقل نشان داد که در کوتاه‌مدت متغیرهای شدت انرژی، مصرف انرژی، قیمت حامل‌های انرژی، تشکیل سرمایه، نیروی کار شاغل و ارزش افزوده به ترتیب بیشترین سهم را در توضیح شدت انرژی به خود اختصاص داده‌اند و در بلندمدت متغیرهای قیمت حامل‌های انرژی، ارزش افزوده، نیروی کار شاغل، مصرف انرژی، شدت انرژی و تشکیل سرمایه بیشترین سهم را در توضیح شدت انرژی دارند. در کوتاه‌مدت شدت انرژی با مقادیر خود این متغیر، ارزش افزوده، تشکیل سرمایه، نیروی کار شاغل و قیمت حامل‌های انرژی دارای رابطه مثبت و با مصرف انرژی دارای رابطه منفی است. در بلندمدت شدت انرژی با خود این متغیر رابطه مثبت داشته، با متغیرهای مصرف انرژی، ارزش افزوده، تشکیل سرمایه، نیروی کار شاغل و قیمت حامل‌های انرژی رابطه منفی دارد.

«حیدری و صادقی» (۱۳۹۸) در پژوهشی به بررسی عامل اصلی هدایت‌کننده شدت انرژی ایران و کشورهای منتخب طی دوره زمانی ۲۰۱۵-۱۹۹۰ با استفاده از رویکرد تجزیه و با تمرکز بر زیرساخت اقتصادی و نهادی می‌پردازد. لذا بر اساس نمونه‌ای از کشورها شامل انگلستان، آلمان، ژاپن، ترکیه، عربستان، چین، ایران و روسیه بر اساس شاخص‌های کلان اقتصادی و نهادی گروه‌بندی شده‌اند. نتایج حاصل از تجزیه تغییرات شدت انرژی با استفاده از «شاخص ایدئال فشر» برای

کشورهای گروه نخست که از شاخص‌های کلان اقتصادی و سطوح کیفیت نهادی برخوردارند، شامل آلمان، انگلستان و ژاپن، عامل اصلی هدایت‌کننده تغییرات شدت انرژی، بهبود کارایی است. در مقابل کشورهای گروه دوم (شاخص کیفیت نهادی متوسط) شامل ترکیه و عربستان و گروه سوم (شاخص کیفیت نهادی پایین) رفتار شدت انرژی متفاوتی دارند. در ترکیه در بیشتر سال‌ها، بهبود کارایی در مصرف انرژی به‌عنوان اثر غالب در توضیح تغییرات شدت انرژی بوده، اما در عربستان تغییرات ساختاری در جهت فعالیت‌های انرژی‌بر، اثر بهبود کارایی را خنثی کرده است. همچنین دو کشور روسیه و ایران، عامل اصلی در توضیح تغییرات شدت انرژی، عدم کارایی بود؛ اما در کشور چین، بهبود کارایی هدایت‌کننده اصلی کاهش شدت انرژی نسبت به سال پایه است.

«شی و پلنسک»^۱ (۲۰۰۵)، در مطالعه‌ای برای کشور چین در سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۰۱ با استفاده از مدل تعدیل جزئی پویا و مدل بهینه‌سازی پویا نشان داده‌اند که قیمت انرژی اثر منفی و قیمت سایر نهاده‌ها و GDP اثر مثبت بر شدت انرژی در این کشور داشته است. متغیرهای به کار گرفته شده در مدل آن‌ها تولید ناخالص داخلی، قیمت انرژی، قیمت نهاده‌های غیر انرژی، نیروی کار و سرمایه است.

«فیشر واندن»^۲ (۲۰۱۳)، در مطالعه‌ای به بررسی عوامل مؤثر بر شدت مصرف انرژی در چهار صنعت کاغذ، سیمان، فولاد و آلومینیوم طی سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۰۴ در کشور چین پرداختند. برخی از نتایج این مطالعه حاکی از آن است که تجارت باز و پیشرفت تکنولوژی به کاهش شدت مصرف انرژی در یک یا دو صنعت منجر می‌شود و افزایش قیمت‌های انرژی اثر قابل توجهی در کاهش شدت مصرف انرژی در هر چهار صنعت داشته است.

«بخت و عبدالله»^۳ (۲۰۱۷)، در مطالعه‌ای تغییرات شدت انرژی در مالزی را بررسی کرده‌اند. این دو محقق با به‌کارگیری روش تجزیه ساختاری طی دوره زمانی ۲۰۱۰-۲۰۰۵، چهار عامل ترکیب انرژی، کارایی بخشی انرژی، ساختار

۱. Shi X., Polenske K.R.

۲. Fisher- vanden

۳. Bekhet & Abdullah

تولید و ساختار تقاضای نهایی را مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد شدت مصرف انرژی طی دوره مورد بررسی اندکی کاهش یافته است.

«ازکان و ازکان»^۱ (۲۰۱۸)، در مطالعه‌ای به بررسی کارایی انرژی و عملکرد اقتصادی در کشورهای گروه ۲۰ طی بازه زمانی ۲۰۱۲-۱۹۹۲ پرداخته‌اند. بر طبق نتایج این تحقیق سه متغیر مصرف انرژی، تولید ناخالص داخلی سرانه و شدت انرژی رابطه علی و بلندمدت دارند؛ اما رابطه علی از شدت صرف انرژی و تولید ناخالص ملی سرانه یک طرفه بوده و رابطه عکس آن تأیید نشده است.

«سمرقندی»^۲ (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای شدت انرژی و عوامل مؤثر آن را در کشورهای عضو اوپک با استفاده از روش پانل ARDL در دامنه زمانی ۲۰۱۶-۱۹۹۰ بررسی و نتیجه‌گیری کرده است که باز بودن تجاری در این گروه از کشورها به کاهش شدت انرژی منجر می‌شود. از طرف دیگر نوآوری‌های تکنولوژی داخلی در این گروه از کشورها اثر مبهم و در برخی موارد اثر غیر معنی‌دار بر شدت انرژی دارد. همچنین افزایش قیمت انرژی در این گروه از کشورها موجب افزایش شدت انرژی می‌گردد.

۲. روش‌های تجزیه

انتخاب تکنیک تجزیه، به ویژگی‌های مطالعه و داده‌های در دسترس بستگی دارد. مهم‌ترین این تکنیک‌ها رویکرد تحلیل تجزیه شاخص بر پایه شاخص «لاسپیرز»^۳ و رویکرد تحلیل تجزیه شاخص بر پایه «دیویژیا»^۴ است. هر یک از این روش‌ها می‌توانند با روش جمعی و ضربی انجام شوند که در نتیجه روش‌های متعددی برای انجام تجزیه در دسترس قرار می‌گیرد.

۲-۱. روش لاسپیرز

اگر E مصرف انرژی، I شدت انرژی، A تولید و S نسبت سرمایه به نیروی کار و

۱. Kivılcım METİN ÖZCAN & Ayşegül UÇKUN ÖZKAN

۲. Samargandi

۳. Laspeyres

۴. Divisia

نشان‌دهنده تغییرات ساختار باشد، رابطه زیر رابطه اصلی و اساسی روش تجزیه، بر مبنای شاخص لاسپیرز، برای تحلیل عوامل تغییرات مصرف انرژی در یک بخش است (Metcalf, ۲۰۰۸):

$$(\Delta E = (At - A_0) \sum_{i=1}^n Ii_0 * Si_0 + At \sum_{i=1}^n Ii_0 * (Sit - Si_0) + At \sum_{i=1}^n (Iit - Ii_0) * Sit) \quad (۱)$$

این رابطه از سه جزء به شرح زیر تشکیل شده است:

$$Aeffect: \Delta E = (At - A_0) \sum_{i=1}^n Ii_0 * Si_0 \quad (۲)$$

$$Seffect: \Delta E = At \sum_{i=1}^n Ii_0 * (Sit - Si_0)$$

$$Ieffect: \Delta E = At \sum_{i=1}^n (Iit - Ii_0) * Sit$$

در واقع رابطه بیان می‌کند که کل تغییرات مصرف انرژی در بخش، بین دو مقطع زمانی، ناشی از سه نوع اثر تولیدی، ساختاری و شدتی است. روابط مربوط به اثرات تولیدی، ساختاری و شدتی را می‌توان با استفاده از عملیات جبری به صورت روابط زیر هم نوشت که نتیجه یکسانی خواهد داشت:

$$Aeffect: Et = At * \sum_{i=1}^n Si_0 * Ii_0 - E_0 \quad (۳)$$

$$Seffect: Et = A_0 * \sum_{i=1}^n Sit * Ii_0 - E_0$$

$$Ieffect: Et = A_0 * \sum_{i=1}^n Si_0 * Iit - E_0$$

همان‌طور که پیشتر عنوان شد، برای هریک از روش‌های تجزیه می‌توان صورت ضربی را نیز در نظر گرفت. روابط مربوط به آثار مختلف برای روش لاسپیرز ضربی به صورت زیر خواهد بود:

$$Aeffect: Et = \frac{At * \sum_{i=1}^n Si_0 * Ii_0}{E_0} \quad (۴)$$

$$Seffect: Et = \frac{A_0 * \sum_{i=1}^n Sit * Ii_0}{E_0}$$

$$Ieffect: Et = \frac{A_0 * \sum_{i=1}^n Si_0 * Iit}{E_0}$$

۲-۲. روش میانگین لگاریتمی دیویژیا I (LMD-I)

اگر متغیرهای پیش‌گفته برای روابط زیر برقرار باشند، روابط مربوط به اثرهای تولیدی، ساختاری و شدتی در روش LMD-I با رویکرد جمعی به صورت زیر خواهند بود:

$$Aeffect: Et = \sum_{i=1}^n L(Eit, Ei_0) * \ln\left(\frac{Ait}{Ai_0}\right) \quad (5)$$

$$Seffect: Et = \sum_{i=1}^n L(Eit, Ei_0) * \ln\left(\frac{Sit}{Si_0}\right)$$

$$Ieffect: Et = \sum_{i=1}^n L(Eit, Ei_0) * \ln\left(\frac{Iit}{Ii_0}\right)$$

که در آن $L(a, b)$ برابر است با:

$$L(a, b) = \frac{a-b}{\ln a - \ln b} \quad b > 0 \text{ و } a \neq b \quad (6)$$

همچنین روابط مربوط به اثرهای تولیدی، ساختاری و شدتی در روش LMD-I با رویکرد ضربی به صورت زیر هستند:

$$Aeffect: Et = \exp \sum_{i=1}^n \left(\frac{L(Eit, Ei_0)}{L(Et, E_0)} * LN\left(\frac{Ait}{Ai_0}\right) \right) \quad (7)$$

$$Seffect: Et = \exp \sum_{i=1}^n \left(\frac{L(Eit, Ei_0)}{L(Et, E_0)} * LN\left(\frac{Sit}{Si_0}\right) \right)$$

$$Ieffect: Et = \exp \sum_{i=1}^n \left(\frac{L(Eit, Ei_0)}{L(Et, E_0)} * LN\left(\frac{Iit}{Ii_0}\right) \right)$$

۳. تجزیه مصرف انرژی در کشورهای منتخب با استفاده از روش لاسپیرز

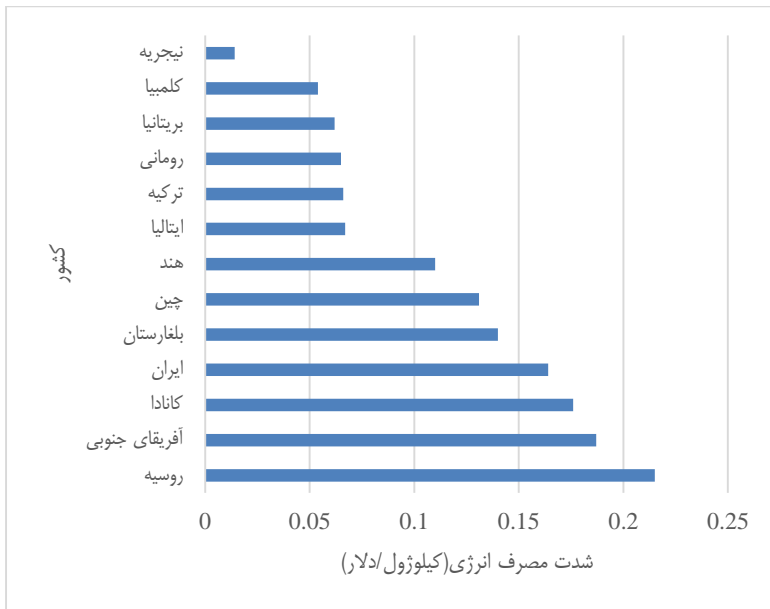
در این بخش ابتدا شرح متدولوژی انتخاب کشورهای منتخب و سپس تجزیه مصرف انرژی برای این کشورها انجام شده، نتایج گزارش می‌گردد.

۳-۱. متدولوژی انتخاب کشورهای منتخب

در این مقاله انتخاب کشورها جهت مطالعه بر اساس مقایسه و دسته‌بندی آن‌ها برحسب شاخص‌های اصلی و تکمیلی صورت گرفته است. شاخص اصلی انتخاب کشورها شدت مصرف انرژی است. شاخص تکمیلی مورد توجه در انتخاب کشورها، وضعیت و ساختار اقتصادی آن‌ها است. شاخص درجه آزادی اقتصادی کشورها که توسط بنیاد «هریتیج»^۱ منتشر می‌شود، جهت شناخت وضعیت و ساختار اقتصادی و اجتماعی کشورها مناسب است؛ چراکه شاخص آزادی اقتصادی هریتیج از حدود ۵۰ متغیر مستقل اقتصادی که در ۱۰ شاخص دسته‌بندی شده‌اند، محاسبه و ارائه می‌شود و متغیرهای به‌کاررفته در این شاخص در بسیاری

موارد در مطالعات مرتبط با شدت انرژی، از جمله مطالعات اشاره شده در تحقیق حاضر، به عنوان عوامل اثرگذار در شدت انرژی به کار گرفته شده‌اند. شاخص شدت مصرف انرژی، انرژی را به اقتصاد پیوند می‌زند. این شاخص نسبت انرژی مصرفی بر ارزش افزوده است. نمودار ۱ شاخص شدت مصرف انرژی را در برخی از کشورها در سال ۲۰۱۸ نشان می‌دهد.

نمودار ۱. شدت مصرف انرژی کشورها در سال ۲۰۱۸



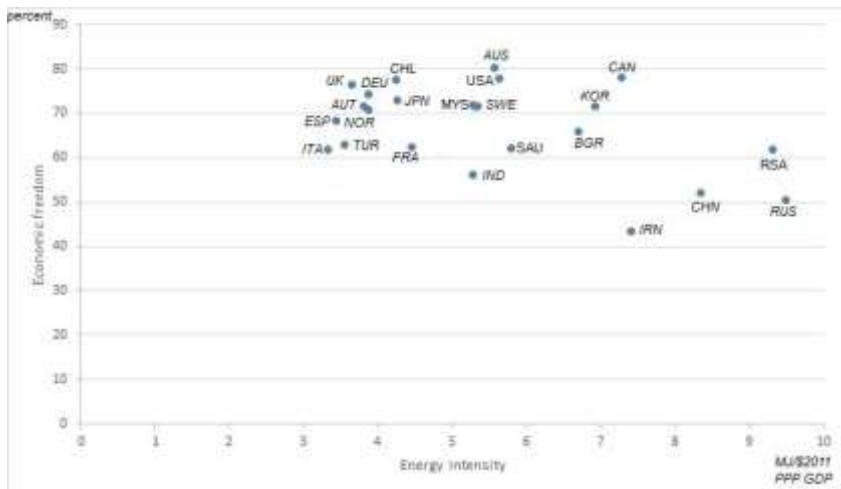
منبع: بانک جهانی^۱

برای شاخص تکمیلی بخش اقتصاد انرژی، شاخص درجه آزادی اقتصادی کشورها مورد مطالعه قرار می‌گیرد. آزادی اقتصاد یکی از اصول مهم در ارزیابی توسعه‌یافتگی اقتصاد کشورها است که به‌طور سالانه اندازه‌گیری و پایش می‌شود. بنیاد هریتیج از مؤسسات معتبری است که هر سال این شاخص اقتصادی را اندازه‌گیری و گزارش می‌کند. در گزارش‌های این بنیاد امتیاز هر کشور بر مبنای ۱۰ شاخص کلیدی محاسبه می‌شود که عبارت‌اند از: آزادی کسب‌وکار، آزادی تجارت، آزادی مالیاتی،

مخارج دولت، آزادی پولی، آزادی سرمایه‌گذاری، آزادی تأمین مالی، حقوق مالکیت، آزادی از فساد مالی و آزادی نیروی کار. در نهایت امتیاز کشورها از ۱۰۰ محاسبه می‌شود؛ به این معنا که هر چه امتیاز کشوری به عدد ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد، اقتصاد آزادتری خواهد داشت. در این رتبه‌بندی ایران نیز با کسب امتیاز ۴۱٫۸ رتبه ۱۷۱ ام جهان را به خود اختصاص داده است^۱ (بنیاد هریتیج، گزارش آزادی اقتصاد، ۲۰۱۸). مقادیر این شاخص برای برخی دیگر از کشورهای منتخب عبارت است از: هند ۵۶٫۲، بلغارستان ۶۵٫۹، چین ۵۲، آفریقای جنوبی ۶۱٫۹ و روسیه ۵۰٫۶.

در ادامه شدت انرژی در مقابل درجه آزادی اقتصادی برای کشورها ترسیم و گروه‌بندی کشورها جهت مقایسه آن‌ها انجام می‌شود. در نمودار ۲ شدت مصرف انرژی بر حسب درجه آزادی اقتصادی کشورها به تصویر کشیده شده است.

نمودار ۲. شدت مصرف انرژی بر حسب درجه آزادی اقتصادی کشورها



منبع: داده‌های بانک جهانی و مؤسسه هریتیج

این نمودار بیانگر نقش اساسی مدیریت کلان انرژی در کشور و نقش حیاتی آزادسازی بازار انرژی در بهینه‌سازی مصرف انرژی است. بر اساس نمودار ۲ کشورهای مورد مطالعه را می‌توان به سه گروه ذیل تقسیم‌بندی کرد:

گروه نخست: کشورهای با درجه آزادی اقتصادی پایین و شدت مصرف

۱. Heritage foundation economic freedom index, ۲۰۱۸.

انرژی بالا؛ مانند ایران، چین، روسیه و آفریقای جنوبی.

گروه دوم: کشورهای با درجه آزادی اقتصادی و شدت مصرف انرژی متوسط؛ مانند کانادا، کره جنوبی، بلغارستان، عربستان سعودی و هند.

گروه سوم: کشورهای با درجه آزادی اقتصادی بالا و شدت مصرف انرژی پایین مانند فرانسه، ایتالیا، اسپانیا، ژاپن، بریتانیا، آلمان، ترکیه، شیلی، سوئد، مالزی، آمریکا، استرالیا، اتریش و نروژ.

- ویژگی‌های اصلی کشورهای گروه نخست عبارت‌اند از:^(۱)

۱. سیستم اقتصادی در حال تحول به بازار (عمدتاً دولتی).
۲. شدت مصرف انرژی بالا.
۳. عرضه انرژی با یارانه زیاد.
۴. صنایع نسبتاً قدیمی.

- ویژگی‌های کشورهای گروه دوم عبارت‌اند از:

۱. کشورهای با نرخ توسعه بالا.
۲. سیستم اقتصادی متحول شده به بازار.
۳. شدت مصرف انرژی متوسط.
۴. سابقه نسبتاً کم در مدیریت انرژی.

- ویژگی‌های اصلی کشورهای گروه سوم که همگی از جمله کشورهای

صنعتی و توسعه‌یافته هستند، عبارت‌اند از:

۱. سیستم اقتصاد بازار.
۲. درآمد سرانه زیاد.
۳. شدت مصرف انرژی کم.
۴. تولید ناخالص ملی بالا.

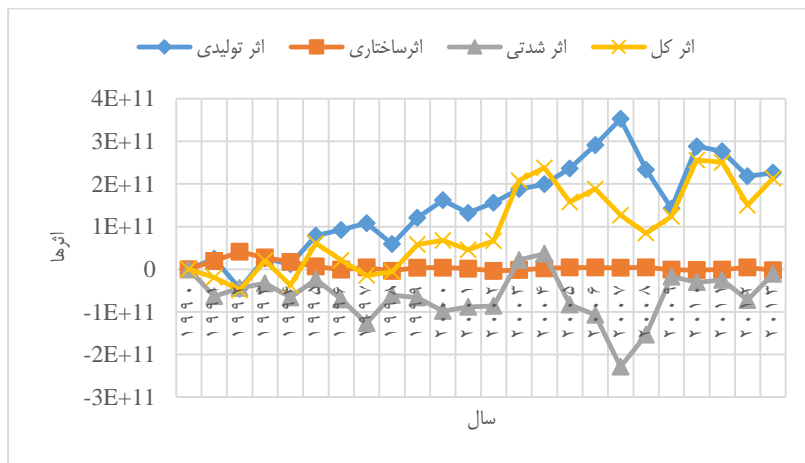
۵. سابقه بیش از ۳۰ سال در مدیریت انرژی (عموماً از سال ۱۹۷۳).

با توجه به اینکه ایران در گروه نخست، یعنی جزء کشورهای با درجه آزادی اقتصادی پایین و شدت مصرف انرژی بالا است، تجزیه مصرف انرژی برای این کشورها انجام می‌شود.

۳-۲. نتایج حاصل از تجزیه مصرف انرژی

در این قسمت با استفاده از روش تجزیه، مصرف انرژی در کشورهای منتخب بررسی می‌شود. نکته قابل توجه در انجام تجزیه مصرف انرژی این است که برای داده‌های مختلف ارزش افزوده و همچنین مصرف انرژی زیربخش‌ها که بر اساس حامل‌های مختلف انرژی متفاوت هستند، باید واحد مشترکی در نظر گرفته شود؛ زیرا وجود واحدهای فیزیکی متفاوت انجام کار را دشوار می‌کند. به همین جهت در مقاله حاضر سطح فعالیت بر اساس میلیارد ریال مورد سنجش قرار گرفته است. همچنین مصرف انرژی زیر بخش‌ها از واحدهای مختلف فیزیکی، با توجه به ضرایب مربوطه، به واحد مشترک بشکه معادل نفت خام تبدیل می‌گردد. گفتنی است که این نتایج فقط بر اساس روش‌های لاسپیرز جمعی با سال پایه چرخشی و لاسپیرز جمعی با سال پایه ثابت ۱۹۹۰ ارائه می‌شود. بدیهی است می‌توان تجزیه را در این حالت نیز بر اساس سایر روش‌ها انجام داد. نتایج تجزیه مصرف انرژی در کشورهای منتخب با روش لاسپیرز جمعی با سال پایه چرخشی به صورت نمودار ۳ است:

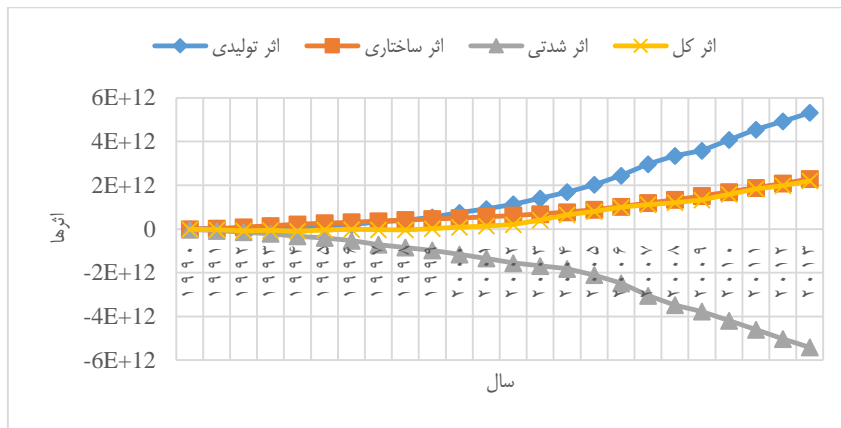
نمودار ۳. تجزیه مصرف انرژی کشورهای منتخب با روش لاسپیرز جمعی با سال پایه چرخشی



منبع: نتایج تحقیق

نتایج تجزیه مصرف انرژی در کشورهای منتخب با روش لاسپیرز جمعی با سال پایه ثابت ۱۹۹۰ به صورت نمودار ۴ است:

نمودار ۴. تجزیه مصرف انرژی کشورهای منتخب با روش لاسپیرز جمعی با سال پایه ثابت ۱۹۹۰



منبع: نتایج تحقیق

بنابراین مشاهده می‌شود که در روش لاسپیرز جمعی با سال پایه چرخشی اثر ساختاری نوسان چندانی ندارد و در حدود «صفر» ثابت مانده است. اثر تولیدی در تمام سال‌ها نه تنها بزرگ‌تر از صفر بوده، بلکه روند صعودی نیز داشته و بر این اساس بخش زیادی از تغییرات مصرف انرژی را در طی دوره توضیح داده است. اثر شدتی در بیشتر طول دوره منفی بوده و روند کاهشی داشته و موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی شده و به این ترتیب بخشی از اثر تولیدی را خنثی کرده است؛ اما اثر تولیدی همچنان غالب است و به همین دلیل اثر کل افزایشی است.

در روش لاسپیرز با سال پایه ثابت نیز اثر تولیدی صعودی بوده، اما اثر شدتی کاهشی است. همچنین اثر ساختاری افزایشی بوده و اثر تولیدی را تقویت کرده و موجب شده است تا در نهایت اثر کل مثبت و صعودی باشد و مصرف انرژی به این دلیل در طول دوره افزایش داشته باشد. در واقع تغییر ساختار به سمت بخش‌های با انرژی‌بری بیشتر و رشد تولید دو عامل افزایشی در طول دوره بوده‌اند که اثر کاهشی ناشی از بهبود در بهره‌وری که خود را در اثر شدتی کاهنده نشان داده، نتوانسته است بر دو اثر دیگر غلبه نماید و در نهایت به رشد مصرف در طی دوره انجامیده است.

۴. عوامل تعیین‌کننده شدت مصرف انرژی

برای درک بهتر عوامل مؤثر در تغییرات شدت انرژی شناخت برخی عوامل بالقوه

مؤثر بر آن ضروری است. اصولاً تغییرات شدت مصرف انرژی به سه عامل تقسیم می‌شود: تغییر تقاضا ناشی از قیمت، تغییر تقاضا ناشی از درآمد و بهبود مستقل کارایی انرژی (Azar & Dowlatabadi, ۱۹۹۹). بهبود مستقل کارایی، نوعی کاهش شدت مصرف انرژی است که در نتیجه تغییر قیمت‌های انرژی نباشد و در واقع تغییرات ساختاری و فنی موجب آن شده باشد. در این قسمت برخی عوامل بالقوه مؤثر بر شدت مصرف انرژی بررسی می‌شود.

۴-۱. کارایی انرژی

کارایی انرژی عبارت است از بیشینه فعالیت به ازای هر واحد مصرف نهایی انرژی و در واقع بیانگر اندازه خدمات ارائه شده انرژی به ازای یک واحد نهاده انرژی است. معمولاً رشد کارایی انرژی با استفاده از یک روش کارا تر تولید و مصرف انرژی، به دلیل توسعه‌های فنی انجام می‌گیرد. بهبود کارایی انرژی سرانجام به دسترسی بیشتر انرژی جهت استفاده در فرایند تولید و کاهش زیان‌های ناشی از کمبود عرضه انرژی منجر خواهد شد؛ این موارد به دلیل اقدامات حفاظت انرژی است که بهبود کارایی موجب آن شده است (بیابانی، ۱۳۹۳).

با افزایش کارایی انرژی، به سطح تولیدی بیشتری با همان مقدار مصرف انرژی دست خواهیم یافت و این افزایش در محصول تولید شده منجر به کاهش در شدت مصرف انرژی خواهد شد (Fisher, ۲۰۱۳).

۴-۲. تقاضای انرژی

اصولاً حامل‌های انرژی می‌توانند هم از طرف مصرف‌کنندگان و هم توسط بنگاه‌ها به‌عنوان کالای نهایی و نهاده‌ای خاص در فرایند تولیدشان تقاضا شوند؛ بنابراین کل تقاضای انرژی، هم شامل تقاضای نهایی و هم تقاضای مشتقه برای آن می‌شود.

۴-۳. تقاضای مصرف‌کننده

آن بخش از تقاضای انرژی است که توسط مصرف‌کننده نهایی و به‌عنوان کالای نهایی تقاضا می‌شود. مصرف‌کننده در این بخش، تقاضا برای کالای انرژی را همچون سایر کالاهای نهایی مصرفی‌اش، بر مبنای تئوری رفتار مصرف‌کننده و با

حداکثرسازی مطلوبیت خود با توجه به قید بودجه‌اش تعیین می‌کند.

۴-۴. تقاضای مشتق شده

مقدار انرژی تقاضا شده در فرایند تولید کالاهای دیگر، به‌عنوان نهاده‌ای واسطه، تقاضای مشتق شده برای انرژی است. در این حالت مقدار تقاضای مشتق شده برای انرژی مطابق با تئوری رفتار تولیدکننده و با همان فروض و روش به دست می‌آید. تولیدکننده به دنبال حداکثرسازی سود خود است؛ به عبارت دیگر وی به دنبال حداقل‌سازی هزینه تولید با قید تولید مشخص یا حداکثرسازی تولید با قید هزینه مشخص است.

۴-۵. قیمت انرژی

دگرگونی قیمت انرژی مانند حرکت روی منحنی تولید F در نمودار ۵ است.

نمودار ۵. تأثیر قیمت انرژی

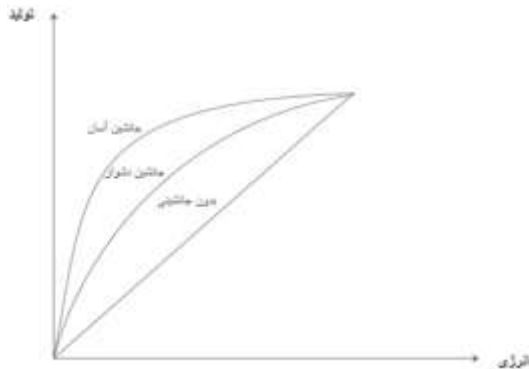


شیب هر خط مماس بر منحنی اندازه عددی محصول بیشتری را نشان می‌دهد که می‌تواند با استفاده از به‌کارگیری یک واحد بیشتر نهاده انرژی به دست آورد و در واقع تولید نهایی انرژی و به عبارت دیگر قیمت انرژی است. حرکت بر روی منحنی به سمت چپ نشان‌دهنده افزایش قیمت انرژی، کاهش نهاده انرژی و کاهش نسبت انرژی به تولید (شدت مصرف انرژی) است؛ به عبارت دیگر افزایش قیمت انرژی، بهره‌وری انرژی را افزایش می‌دهد (Saunders, ۲۰۱۱).

هنگامی که قیمت انرژی افزایش می‌یابد، انگیزه‌ای وجود دارد که دارندگان سرمایه‌های انرژی بر به افزایش کارایی انرژی متمایل شوند. این کار می‌تواند با

بهسازی سرمایه‌های موجود یا جایگزینی آن‌ها صورت گیرد. در هر صورت این اقدامات نیازمند سرمایه‌گذاری است که هنگام کاهش قیمت انرژی اتفاق نمی‌افتد و به همین ترتیب بهبود در فناوری‌های کارایی انرژی نیز هنگام کاهش قیمت‌ها اتفاق نمی‌افتد. در کوتاه‌مدت، با افزایش قیمت انرژی، هزینه‌های استفاده از سرمایه نیز افزایش می‌یابد؛ زیرا سرمایه و فناوری ثابت هستند و مصرف‌کننده انرژی پرتقوی خود را با کاهش مصرف انرژی تا جای ممکن بهینه‌سازی می‌کند. با توجه به اینکه سرمایه و تکنولوژی در کوتاه‌مدت ثابت هستند، این امر تنها با کاهش یافتن انرژی از سرمایه امکان‌پذیر است و نتیجه آن علاوه بر کاهش تقاضای انرژی، کاهش فعالیت اقتصادی نیز خواهد بود. در بلندمدت، امکان تحول در سرمایه و تکنولوژی وجود خواهد داشت؛ البته هنوز هم کاهش تقاضای انرژی اتفاق می‌افتد، اما با تغییر فناوری و انباره سرمایه، انباره قدیمی با سرمایه جدید و فناوری‌های انرژی کارا جایگزین می‌شود. در بازارهای رقابتی، قیمت‌های نسبی انرژی، سرمایه و نیروی کار تعیین‌کننده فناوری انتخابی هستند. قیمت‌های بیشتر انرژی، فناوری‌هایی با انرژی‌بری پایین‌تر و با سهم بالای سرمایه و نیروی کار را تحمیل می‌کنند و در مقابل قیمت‌های پایین انرژی فناوری‌هایی با سهم بیشتر نهاده انرژی و سهم کمتر سرمایه و نیروی کار را به وجود می‌آورد. با وجود این تحول‌های واقعی به جانشینی انرژی با دیگر نهاده‌های تولیدی و سهم مطلق آن در تولید بستگی دارد. در نمودار ۶ سه منحنی تولید نشان داده شده‌اند.

نمودار ۶. رابطه انرژی و تولید



منحنی بالاتر رابطه انرژی و تولید را در وضعیت جانشینی آسان نهاده‌های تولید نشان می‌دهد که تولیدکنندگان می‌توانند به سرعت با گزینش ترکیبی از فناوری‌های موجود، نهاده‌های دیگر را به جای انرژی جایگزین کنند. همچنین این منحنی نشان می‌دهد که اگر جانشینی میان نهاده‌ها از نظر اقتصادی آسان باشد، کاهش در تولید به دلیل کاهش مصرف انرژی، به نسبت کمتر خواهد بود؛ به عبارت دیگر اگر جانشینی دشوارتر باشد، یعنی با منحنی دوم مواجه باشیم، کاهش مشخص در نهاده انرژی اثرات منفی بزرگ‌تری بر تولید دارد. به علاوه تغییرات قیمت انرژی هم باید بیشتر باشد. منحنی سوم حالتی است که جانشینی نهاده‌های تولید امکان‌پذیر نیست و یک رابطه یک‌به‌یک بین انرژی و تولید وجود دارد. این وضعیت به تابع تولید «لئونتیف»^۱ مشهور است (Saunders, ۲۰۱۱).

۴-۶. ساختار اقتصادی

اصولاً تغییرات شدت مصرف انرژی در طی زمان به تغییرات اقتصاد وابسته است که در GDP کشور و تغییرات در ترکیب منابع انرژی و کارایی انرژی در مقدار مصرف انرژی بروز می‌کند. اقتصاددانان معتقدند شکل «U معکوس» برای رابطه شدت مصرف انرژی با درآمد سرانه است؛ به این ترتیب که با افزایش درآمد سرانه، شدت مصرف انرژی ابتدا افزایش می‌یابد تا رسیدن به یک نقطه عطف و از آن به بعد کاهش می‌یابد (Medlock & Soligo, ۲۰۰۱).

۴-۷. بهره‌وری انرژی^۲

در بین حامل‌های مختلف انرژی، همه آن‌ها بهره‌وری یکسانی ندارند. در واقع این تفاوت در بهره‌وری است که به مسئله کیفیت انرژی موضوعیت می‌دهد.

بنابراین با توجه به ملاحظات نظری و تجربی مورد اشاره از جمله مهم‌ترین

عوامل تعیین‌کننده شدت انرژی به صورت زیر تصریح می‌شود:

$$LEI_{it} = \alpha + \beta_1 LG_{it} + \beta_2 LV_{it} + \beta_3 LK_{it} + \beta_4 LL_{it} + \beta_5 LP_{it} + \varepsilon_{it} \quad (۸)$$

۱. Leontief

۲. Energy quality

«رابطه ۸» که مهم‌ترین عوامل دخیل در شدت انرژی را نشان می‌دهد و بر پایه مطالعات بسیاری از جمله «متکالف» (۲۰۰۵)، «دیتون»^۱ (۱۹۹۷) و «شی و پلنسک» (۲۰۰۵) استفاده شده است، نشان می‌دهد که شدت مصرف انرژی EI تابعی از مصرف انرژی G، ارزش افزوده V، تشکیل سرمایه K، نیروی کار شاغل L و قیمت حامل‌های انرژی P در نظر گرفته شده است. حرف L در متغیرهای بیانگر فرم لگاریتم طبیعی متغیرهای الگو است.

آمارهای مربوط به کشورهای مختلف از بانک جهانی استخراج و تواتر داده‌ها سالیانه و از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳ گردآوری شده است.^(۳) گفتنی است که برای قیمت حامل‌های انرژی، میانگین قیمت بنزین و نفت گاز (به دلیل در دسترس بودن داده‌ها) به قیمت ثابت مورد استفاده قرار گرفته است.

۵. برآورد مدل پانل و بررسی نتایج

با توجه به روش انتخاب کشورهای منتخب، مدل برای کشورهای ایران، چین، روسیه و آفریقای جنوبی برآورد و تجزیه و تحلیل می‌شود.

۵-۱. انتخاب مدل

بر اساس مطالعه «بالتاچی» (۲۰۰۵)^۲ «داده‌های تابلویی به ترکیب نمودن مشاهدات مقطعی خانوارها، کشورها، شرکت‌ها و ... در طول چند دوره زمانی اشاره دارد» که این تعریف بیان می‌کند، داده‌های تابلویی رابطه متغیر مستقل را نه تنها بر اساس اطلاعات یک مقطع، بلکه با دیگر مقاطع به طور هم‌زمان در نظر می‌گیرد و به گستردگی نظریه و آزمون آن نیز توجه می‌کند.

روش داده‌های تابلویی مشتمل بر سه نوع «تخمین» یعنی «تخمین‌های بین گروهی»، «تخمین‌های درون‌گروهی» (اثرات ثابت FE)^۳ و «تخمین‌های اثرات تصادفی» (RE)^۴ است. تخمین بین‌گروهی از اختلاف بین واحدهای انفرادی

۱. Deaton

۲. Baltagi (۲۰۰۵)

۳. Fixed Effects

۴. Random Effects

بهره‌برداری می‌کند؛ اما از ارائه هرگونه اطلاعاتی در کشورها صرف‌نظر می‌نماید. به عبارتی این نوع تخمین رگرسیون روی میانگین‌ها است و معمولاً برای تخمین ضرایب بلندمدت از این روش استفاده می‌شود. در تخمین‌های درون‌گروهی (FE)، بعد زمان در نظر گرفته نمی‌شود و تنها اثراتی که مختص هر یک از کشورها است، به‌عنوان اثرات انفرادی منظور می‌شود (بالتاجی، ۲۰۰۵).

«بالتاجی» (۲۰۰۵) برای انتخاب الگو میان اثر ثابت و اثر تصادفی بیان می‌دارد، در حالتی که N بزرگ و T کوچک باشد، وقتی واحدهای مقطعی در نمونه انتخاب‌های تصادفی بزرگ نباشد، آنگاه الگوی اثر ثابت برای انتخاب الگو ارجح است و اگر واحدهای مقطعی در نمونه، انتخاب‌هایی تصادفی قلمداد شود، آنگاه «REM» مناسب‌تر است (گجراتی ۱۳۹۸). البته برای انتخاب بین الگو اثر ثابت و اثر تصادفی آزمون‌هایی نیز وجود دارد از جمله آزمونی که «هاسمن»^۱ در سال ۱۹۷۸ معرفی کرده است (گجراتی ۱۳۸۳). آزمون‌هایی نیز برای انتخاب بین الگوهای داده‌های تلفیقی (OLS)، الگوی اثر ثابت (LSDV) و الگوی اثر تصادفی (REM) وجود دارد. همانند آزمون «چاو»، آزمون «بروش پاگان» و آزمون «هاسمن» که در ادامه این آزمون‌ها معرفی می‌شوند.

۵-۱-۱. آزمون چاو

«چاو» (۱۹۶۰) برای انتخاب بین الگوی داده‌های تلفیقی و الگوی اثر ثابت آزمونی معرفی کرده است که فروض آن عبارت‌اند از:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_{N-1} = 0$$

$$H_1: \text{NOT } H_0$$

μ ، ضریب متغیر موهومی در الگو اثر ثابت است و قبول فرض H_0 به معنی وجود داده‌های تلفیقی و استفاده از تخمین OLS برای حل الگو است و رد فرضیه به معنی وجود اثر ثابت و استفاده از LSDV برای حل الگو است. «بالتاجی» (۲۰۰۵) با فرض نرمال بودن توزیع جملات اختلال آماره مورد نیاز برای انجام این آزمون را به شرح ذیل بیان می‌کند:

$$F_t = \frac{\frac{RRSS-URSS}{N-1}}{\frac{URSS}{NT-N-K}} \sim F_{N-1, N(T-1)-K} \quad (9)$$

RRSS: مجموع مربعات پسماندهای مقید حاصل از روش حداقل مربعات معمولی.

URSS: مجموع مربعات پسماندهای غیرمقید حاصل از روش حداقل مربعات معمولی با متغیر موهومی.

T سال مورد بررسی، *N* تعداد مقاطع، *K* تعداد رگرسورها (متغیرها)

«گرین» (۲۰۰۳) این آزمون را به شکل ساده‌تر زیر بیان می‌نماید:

$$F_{N-1, NT-N-K} = \frac{\frac{R^*_{LSDV} - R^*_{Pooled}}{N-1}}{\frac{1 - R^*_{LSDV}}{NT-N-NK}} \quad (10)$$

رابطه ۱۰ ضریب تشخیص در هر الگو است. اگر فرضیه صفر رد شود، به معنی وجود الگوی اثر ثابت بوده، قبول آن به معنی وجود الگوی داده‌های تلفیقی و استفاده از روش حداقل مربعات معمولی برای تخمین الگو است. همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود با انجام آزمون چاو (با استفاده از نرم‌افزار Eviews۹) آماره آزمون به دلیل پایین بودن *p-value* فرضیه صفر مبنی بر *pooled* بودن رد و به‌ناچار فرضیه مقابل اثرات تصادفی پذیرفته می‌شود.

جدول ۱. نتایج آزمون چاو

prob	آ	Cross-Section/Period F
	م	
	ا	
	ر	
	ه	
	۷	
۰,۰۰ ..	۷	Cross-Section/Period Chi-square
	۰	
	۱	
	۳	
	۰	
	۶	
۰,۰۰ ..	۱	Cross-Section/Period Chi-square
	۰	
	۶	

	۰	
	۴	
	۱	
	۱	
	۰	
	۵	
	۵	

منبع: نتایج تحقیق

۵-۱-۲. آزمون بروش پاگان

«بروش و پاگان» در سال ۱۹۸۰ از ضریب «لاگرانژ» برای آزمون الگوی داده‌های تلفیقی در مقابل الگوی اثر تصادفی استفاده کرده و برای این آزمون فروض زیر را به خدمت گرفته‌اند:

$$H_0: \sigma_{it}^2 = 0$$

$$H_1: \sigma_{it}^2 \neq 0$$

فرضیه «صفر» به معنای بهتر بودن استفاده از الگوی داده‌های تلفیقی و رد این فرضیه به معنای وجود اثر تصادفی در الگو است. آماره این آزمون دارای توزیع χ^2 است که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$LM = \frac{NT}{2(T-1)} \left[\frac{\sum_{i=1}^N [\sum_{t=1}^T e_{it}]^2}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T e_{it}^2} - 1 \right]^2 = \frac{NT}{2(T-1)} \left[\frac{\sum_{i=1}^N (T\bar{e}_i)^2}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T e_{it}^2} - 1 \right]^2 \quad (11)$$

رد این فرضیه به معنای رد الگوی داده‌های تلفیقی و پذیرش الگوی اثر تصادفی است و پذیرش فرضیه صفر به معنای پذیرش الگوی داده‌های تلفیقی و رد الگوی اثر تصادفی است.

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، در ستون آخر میزان آماره آزمون برابر با ۲۲۴،۱۱۰۶ و مقدار p-value آن برابر با «صفر» و بیانگر این است که با اطمینان بالایی می‌توان فرضیه صفر مبنی بر pooled بودن داده‌ها را رد کرد و به‌ناچار فرضیه مقابل مبنی بر تصادفی بودن داده‌ها را پذیرفت.

جدول ۲. نتایج آزمون بروش پاگان

	آ	آ	آ
آماره آزمون	ز	ز	ز
	م	م	م
	و	و	و

	ن	ن	ن
	ا	ا	ه
	ث	ث	ر
	ر	ر	د
	ا	ا	و
	ت	ت	ر
	م	ز	و
	ق	م	ش
	ط	ا	
	ع	ن	
	ی	ی	
	۲	۶	۲
	۱	۰	۲
	۷	۶	۴
	۰	۶	۰
	۴	۶	۱
	۴	۵	۱
	۴	۲	۰
Breusch-Pagan	۱	۶	۶
)))
	۰	۰	۰
	۰	۰	۰
	۰	۰	۰
	۰	۰	۰
	۰	۹	۰
	۰	۸	۰
	(((

منبع: نتایج تحقیق

۵-۱-۳. آزمون هاسمن

برای انتخاب روش تخمین بین الگوی اثر ثابت و اثر تصادفی باید از این آزمون بهره بگیریم. «هاسمن» (۱۹۷۸)^۱ برای آزمون انتخاب بین الگوی اثر ثابت و الگوی اثر تصادفی، آزمونی را به شرح ذیل معرفی کرده است:

این آزمون بیان می‌کند که با فرض وجود نداشتن خودهمبستگی بین داده‌های

۱. Hausman (۱۹۷۸).

مقطعی و سایر متغیرهای توضیحی هر دو برآوردگر LSDV و REM(GLS) ناسازگارند؛ ولی برآوردگر LSDV ناکارا نیز است. در مقابل در شرایط وجود همبستگی بین داده‌های مقطعی و سایر متغیرهای توضیحی، LSDV ناسازگار بوده، ولی GLS ناسازگار نیز است؛ این آزمون فروض خود را این‌گونه شکل می‌دهد:

تصادفی ارجح است = H_1

وجود الگو اثر ثابت و رد الگو اثر تصادفی = H_0

دو برآوردگر به‌طور مشخص تفاوتی ندارند؛ ولی در عین حال الگوی اثر در این آزمون از ماتریس کواریانس تفاضل بردار $[b - \hat{B}]$ استفاده می‌شود. b شیب در الگوی اثر ثابت و \hat{B} شیب در الگوی تصادفی است.

$$Var[b - \hat{B}] = Var[b] - Var[\hat{B}] - Cov[b, \hat{B}] - Cov[b, \hat{B}] \quad (12)$$

آزمون هاسمن بیان می‌دارد که کواریانس یک برآوردگر، کارا و تفاضل آن برآوردگر از برآوردگری ناکارا صفر است؛ یعنی:

$$Cov[(b - \hat{B}), \hat{B}] = Cov[b - \hat{B}] - Var[\hat{B}] = 0 \quad (13)$$

یا اینکه:

$$Cov[b, \hat{B}] = Var[\hat{B}] \quad (14)$$

تابع آزمون هاسمن دارای توزیع مجانبی χ^2 با $K-1$ درجه آزادی بر اساس معیار والد به دست می‌آید.

$$\omega = x' [K - 1] = [b - \hat{B}]' \hat{\psi}^{-1} [b - \hat{B}] \quad (15)$$

برای محاسبه از ماتریس‌های کواریانس برآورد شده برای شیب برآوردگر در الگو LSDV و ماتریس کواریانس برآورد شده در الگو اثر تصادفی بدون دخالت جزء ثابت استفاده می‌کنیم؛ یعنی یک‌بار الگو بر اساس LM تخمین زده می‌شود و بار دیگر بر اساس الگوی اثر ثابت برآورد می‌گردد و از نتیجه این برآورد، $\hat{\psi}$ به دست می‌آید. از این نتیجه در آزمون هاسمن برای انتخاب بین الگوی اثر ثابت و الگوی اثر تصادفی بهره‌برداری می‌گردد (بالتاجی ۲۰۰۵). در این آزمون رد فرضیه صفر به معنای وجود الگوی اثر ثابت بوده و پذیرش اثر صفر بدین معناست که بهتر است از الگوی اثر تصادفی برای تخمین استفاده شود.

همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود با انجام آزمون هاسمن (با استفاده

از نرم افزار Eviews 9) میزان prob به دست آمده برابر با صفر است. در نتیجه فرضیه صفر مبنی بر اثرات تصادفی رد شده و باید از روش «Fixed Effects» به منظور تخمین مدل استفاده کرد.

جدول ۳. نتایج آزمون هاسمن

Prob	Chi-Sq. Statistic	
۰,۰۰ ۰۰	۲۷,۲۹۷۲۱	م ق د ا ر آ م ا ر ه

منبع: نتایج تحقیق

۵-۲. نتایج مدل

با توجه به پیش آزمون‌های انجام شده، نتایج حاصل با استفاده از دو روش اثرات ثابت (Random Effects) و اثرات تصادفی (Random Effects) در جدول ۴ نمایش داده شده است. گفتنی است که مدل با روش اثرات ثابت برآورد گشته و روش اثرات تصادفی جهت مقایسه آورده شده است. اعداد داخل پرانتز به ترتیب آماره t و $prob$ هستند.

جدول ۴. متغیر وابسته شدت مصرف انرژی (LEI)

ر و ش	Fixed Effects Two-way	Random Effects One-way
ت خ م ی		

ن / م ت غ ی ر ر ه ا ی ت و ض ی ح ی		
L G	۳,۶۲E-۱۳ (۱۰,۰۱۵۶۱)(۰,۰۰۰۰)	۵,۶۲E-۱۳ (۱۸,۹۰۹۸۲)(۰,۰۰۰۰)
L V	-۸,۷۸E-۱۴ (-۸,۰۷۹۱۴۷)(۰,۰۰۰۰)	-۱,۲۹E-۱۳ (-۱۷,۰۶۴۰۴)(۰,۰۰۰۰)
L K	۷,۷۸E-۱۴ (۳,۵۱۵۶۴۵)(۰,۰۰۱۰)	۹,۳۳E-۱۴ (۷,۳۹۹۹۱۸)(۰,۰۰۰۰)
L L	۲,۱۵E-۱۰ (۰,۴۷۵۶۶۸)(۰,۶۳۶۴)	-۹,۷۹E-۱۱ (-۵,۰۶۲۳۵)(۰,۰۰۰۰)
L P	-,۰۵۵۸۵۳ (-۴,۱۶۸۷۲۵)(۰,۰۰۰۱)	-,۰۳۲۰۹۵ (۴,۷۲۰۰۰۹)(۰,۰۰۰۰)
C) ع ر ر ض ا ز م	-,۰۲۰۰۱۷۰ (۲,۷۵۹۴۸۴)(۰,۰۰۸۱)	-,۰۲۰۳۰۹۹ (۴۲,۷۰۰۰۷)(۰,۰۰۰۰)

د ا (
R^2	۰,۹۶۳۹۹۱	۰,۸۵۶۴۴۷
F (P r o b)	۵۰,۴۵۲۵۱ (۰,۰۰۰۰۰۰)	۸۳,۵۲۵۲۲ (۰,۰۰۰۰۰۰)

منبع: نتایج تحقیق

چنانکه مشاهده می‌شود ضرایب برای مصرف انرژی در هر دو روش Fixed Effects و Random Effects مثبت است. علامت ضریب متغیر ارزش افزوده نیز در هر دو روش منفی و از نظر آماری معنی‌دار برآورد شده است و بیان می‌کند که کشورها با مدیریت صحیح انرژی در فرایند تولید و افزایش بهره‌وری و به‌کارگیری تکنولوژی بالاتر افزایش ارزش افزوده یا تولید به کاهش شدت مصرف انرژی منجر می‌شود. برای متغیر تشکیل سرمایه ضریب مثبت و معنی‌دار برآورد شده است. مسلماً سرمایه‌گذاری فیزیکی نقش مهم و تأثیر مثبتی بر شدت مصرف انرژی دارد. همچنین باید گفت در کشورهایی که صنایع آنان به مصرف انرژی وابستگی بالایی دارد، طبیعی است با افزایش سرمایه‌گذاری در این صنایع شدت مصرف انرژی افزایش یابد.

ضریب متغیر نیروی کار در روش اثرات ثابت مثبت و در روش اثرات تصادفی منفی برآورد شده است. در نهایت اینکه ضرایب برای متغیر قیمت حامل‌های انرژی در روش اثرات ثابت منفی و در روش اثرات تصادفی مثبت است؛ به همین دلیل با توجه به مبانی نظری پیش‌گفته در خصوص رابطه هریک از متغیرهای توضیحی مدل با متغیر شدت انرژی به‌عنوان متغیر وابسته، ملاحظه می‌شود که ضرایب در برخی متغیرها مطابق انتظار و در برخی خلاف انتظار است. نکته دیگر اینکه در مدل اثرات ثابت آماره R^2 برابر ۰,۹۶ است؛ یعنی ۹۶ درصد از تغییرات متغیر وابسته توسط متغیرهای توضیحی، توضیح داده می‌شود. این آماره در مدل اثرات تصادفی برابر ۰,۸۵ است که نشان از توضیح دهندگی ۸۵

درصدی متغیر وابسته توسط متغیرهای توضیحی است. گفتنی است نتایج جدول ۴ برای هریک از متغیرها و برای تمام کشورها یک ضریب برآورد شده است؛ به عبارت بهتر پانل برآوردشده همگن است؛ اما در جدول ۵ پانل ناهمگن برای کشورها برآورد شده است. نتایج برای اقتصاد ایران نشان می‌دهد مصرف انرژی G، تأثیر مثبت و معنی‌داری بر شدت مصرف انرژی دارد. این ضریب برای ایران نسبت به سایر کشورهای منتخب از مقدار بالایی برخوردار است. اثر متغیر ارزش افزوده V منفی و معنی‌دار است، به این معنی که در اقتصاد ایران غالباً فرایندهای تولیدی وابستگی زیادی به مصرف انرژی دارد و همان‌طور که در بخش تجزیه مصرف انرژی اشاره شد، اثر تولیدی نقش بسزایی در شدت مصرف انرژی دارد و این موضوع مؤید نتایج برآوردی الگو است. این ضریب برای آفریقای جنوبی نسبت به سایر کشورهای منتخب مورد مطالعه مقدار بیشتری بوده است.

از طرف دیگر ضریب متغیر قیمت انرژی منفی و بی‌معنی از نظر آماری برآورد شده و بیانگر آن است که سیاست مدیریت و صرفه‌جویی در انرژی از منظر افزایش قیمت حامل‌های انرژی موفقیت‌آمیز نبوده است. در این رابطه چین و روسیه تا حدی موفق عمل کرده‌اند؛ اما آفریقای جنوبی همانند ایران در اجرای کاهش شدت مصرف انرژی از منظر اجرای سیاست قیمتی موفق عمل نکرده است. نتایج حاصله تأییدی بر مطالعات «شی و پلنسک» (۲۰۰۵)، «وینگ» (۲۰۰۸) و «اقبالی و همکاران» (۱۳۹۳) است.

جدول ۵. اثرات انفرادی متغیرها برای کشورها (متغیر وابسته شدت مصرف انرژی LEI)

متغیر/کشور	LG	LV	LK	LL	LP
ایران	۹,۵۲E-۱۳	-۱,۸۵E-۱۳	۱,۷۳E-۱۳	۲,۱۹E-۰۹	-.۰,۷۱۶۹۹
	(۰,۰۰۰۰)	(۰,۰۰۰۱)	(۰,۲۴۹۸)	(۰,۲۵۹۸)	(۰,۰۷۹۹)
	(۵,۲۰۰۶۳۹)	(-۴,۵۹۲۱۲۲)	(۱,۱۷۰۸۳۷)	(۱,۱۴۵۹۸۹)	(۱,۸۰۵۴۰۹-)
چین	۲,۱۴E-۱۳	-۴,۰۷E-۱۴	۱,۱۴E-۱۴	-۱,۱۰E-۰۹	۰,۰۴۱۰۷۳
	(۰,۰۰۰۰)	(۰,۰۰۰۰)	(۰,۳۵۲۵)	(۰,۰۰۰۰)	(۰,۰۶۶۹)

	(۱۱,۶۲۴۱۹)	(-۴,۷۳۸۱۴۱)	(۰,۹۴۲۶۴۵)	(-۵,۰۵۳۱۲۸)	(۱,۸۹۲۹۸۸)
روسیه	۲,۶۵E-۱۳ (۰,۰۱۰۳) (۲,۷۱۷۳۶۰)	-۱,۳۹E-۱۳ (۰,۰۰۰۰) (-۶,۵۱۰۲۳۰)	۱,۳۲E-۱۳ (۰,۰۰۶۷) (۲,۸۸۶۹۷۷)	-۷,۹۴E-۱۰ (۰,۵۱۹۴) (-۰,۶۵۰۹۸۱)	۰,۰۵۳۷۱۱ (۰,۰۲۱۸) (۲,۴۰۴۱۰۷)
آفریقای جنوبی	۱,۸۶E-۱۲ (۰,۰۰۰۰) (۶,۱۱۰۸۷۵)	-۵,۰۱E-۱۳ (۰,۰۰۰۰) (-۴,۷۸۷۹۵۰)	۲,۱۰E-۱۳ (۰,۳۹۶۹) (۰,۸۵۷۹۹۸)	۱,۹۷E-۱۰ (۰,۹۶۱۴) (۰,۰۴۸۷۸۸)	۰,۰۰۹۷۴۴ (۰,۵۱۸۰) (۰,۶۵۲۲۰۷)

منبع: نتایج تحقیق

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در مقاله حاضر با پیروی مبانی نظری و مطالعات تجربی به بررسی و مقایسه شدت مصرف انرژی در کشورهای منتخب مورد مطالعه قرار گرفت. همان‌طور که مشاهده شد با استفاده از روش تجزیه انرژی اثر تولیدی در تمام سال‌های مورد مطالعه نه تنها بزرگ‌تر از صفر بوده، بلکه روند صعودی نیز داشته است؛ بنابراین بخش زیادی از تغییرات مصرف انرژی را در طی دوره توضیح داده است. اثر شدتی در بیشتر طول دوره منفی بوده و روند کاهشی داشته و موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی شده و بر این اساس بخشی از اثر تولیدی را خنثی کرده است؛ اما اثر تولیدی همچنان غالب و به همین دلیل اثر کل افزایشی است. در روش لاسپیرز با سال پایه ثابت نیز اثر تولیدی صعودی بوده است؛ اما اثر شدتی کاهشی است. همچنین اثر ساختاری افزایشی بوده و اثر تولیدی را تقویت کرده و موجب شده است که در نهایت اثر کل مثبت و صعودی بوده و مصرف انرژی به این دلیل در طول دوره افزایش داشته باشد. در واقع تغییر ساختار به سمت بخش‌های با انرژی‌بری بیشتر و همچنین رشد تولید دو عامل افزایشی در طول دوره بوده‌اند که اثر کاهشی ناشی از بهبود در بهره‌وری که خود را در اثر شدتی کاهنده نشان داده، نتوانسته است بر دو اثر دیگر غلبه کند و در نهایت به رشد مصرف در طی دوره انجامیده است.

در این مطالعه انتخاب کشورها بر اساس مقایسه و دسته‌بندی آن‌ها برحسب شاخص‌های اصلی و تکمیلی صورت گرفته که شاخص اصلی شدت مصرف انرژی در آن‌ها و شاخص تکمیلی، وضعیت و ساختار اقتصادی آن‌ها است. شاخص درجه آزادی اقتصادی کشورها که توسط بنیاد هریتیج منتشر می‌شود،

شاخص مناسبی برای شناخت وضعیت و ساختار اقتصادی و اجتماعی کشورها است. با به تصویر کشیدن شدت انرژی در مقابل درجه آزادی اقتصادی برای کشورها و گروه‌بندی آن‌ها برای مقایسه، کشورهای مورد مطالعه به سه گروه تقسیم‌بندی شدند و ایران در گروه نخست یعنی جزء کشورهای با درجه آزادی اقتصادی پایین و شدت مصرف انرژی بالا با کشورهای چین، روسیه و آفریقای جنوبی در یک طیف قرار گرفت.

در تمامی گروه‌ها، در کشورها مصرف انرژی اثر مثبت و معنی‌داری بر شدت مصرف انرژی داشته، اما متغیر ارزش افزوده دارای اثر منفی بوده است. از طرف دیگر ضریب متغیر قیمت انرژی منفی و معنی‌دار ارزیابی شد؛ اما در نتایج برآوردی الگوی پانل نا همگن نتایج برای اقتصاد ایران نشان می‌دهد مصرف انرژی، تأثیر مثبت و معنی‌داری بر شدت مصرف انرژی دارد. این ضریب برای ایران نسبت به سایر کشورهای منتخب از مقدار بالایی برخوردار است. متغیر ارزش افزوده اثر آن منفی و معنی‌دار است و به این معنی است که در اقتصاد ایران غالباً فرایندهای تولیدی وابستگی بالایی به مصرف انرژی دارد و همان‌طور که در بخش تجزیه مصرف انرژی اشاره شد اثر تولیدی نقش بسزایی در شدت مصرف انرژی دارد و این موضوع مؤید نتایج برآوردی الگو است. این ضریب برای آفریقای جنوبی نسبت به سایر کشورهای مورد مطالعه به نسبت مقدار بیشتری بوده است. از طرف دیگر ضریب متغیر قیمت انرژی منفی و بی‌معنی از نظر آماری برآورد شده است که نشان می‌دهد سیاست مدیریت و صرفه‌جویی در انرژی از منظر افزایش قیمت حامل‌های انرژی موفقیت‌آمیز نبوده است؛ اما در این رابطه چین و روسیه تا حدی موفق عمل کرده‌اند. آفریقای جنوبی نیز همانند ایران در اجرای کاهش شدت مصرف انرژی از منظر اجرای سیاست قیمتی موفقیتی نداشته است.

بر اساس نتایج مطالعه، در این حوزه می‌توان پیشنهادهای زیر را طرح نمود:

۱- با توجه به اینکه در توضیح تغییرات شدت انرژی، متغیر قیمت حامل‌های انرژی با شدت انرژی رابطه منفی دارد، سیاست‌گذار می‌تواند با اعمال سیاست‌های قیمتی مناسب برای حامل‌های انرژی در جهت کاهش شدت انرژی در بلندمدت گام

بردارد؛ بنابراین واقعی سازی قیمت حامل های انرژی می تواند سیاستی مؤثر و صحیح برای کاهش شدت انرژی و متعاقب آن صرفه جویی در مصرف انرژی تلقی شود.

۲- از آنجا که اثر ساختاری در تجزیه مصرف انرژی نوسانات اندکی داشته، لازم است در تغییر ساختار از زیربخش های با انرژی بری بیشتر به سمت زیربخش های با انرژی بری کمتر توجه شود.

پی‌نوشت‌ها

۱. خصوصیات از مطالعه ابهام در آمارهای شدت انرژی و مقایسه ایران با کشورهای جهان؛ معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی (۱۳۹۴) نقل شده است.
۲. انتخاب این دور زمانی مبتنی بر در دسترس بودن مشاهدات برای تمامی کشورهای منتخب است.

منابع

- ابراهیمی، محسن. آل مراد جیدرفقی، محمود (۱۳۹۱). «توسعه بازارهای مالی و مصرف انرژی در کشورهای گروه AD». فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی، ۲۰ (۶۱)، صص ۱۵۹-۱۷۴.
- اقبالی، علیرضا. گسگری، ریحانه. مرادی، مدیس. پرهیزی، هادی (۱۳۹۴). «بررسی شدت انرژی در کشورهای نفتی و غیر نفتی». تحقیقات اقتصادی، ۵۰ (۱)، صص ۲۰-۱.
- بیابانی خامنه، کاظم (۱۳۹۳). عوامل مؤثر بر شدت انرژی در اقتصاد ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.
- حیدری، کیومرث. صادقی، سمیه (۱۳۹۸). تجزیه رفتار شدت انرژی با تأکید بر زیرساخت‌های اقتصادی و نهادی: شواهدی از ایران و کشورهای منتخب. فصلنامه تحقیقات اقتصادی. ۵۴ (۱)، صص ۴۵-۲۱.
- گجراتی، دامودار (۱۳۹۸). مبانی اقتصادسنجی (جلد دوم)، مترجم: دکتر حمید ابریشمی، انتشارات دانشگاه تهران.
- معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی (۱۳۹۴). ابهام در آمارهای شدت انرژی و مقایسه ایران با کشورهای جهان.
- محسنی، رضا. رحیمی، ابوالفضل. کاکاوند، میثم (۱۳۹۷). تجزیه مصرف انرژی و بررسی عوامل مؤثر بر آن (مطالعه موردی: بخش حمل‌ونقل ایران). پژوهشنامه حمل‌ونقل. (۵۷)، صص ۱۹۴-۱۷۵.
- Anderson, K.P. (۱۹۷۱). Toward Econometric Estimation of Industrial Energy Demand An Experimental Application to the Primary Metals Industry
- Ayres. R.U. and Nair. I. (۱۹۸۴). Thermodynamics and Economics. Phys. Today. ۳۷: ۶۲-۷۱.

- Azar, C., and H. Dowlatabadi. (۱۹۹۹). A Review of Technical Change in Assessments of Climate Change Policy, Annual Review of Energy and the Environment ۲۴:۵۱۳-۵۴۴.
- Baltagi, B.H. (۲۰۰۵), Econometric Analysis of Panel Data, Third edition, John Wiley & Sons Ltd.
- Baxter, R.E. and Rees, R. (۱۹۶۸), Analysis of Industrial Demand for Electricity, Economic Journal, ۷۸, ۲۷۷-۲۹۸.
- Bekhet, Hussain Ali & Abdullah, A. (۲۰۱۷), A Structural Analysis of Energy Intensity Change in Malaysia, International Journal of Energy Economics and Policy, ۲۰۱۷, ۷(۴), ۲۶۰-۲۶۸.
- Berndt, E. R. & D. O. Wood (۱۹۷۵), Technology, Prices and the Derived Demand for Energy, Review of Economics and Statistics, Vol. ۵۶, PP. ۲۵۹-۶۸.
- Deaton, A. (۱۹۹۷). The analysis of household surveys: a microeconomic approach to development policy. World Bank Publications.
- Dupree, W. and J. West, (۱۹۷۲). United States Energy Through the Year ۲۰۰۰, U.S. Department of the Interior (Washington: U.S. Government Printing Office, Dec.
- Fisher- vanden, (۲۰۱۳). Factors Influencing Energy Intensity in Four Chinese Industries. Policy research working paper.
- Greene, W.H. (۲۰۰۵), Econometrics Analysis, Fifth Edition, Pearson Education LTD.
- Heritage foundation economic freedom index, ۲۰۱۸. <https://www.heritage.org/international-economies/commentary/۲۰۱۸-index-economic-freedom>.
- Hausman, J.A. (۱۹۷۸). Specification Tests in Econometrics, Econometrica, ۴۶ (۶), ۱۲۵۱-۱۲۷۱.
- Griffin, J.M. and Gregory, P.A. (۱۹۷۶), An Intecountry Translog Model and Energy Substitution Response", American Economic Review, Vol ۶۶, pp. ۸۴۵-۸۵۷ .
- Hudson, E.A. and Jorgenson, D.W. (۱۹۷۴), U. S. Energy Policy and Economic Growth, ۱۹۷۵-۲۰۰۰, The Bell Journal of Economics and Management Science, Vol. ۵, No. ۲ (Autumn), pp. ۴۶۱-۵۱۴.
- Khaled, R. (۱۹۸۷), Estimated of Energy and Non Energy Elasticities in Selected Manufacture, Energy Economics, April.
- Kıvılcım METİN ÖZCAN & Ayşegül UÇKUN ÖZKAN (۲۰۱۸), The Relationship between Energy Efficiency and Economic Performance in G۲۰ Countries,

- Topics in Middle Eastern and African Economies, Proceedings of Middle East Economic Association, Vol. ۲۰, Issue No. ۱, May ۲۰۱۸
- Metcalfe, Gilbert E. (۲۰۰۸), An Empirical Analysis of Energy Intensity and Its Determinants at the State Level, *The Energy Journal* ۲۹,۳: ۱-۲۶.
- Medlock K.B., Soligo R. (۲۰۰۱). Economic Development and End-Use Energy Demand. *The Energy Journal* ۲۲(۲): ۷۷-۱۰۵.
- Morrison, W. E., and C. L. Readling, (۱۹۶۸). An Energy Model for the United States," Bureau of Mines, U.S. Department of the Interior, Information Circular ۸۳۸۴ (Washington: U.S. Government Printing Office).
- Mount, T.D., Chapman, L.D. and Tyrell, T.J.(۱۹۷۳), Electricity Demand in the United State: An Econometrics Analysis, Oak Ridge National Laboratory, Report ORNL-NSF-EF-۴۹, June.
- Pindyck, R.S.(۱۹۷۹), Interfuel Substitution and the Industrial demand for Energy: An International Comparison, *The Review of Economics and Statistics*, Vol. ۶۱, No. ۲ (May), pp. ۱۶۹-۱۷۹
- Popov, S. (۲۰۱۱). Comparison of Russian and Japanese patterns for energy use: implications for business and policy.
- Samargandi, N. (۲۰۱۹). Energy Intensity and Its Determinants in OPEC Countries. *Energy*, In Press.
- Sidayao, C.M , Khaled, M. , Ranada, J.G. and Saicheua, S.(۱۹۸۷), Estimates of energy and non-energy elasticities in selected Asian manufacturing sectors: Policy implications, *Energy Economics*, Volume ۹, Issue ۲, April ۱۹۸۷, Pages ۱۱۵-۱۲۸
- Stern, D. (۲۰۰۴). The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve, *World Development*, Vol. ۳۲, No. ۸
- Shi X., Polenske K.R., (۲۰۰۵), "Energy prices and energy intensity in China: a structural Decomposition analysis and econometric study", ۰۶-۰۰۶ Working Paper, MIT CEEPR.
- Saunders, J. (۲۰۱۱). Energy justice – the policy challenges. Energy justice in a changing climate: defining an agenda, In CluESEV conference, ۱۰ November ۲۰۱۱, London. In p.۴۲۳, Hall, S. M. ۲۰۱۳. Energy justice and ethical consumption: comparison, synthesis and lesson drawing, *Local Environ.* ۱۸ (۴) ۴۲۲-۴۳۷.
- Wing Sue I. (۲۰۰۸). Explaining the Declining Energy Intensity of the U.S. Economy. *Resource and Energy Economics* ۳۰: ۲۱-۴۹.