

## نقش عوامل قیمتی، درآمدی و کارایی در شدت انرژی ایران

حسن درگاهی<sup>۱\*</sup>، کاظم بیابانی خامنه<sup>۲</sup>

۱. دانشیار دانشکده علوم اقتصادی و سیاسی، دانشگاه شهید بهشتی، h-dargahi@sbu.ac.ir

۲. کارشناس ارشد اقتصاد انرژی، دانشگاه شهید بهشتی، kbiabany@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۲۵

### چکیده

تغییرات شدت انرژی به سه عامل درآمدی، قیمتی و بهبود مستقل کارایی انرژی (وابسته به ساختار و تغییرات فنی) مرتبط است. هدف اصلی این پژوهش شناسایی عوامل مؤثر بر شدت انرژی و ارزیابی اهمیت این عوامل در توضیح تغییرات شدت انرژی در اقتصاد ایران است. به عنوان هدف جانبی، تأثیر بهبود کیفیت انرژی در ارتقای بهره‌وری کل عوامل و کاهش شدت انرژی بررسی شده است. به این منظور از روش تجزیه شاخصی، روش‌های اقتصادسنجی خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی و خودرگرسیون برداری ساختاری (رویکرد بلانچارد-کوآ) برای دستیابی به اهداف پژوهش بهره‌برده شده است. نتایج تجزیه شدت انرژی در دوره ۱۳۵۳-۱۳۹۱ نشان می‌دهد که ناکارایی مصرف انرژی اصلی‌ترین عامل پیش‌برنده شدت انرژی است. بنابر نتایج الگوهای برآوردی، رابطه شدت انرژی با درآمد سرانه حقیقی، خطی و مثبت بوده و کاهش درآمدی تقاضای انرژی بزرگ‌تر از واحد است. رشد سهم بخش صنعت از تولید، ارتقای بهره‌وری کل عوامل تولید و افزایش قیمت نسبی انرژی در بلندمدت و کوتاه‌مدت، از شدت انرژی می‌کاهد. از نظر درجه اهمیت به ترتیب عوامل مرتبط با بهره‌وری کل، عامل قیمتی، عامل ساختاری و در آخر عامل درآمدی تأثیر بیشتری بر شدت انرژی خواهند داشت. همچنین اثر بهبود کیفیت انرژی بر کاهش شدت انرژی از کانال ارتقای بهره‌وری کل تأیید شد.

طبقه‌بندی JEL: O43, O4, O13

واژه‌های کلیدی: اقتصاد ایران، بهره‌وری کل عوامل تولید، شدت انرژی، کارایی انرژی، کیفیت انرژی.

## مقدمه

شدت انرژی شاخصی پولی برای اندازه‌گیری کارایی انرژی است که با بررسی تحولات و شناسایی عوامل تأثیرگذار بر آن ضمن تحلیل نحوه تعامل یک اقتصاد با منابع انرژی، می‌توان روند کارایی انرژی و عوامل تعیین‌کننده بهره‌وری انرژی را مشخص کرد. اطلاعاتی که از این طریق به دست می‌آید، در سیاست‌گذاری‌های کلان انرژی و اقتصاد برای دستیابی به توسعه پایدار کلیدی خواهد بود و درک صحیحی از ابزار مناسب در سیاست‌گذاری‌های حوزه انرژی به دست می‌دهد.

کاهش شدت انرژی به معنای حفاظت بیشتر از منابع طبیعی، امنیت انرژی پایدار و کاهش هزینه‌های تولید است. از این رو تمامی کشورها در پی راه‌های ممکن برای کاهش شدت انرژی و به تبع آن بهبود کارایی انرژی‌اند؛ اما بر خلاف آنچه در جهان در حال وقوع است، اقتصاد ایران نه تنها در مسیر کاهش شدت انرژی قرار ندارد، بلکه همچنان با هر واحد رشد اقتصادی، انرژی بیشتری نسبت به قبل مصرف می‌کند و فرایند تولید خود را متکی بر وفور نهاده انرژی بنا نهاده است. با استمرار وضع کنونی علاوه بر اینکه ایران بازارهای رو به رشد انرژی را از دست خواهد داد، حتی وقوع بحران انرژی را می‌توان برای کشور پیش‌بینی کرد. نتیجه این‌گونه مصرف فزاینده و ناکارای انرژی نه تنها هدر رفتن منابع، کاهش رشد اقتصادی فعلی و تهدید بالقوه برای رشد آتی است، که تخریب‌های زیست‌محیطی بسیاری هم به کشور تحمیل شده است. به‌طور مثال مطابق گزارش آژانس بین‌المللی انرژی (IEA، ۲۰۱۵) در سال ۲۰۱۲ تنها از طریق سوزاندن سوخت‌ها در ایران ۵۳۲ میلیون تن کربن دی‌اکسید تولید شده و شدت انتشار کربن دی‌اکسید نیز به ازای هر دلار تولید ناخالص داخلی برابر ۲/۱۷ کیلوگرم بوده است که ایران در این عملکرد جزء ۱۰ کشور اول دنیا قرار دارد.

پرداختن به عوامل تعیین‌کننده و مؤثر بر شدت انرژی برای اقتصاد ایران در این برهه زمانی که با اجرای قانون هدفمندسازی یارانه‌ها و اصلاح قیمت حامل‌های انرژی تقارن دارد، دارای اهمیتی بیش از پیش است. در این برهه پرسش مهم این است که سهم قیمت انرژی در توضیح شدت انرژی کشور تا چه حد بوده و عوامل دیگر تعیین‌کننده سطح شدت انرژی و نحوه تأثیر آنها بر این شاخص به چه صورت است؟

در ادبیات اقتصادی نشان داده شده که تغییرات شدت انرژی به سه عامل تقسیم می شود: تغییر تقاضا ناشی از قیمت، تغییر تقاضا ناشی از درآمد و بهبود مستقل کارایی انرژی<sup>۱</sup> (آذر و دولت آبادی، ۱۹۹۹)، که منظور از بهبود مستقل کارایی انرژی کاهش در شدت انرژی است که به سبب قیمت های انرژی نبوده و این عامل غیر قیمتی شامل تغییرات ساختاری و فنی است. بدیهی است شناسایی عوامل مذکور و به کارگیری صحیح سازوکارهای منتج از آنها در کنار اصلاح قیمت های انرژی می تواند به سیاست گذاری بهینه تری در مسیر بهبود شدت انرژی ختم شود.

هدف از این پژوهش پرداختن به عوامل قیمتی و غیر قیمتی مؤثر بر شدت انرژی در اقتصاد ایران و تعیین تأثیر این عوامل در شکل گیری روند شدت انرژی و تمرکز بر جنبه های کمتر توجه شده رابطه انرژی و اقتصاد است تا شناخت بهتری از تحولات شدت انرژی به دست آورد و بتوان سیاست های اقتصادی کارا تری برای بهبود روند کارایی انرژی به کار گرفت.

در ادامه مبانی نظری و پیشینه پژوهش های مرتبط خارجی و داخلی مرور شده و سپس برای شناخت بهتر تحولات شدت انرژی با تکنیک تجزیه شاخصی تغییرات این متغیر تجزیه و تحلیل خواهد شد، پس از آن الگوها و روش شناسی تحقیق معرفی و در آخر نتایج تحقیق تفسیر خواهد شد. آخرین بخش مقاله نیز به نتیجه گیری و پیشنهادها اختصاص دارد.

## مروری بر مبانی نظری

### ۱. درآمد و ساختار اقتصادی

در فرایند توسعه اقتصادی، دگرگونی های ساختاری در سبک زندگی جامعه، رفتارهای مصرفی و ساختار تولیدی یک کشور به تغییراتی در شدت انرژی آن کشور می انجامد. محققان اقتصاد انرژی معتقدند که شدت انرژی یک کشور همگام با رشد درآمد سرانه ابتدا از یک فاز رشد گذشته و قبل از رسیدن به یک نقطه عطف کاهش می یابد. از این رو رابطه آن با درآمد سرانه به شکل U معکوس خواهد بود (مدلاک و سولیگو<sup>۲</sup>، ۲۰۰۱). علت آن

1. Autonomous Energy Efficiency Improvements  
2. Medlock and Soligo

نرخ رشد گوناگون بخش های اقتصادی در سطوح گوناگون توسعه است. در واقع اعتقاد بر این است که در خلال فرایند توسعه اقتصادی و در فاز صنعتی شدن به سبب گسترش صنایع مادر، زیرساخت ها و دیگر فعالیت های اقتصادی انرژی بر مصرف انرژی افزایش می یابد، سپس در فاز پساصنعتی به دلیل افزایش صنایع خدماتی و فناوریانه که اقتصاد را از وابستگی به مواد اولیه خارج می کند، شدت انرژی کاهش می یابد. دگرگونی ساختار اقتصادی تأثیری واضح بر مصرف انرژی دارد. با توسعه اقتصادی، اقتصاد از روستایی و کشاورزی محوری به شهرنشینی و صنعت و سپس تولیدات خدماتی روی می آورد. در همین حال ثروت مصرف کنندگان نیز افزایش می یابد که به تبع آن تقاضای کالاهای کارخانه ای و با فناوری برتر، خدمات مالی و رفاهی نیز افزایش پیدا می کند. این دگرگونی های ساختاری در مصرف و تولید ساختار انبار سرمایه مورد استفاده را نیز تغییر می دهد. محاسبه مقداری این دگرگونی های ساختاری در روند شدت انرژی از طریق ابزار تحلیلی شاخص تجزیه<sup>۱</sup> انجام می گیرد.

## ۲. فناوری

تقاضای انرژی یک تقاضای مشتق شده<sup>۲</sup> و برآمده از مصرف دیگر کالاهاست. انرژی برای خودش مصرف نمی شود، بلکه ترکیب آن با انبار سرمایه (تجهیزات و لوازم) برای خدماتی مانند حمل و نقل و تولید کالاها به منظور دستیابی به سطحی از رضایت مندی مصرف می شود. بنابراین مصرف انرژی به کارایی انرژی، نرخ بهره گیری<sup>۳</sup> از انبار تجهیزات و مقیاس عملیاتی<sup>۴</sup> وابسته است. در نتیجه خواهیم داشت:

$$E = \frac{u}{\varepsilon} K \quad (1)$$

که در آن E مصرف انرژی، u نرخ بهره مندی از سرمایه، ε کارایی انرژی سرمایه و K انبار سرمایه است. همان گونه که فرمول ۱ نشان می دهد، بهبود کارایی انرژی از طریق ارتقای فناوری انرژی اندوز یکی از سازوکارهای اصلی کاهش مصرف انرژی است. توسعه

- 
1. Decomposition Index
  2. Derived demand
  3. Utilization rate
  4. The scale of the operation

فناوری یک اقتصاد را توانمند می‌سازد که از انرژی کمتری برای رفع نیازهای اقتصادی بهره‌برد. دگرگونی فناوری به شکل انتقال منحنی تولید یکسان انجام می‌گیرد که تولید هر واحد از محصول را با اندازه کمتری نهاد می‌کند. برای نشان دادن چگونگی تأثیر پیشرفت فناوری بر شدت انرژی یک اقتصاد سه‌بخشی دربرگیرنده بخش‌های کشاورزی A، صنعت I و خدمات S را در نظر می‌گیریم. جمع مصرف انرژی بخش‌ها، انرژی مصرف‌شده کل اقتصاد را نشان می‌دهد ( $E = E_A + E_I + E_S$ ). شدت انرژی در هر بخش را با  $E_i / Y_i$  نشان می‌دهیم که  $Y_i$  تولید هر بخش و  $i$  هر بخش را نشان می‌دهد و جمع تولید هر سه بخش هم تولید کل اقتصاد است. پس شدت انرژی کل اقتصاد به شکل زیر خواهد بود:

$$\frac{E}{Y} = \frac{E_A + E_I + E_S}{Y} = \frac{E_A}{Y_A} \cdot \frac{Y_A}{Y} + \frac{E_I}{Y_I} \cdot \frac{Y_I}{Y} + \frac{E_S}{Y_S} \cdot \frac{Y_S}{Y} \quad (2)$$

$$\frac{E}{Y} = \frac{E_A}{Y_A} \theta_A + \frac{E_I}{Y_I} \theta_I + \frac{E_S}{Y_S} \theta_S \quad (3)$$

که در آن  $\theta_i$  سهم بخش  $i$  از کل تولید اقتصاد است و  $\theta_A + \theta_I + \theta_S = 1$ . بنابراین، شدت انرژی کل حاصل مجموع وزنی شدت انرژی هر بخش است. با توجه به روابط مذکور می‌توان نحوه تأثیر فناوری بر شدت انرژی را نشان داد (مدلاک، ۲۰۱۱):

$$\frac{E}{Y} = \frac{\left(\frac{u_A}{\varepsilon_A}\right) K_A}{Y_A} \theta_A + \frac{\left(\frac{u_I}{\varepsilon_I}\right) K_I}{Y_I} \theta_I + \frac{\left(\frac{u_S}{\varepsilon_S}\right) K_S}{Y_S} \theta_S \quad (4)$$

براساس رابطه ۴ افزایش در کارایی انرژی (بهره‌مندی از فناوری‌های جدید) در هر بخش به کاهش شدت انرژی آن بخش و شدت انرژی کل می‌انجامد. به‌طور مثال اگر از رابطه ۴ نسبت به کارایی انرژی بخش صنعت دیفرانسیل بگیریم، این مسئله مشخص می‌شود:

$$\frac{d(E/Y)}{d\varepsilon_I} = -\frac{\left(u_I / \varepsilon_I^2\right) K_I}{Y_I} \theta_I < 0 \quad (5)$$

شایان ذکر است که بیشترین تأثیر فناوری بر بخشی خواهد بود که بیشترین سهم را از تولید کل دارد. ارزشمندی این مسئله برای سیاست‌گذاری‌های انرژی است.

### ۳. قیمت انرژی

با افزایش قیمت انرژی، انگیزه‌ای وجود دارد که دارندگان سرمایه‌های انرژی بر افزایش کارایی انرژی متمایل شوند که 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. در کوتاه‌مدت با افزایش قیمت انرژی، هزینه‌های استفاده از سرمایه نیز افزایش می‌یابد، زیرا سرمایه و فناوری ثابت‌اند. بنابراین، مصرف‌کننده انرژی پرتفوی خود را با کاهش مصرف انرژی تا حد ممکن بهینه‌سازی می‌کند. از آنجا که سرمایه و تکنولوژی در کوتاه‌مدت ثابت‌اند، این تنها با کاهش یافتن نرخ استفاده از سرمایه امکان‌پذیر است و نتیجه این کاهش علاوه‌بر کاهش تقاضای انرژی، کاهش فعالیت اقتصادی نیز خواهد بود. در بلندمدت، با امکان‌پذیری دگرگونی سرمایه و فناوری، هنوز هم کاهش تقاضای انرژی اتفاق می‌افتد، اما با دگرگونی‌های فناوری و انبار سرمایه، انبار قدیمی با سرمایه جدید و فناوری‌های انرژی-کارا جایگزین می‌شود. در بازارهای رقابتی، قیمت‌های نسبی انرژی، سرمایه و نیروی کار تعیین‌کننده فناوری انتخابی‌اند. قیمت‌های بیشتر انرژی فناوری‌های انرژی‌اندوز 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.

در نظریه اقتصادی دلایل بروز ناکارایی در مصرف انرژی با ادبیات شکاف کارایی انرژی<sup>۱</sup> توضیح داده می‌شود که بیانگر بهینه نبودن تصمیمات کارگزاران اقتصادی در انتخاب فناوری‌ها و تصمیمات مصرف انرژی است.<sup>۲</sup> مهم‌ترین و اصلی‌ترین دلیل بروز شکاف کارایی انرژی به واقعی نبودن قیمت نسبی انرژی برمی‌گردد که اغلب ناشی از پرداخت یارانه‌های انرژی و پایین نگه‌داشتن مصنوعی قیمت است و یک مانع بازاری<sup>۳</sup> تلقی می‌شود. قیمت نسبی مهم‌ترین سیگنال اطلاعاتی بازار است که مصرف‌کنندگان و

1 . The Energy Efficiency Gap

۲. شکاف کارایی انرژی را می‌توان مسئله‌ای مرتبط با شدت و چگونگی نفوذ و بهره‌گیری از فناوری‌های انرژی-کارا دانست و وضعیتی را نشان می‌دهد که گزینه‌های کارگزاران اقتصادی که مصرف‌کننده انرژی هستند، به گونه‌ای است که کارایی و مصرف بهینه انرژی را آن‌طور که به کارایی اقتصادی منجر شود، در پی نخواهد داشت.

3. Market barriers

تولیدکنندگان دریافت می‌کنند. واقعی نبودن قیمت نسبی انرژی بازار انرژی را با اولین مانع کارایی آن مواجه می‌کند و بدیهی است که مخدوش بودن سیگنال اطلاعاتی این بازار نیز به ناکارایی در تصمیمات بازیگران بازار ختم می‌شود. قیمت نسبی انرژی پایین همواره تصمیمات سرمایه‌گذاری در تجهیزات و فناوری‌های با کارایی انرژی بیشتر را بی‌اهمیت می‌کند، زیرا دلیل اقتصادی وجود نخواهد داشت که کارگزار اقتصادی هزینه‌های اولیه زیادی برای سرمایه‌گذاری در کارایی انرژی انجام دهد، در حالی که سهم مخارج انرژی در سبد هزینه‌های او ناچیز است. مسئله زمانی حادث می‌شود که کارگزار اقتصادی بداند روند آتی قیمت‌های نسبی انرژی نیز به سیر گذشته ادامه خواهد داد و کاهش خواهد یافت. اینجاست که حتی منافع آتی سرمایه‌گذاری در کارایی انرژی هم از میان خواهد رفت و تخمین سرمایه‌گذاران از عایدی آتی ناشی از صرفه‌جویی انرژی تورش رو به پایین شدیدی پیدا خواهد کرد. این پدیده نیز به افزایش نرخ تنزیل ضمنی در سرمایه‌گذاری‌های کارایی انرژی منجر می‌شود. افزایش نرخ تنزیلی که ترجیحات زمانی کارگزاران اقتصادی را نشان می‌دهد، هر گونه تصمیم کارایی انرژی را دوباره به مخاطره می‌اندازد ( لینارس و لابانديرا<sup>۱</sup>، ۲۰۱۰؛ گیلینگام و پالمر<sup>۲</sup>، ۲۰۱۳).

#### ۴. بازبودن تجاری و اقتصادی

باز بودن تجاری سه اثر مقیاس، اثر تکنیکی و اثر ترکیبی بر شدت انرژی دارد. تجارت جهانی فعالیتهای اقتصادی را افزایش می‌دهد و بنابراین به تغییراتی در مصرف انرژی به سبب دگرگونی فعالیتهای اقتصادی منجر می‌شود، که اثر مقیاس خوانده می‌شود. اثر ترکیبی جهشی ساختاری در فعالیتهای اقتصادی را نشان می‌دهد و اثر آن ممکن است مثبت یا منفی باشد که به الگوی تخصص اقتصادها و مزیت‌های نسبی گوناگون آنها بستگی دارد. اثر ترکیبی مصرف انرژی یک کشور را زمانی کاهش می‌دهد که اقتصاد آن در بخش‌های با انرژی‌بری کمتر تخصص دارد. اثر تکنیکی به تأثیر باز بودن اقتصادی بر بهره‌گیری از فناوری‌های انرژی‌اندوز و بهره‌مندی از تجارب جهانی در اقتصاد داخلی اشاره دارد. انتقال فناوری‌های انرژی-کارا از طریق سرمایه‌گذاری خارجی

1. Linares and Labandeira  
2. Gillingham and Palmer

یا تجارت جهانی اثر مستقیم تکنیکی است و اثر باز بودن اقتصادی بر رشد اقتصادی و افزایش درآمد سرانه و به تبع آن گرایش عمومی به سمت محیط زیست پاک تر به اثر غیرمستقیم تکنیکی اشاره دارد. باز بودن بازرگانی این امکان را برای کشورهای در حال توسعه مهیا می‌سازد که از فناوری‌های کشورهای توسعه یافته در مسیر کاهش وابستگی به نهاده‌هایی مانند انرژی حرکت کنند، از این رو می‌تواند تأثیری مثبت از آن بر بهره‌وری انرژی انتظار داشت (شهباز<sup>۱</sup> و دیگران، ۲۰۱۴).

### ۵. کیفیت انرژی

مصرف نهایی انرژی ارزش جمع‌شده مصرف از منابع و حامل‌های گوناگون انرژی در اقتصاد است، به طوری که همه منابع انرژی بهره‌وری اقتصادی یکسانی ندارند. ناهمسانی این بهره‌وری، کیفیت انرژی تعریف می‌شود. کلوند و دیگران (۲۰۰۰) کیفیت انرژی را «سودمندی نسبی اقتصادی به ازای هم‌ارز گرمایشی سوخت‌های گوناگون» تعریف می‌کنند. چنانچه ناهمسانی میان منابع انرژی گوناگون را در نظر بگیریم، به دلیل جهش از سوخت‌های با کیفیت کمتر به کیفیت بیشتر یا دگرگونی در ترکیب کاربردهای سوخت‌ها و اختراعات جدیدتر و مفیدتر، ممکن است کارایی انرژی در طول زمان افزایش یابد. دگرگونی‌های فنی که کیفیت انرژی را بهبود می‌دهند نیز در رشد TFP انعکاس خواهند یافت. شور و نشرت<sup>۲</sup> (۱۹۶۰) از اولین پژوهشگرانی بودند که ارزشمندی اقتصادی کیفیت انرژی را نشان دادند. آنها بیان کردند که جهش به کیفیت انرژی بیشتر، انرژی لازم برای تولید یک واحد پولی GDP را کاهش می‌دهد. کافمن<sup>۳</sup> (۲۰۰۳) جهش مصرف انرژی از زغال سنگ به نفت را در کاهش شدت انرژی برای آمریکا مؤثر دانست. کینگ<sup>۴</sup> (۲۰۱۰) نیز با بررسی اقتصاد آمریکا، شواهدی از تأثیر کاهش کیفیت انرژی در بروز رکودهای اقتصادی بیان می‌کند.

---

1. Shahbaz  
2. Schurr and Netschert  
3. Kaufmann  
4. King



### مروری بر پیشینه پژوهش

در مطالعات مرتبط با شدت انرژی، تجزیه شدت انرژی به عوامل تشکیل دهنده آن از جمله موضوعات مورد توجه محققان بوده است. به طور مثال کورنیلیه و فنکهاوزر<sup>۱</sup> (۲۰۰۴) با تجزیه شدت انرژی کشورهای در حال گذار در دوره ۱۹۹۲-۱۹۹۸ نتیجه می گیرند که قیمت انرژی و دگرگونی های ساختاری دو عامل مهم تعیین کننده کارایی انرژی در این کشورهاست. وینگ<sup>۲</sup> (۲۰۰۸) کاهش شدت انرژی آمریکا در دوره ۱۹۶۰-۲۰۰۰ را به دلیل دگرگونی های ساختاری در ترکیب صنایع و توسعه فناوریانه متنوع، وجود آثار انتقالی برآمده از جهش قیمت های نسبی انرژی و صرفه جویی های حاصل از آن می داند. کافمن (۲۰۰۴) «مکانیسم بهبود مستقل کارایی انرژی» را برای آمریکا در دوره ۱۹۲۹-۱۹۹۹ بررسی کرده و به کاهشی در شدت انرژی توجه داشته که به دلیل دگرگونی های قیمت انرژی نبوده است. یافته های وی نشان می دهد که نوع سوخت های مصرفی و مخارج مصرفی خانوار بر انرژی و قیمت انرژی بر دگرگونی های شدت انرژی مؤثر است و بهبود مستقل کارایی انرژی به سبب دگرگونی های فنی یا ساختاری ایجاد شده است. استرن<sup>۳</sup> (۲۰۱۲) با استفاده از یک الگو مرز تولید تصادفی<sup>۴</sup> مدلسازی روند کارایی انرژی را در ۸۵ کشور در طول دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۷ انجام داد. براساس نتایج وی رابطه مثبت بین کارایی انرژی با بهره وری کل عوامل تولید، پول کمتر ارزش گذاری شده<sup>۵</sup> و ذخایر کمتر سوخت های فسیلی، شفافیت و دگرگونی های فناوریانه وجود دارد. همچنین رابطه درجه باز بودن تجاری و شدت انرژی مثبت به دست آمده که می تواند نشان دهنده عدم بهره گیری از فناوری های انرژی کارا و همچنین فعالیت های بیشتر بازرگانی در صنایع انرژی بر باشد. او نتیجه می گیرد که حرکت به سمت دگرگونی های فناوریانه و توسعه سرمایه انسانی به بهبود شدت انرژی و آلودگی زیست محیطی کمک می کند. سادورسکی<sup>۶</sup> (۲۰۱۳) با مطالعه ۷۶ کشور در حال توسعه در دوره ۱۹۸۰-

1. Cornillie and Fankhauser

2. Wing

3. David i. Stern

4. Stochastic production frontier

5. Undervalued currencies

6. Sadorsky

۲۰۱۰ نشان می‌دهد که شدت انرژی با درآمد رابطه منفی، و با شهرنشینی و صنعتی شدن رابطه مثبت دارد. با این حال او اذعان می‌دارد که سیاست‌های افزایش درآمد و اندازه رشد درآمدی می‌تواند به گونه‌ای باشد که بر اثر فزاینده شهرنشینی و صنعتی شدن غالب شود و در نهایت شدت انرژی را کاهش دهد. لی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از داده‌های پانلی در دوره ۲۰۰۹-۲۰۰۰ اثر عوامل ساختار اقتصادی، ساختار مصرف انرژی و پیشرفت فناوری را بر شدت انرژی سه منطقه چین ارزیابی کردند. در این پژوهش پیشرفت فناوری از طریق متغیر TFP که با استفاده از شاخص مالم کوئیست و نهاده‌های نیروی کار، موجودی سرمایه و انرژی برآورد شده، نشان داده شده است. برپایه نتایج، اگرچه عوامل مؤثر بر شدت انرژی در مناطق مختلف یکسان نیست، تغییرات فناوری مهم‌ترین عامل مؤثر بر تغییرات شدت انرژی است و بهبود آن تأثیر بسزایی در بهبود کارایی انرژی خواهد داشت. خیمنز و مرکادو<sup>۲</sup> (۲۰۱۴) در پژوهشی روند شدت انرژی را برای دوره ۱۹۷۰-۲۰۱۰ در یک نمونه ۷۵ کشوری از منطقه آمریکای لاتین بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که بهبود کارایی عامل مهم کاهش شدت انرژی بوده و دگرگونی در ترکیب فعالیت‌های اقتصادی دگرگونی‌های روشنی در شدت انرژی را موجب نشده است. نتایج رگرسیون نشان می‌دهد که درآمد سرانه، قیمت فراورده‌های نفتی، ترکیب انرژی‌ها، رانت منابع طبیعی و رشد تولید ناخالص داخلی عامل‌های تعیین‌کننده شدت انرژی و کارایی انرژی بوده‌اند. همچنین رابطه U شکل میان درآمد سرانه و شدت انرژی و دو شاخص دیگر برای این مجموعه کشورها وجود دارد، یعنی با افزایش درآمد سرانه، شدت انرژی کاهش می‌یابد و در مرحله‌ای صعودی می‌شود، با این حال در شاخه صعودی منحنی، نرخ رشد شدت انرژی کاهشدهنده است. فیلیپوویچ<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۵) عوامل مؤثر بر شدت انرژی را در اتحادیه اروپا بررسی کردند و دریافتند قیمت انرژی به‌ویژه قیمت برق بیشترین تأثیر را بر شدت انرژی دارد و مالیات انرژی ابزار سیاستی مؤثری برای بهبود کارایی انرژی است.

- 
1. Li
  2. Jimenez and Mercado
  3. Filipović



و نیروی کار) بر شدت انرژی کشورهای غیرنفتی و مثبت بودن TFP بر شدت انرژی کشورهای نفتی است.

### الگوی پیشنهادی پژوهش

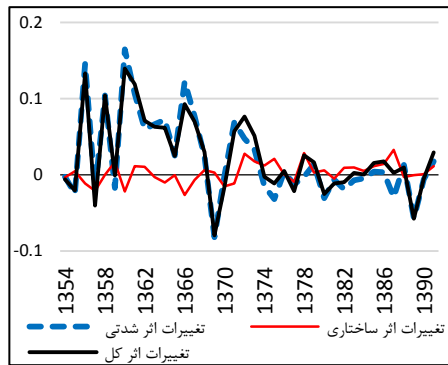
#### ۱. تجزیه شدت انرژی در اقتصاد ایران

تکنیک تجزیه شدت انرژی این قابلیت را فراهم می‌سازد که اثر تغییرات ساختار اقتصادی و کارایی انرژی را بر شدت انرژی یک اقتصاد شناسایی و تفکیک کنیم. اطلاعات به‌دست‌آمده از تجزیه شدت انرژی مفاهیم مستقیمی به منظور سیاست‌گذاری‌های انرژی به‌همراه دارند. شاخص "اثر ساختاری" به‌دست‌آمده از تجزیه نشان‌دهنده اثر ترکیب فعالیت‌های اقتصادی بر شدت انرژی است که تقریباً به‌طور کامل فراتر از حوزه کنترلی سیاست‌گذاران از طریق ابزارهایی مانند تغییر قیمت‌های انرژی است. در مقابل، شاخص "اثر شدتی" به‌طور کامل از عواملی مانند قیمت، مالیات‌ها، استانداردهای مقرراتی، انگیزه‌های مالی و مسائلی از این دست تأثیر می‌پذیرد. بنابراین پیش از برآورد الگوهای تحقیق، تجزیه شدت انرژی به درک بهتر عوامل پیش‌برنده شدت انرژی کمک می‌کند. فرم ریاضی شدت انرژی به‌صورت تابعی از ساختار یک اقتصاد و کارایی انرژی نشان داده می‌شود:

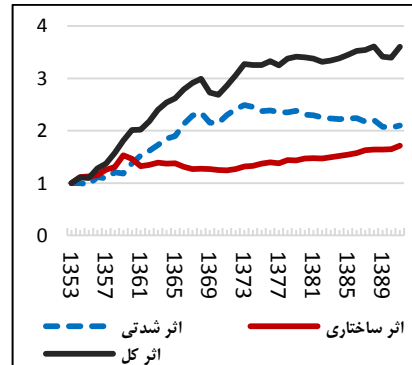
$$I_t \equiv \frac{E_t}{Y_t} = \sum_i \left( \frac{E_{it}}{Y_{it}} \right) \left( \frac{Y_{it}}{Y_t} \right) \equiv \sum I_{it} S_{it} \quad (۶)$$

که در آن  $E_t$  کل مصرف انرژی در سال  $t$ ،  $E_{it}$  مصرف انرژی هر بخش اقتصادی  $i$  در سال  $t$ ،  $Y_t$  تولید ناخالص داخلی در سال  $t$  و  $Y_{it}$  تولید هر بخش  $i$  در سال  $t$  است. بدین ترتیب می‌توان شدت انرژی یک اقتصاد را تابعی از شدت انرژی هر بخش  $I_{it}$  و سهم هر بخش از تولید ناخالص داخلی  $S_{it}$  نشان داد.<sup>۱</sup> نتایج تجزیه روند شدت انرژی ایران در نمودار ۱ و ۲ نشان داده شده است.

۱. برای محاسبه مقداری این تغییرات شاخص‌های مختلفی از جمله شاخص‌های عددی دیویژیا، لاسپیرز و پاشه و شاخص ایده‌آل فیشر معرفی شده‌اند. شاخص ایده‌آل فیشر که از محاسبه میانگین هندسی شاخص لاسپیرز و پاشه حاصل می‌شود، بدون پسماند است که در آن اثر شدتی برابر  $F_t^{int} = \sqrt{\sum I_{it} S_{it} / \sum I_{it} S_{it} \cdot \sum I_{it} S_{it} / \sum I_{it} S_{it}}$  و اثر ساختاری برابر  $F_t^{str} = \sqrt{\sum I_{it} S_{it} / \sum I_{it} S_{it} \cdot \sum I_{it} S_{it} / \sum I_{it} S_{it}}$  است. به این ترتیب اثر ساختاری و اثر شدتی تجزیه‌شده به روش شاخص ایده‌آل فیشر به‌دست می‌آید.



نمودار ۲. رشد اثر ساختاری، اثر شدتی و اثر کل



نمودار ۱. تجزیه شدت انرژی

نتایج تجزیه شدت انرژی نشان می‌دهد که ناکارایی مصرف انرژی (که با اثر شدتی نشان داده می‌شود) سهم عمده‌ای در شدت انرژی ایران دارد، به نحوی که بهبود کارایی منجر به کاهش شدت انرژی و افزایش ناکارایی مصرف انرژی با افزایش شدت انرژی همراه است.

## ۲. الگوهای اقتصادسنجی پژوهش و داده‌ها

در این پژوهش برای شناخت دقیق عوامل مؤثر بر شدت انرژی، چهار الگو را به کار خواهیم گرفت. در الگوی اول، عوامل مؤثر بر شدت انرژی مدلسازی خواهد شد، براساس مبانی نظری ارائه شده و مطالعات پیشین، شدت انرژی ایران را تابعی به شکل زیر در نظر می‌گیریم:

$$EI = f(GDP, IND, RP, TFP, DUM) \quad (7)$$

در الگوی دوم بهره‌وری کل عوامل تولید را به‌عنوان یک فاکتور کلیدی و اثرگذار بر شدت انرژی بررسی خواهیم کرد. بهبود بهره‌وری کل عوامل تولید نه تنها کارایی مصرف انرژی را افزایش می‌دهد، بلکه اصلی‌ترین منبع رشد اقتصادی است. مهم‌تر اینکه از طریق برآورد الگوی TFP اثر بهبود کیفیت انرژی و اثر تکنیکی درجه باز بودن تجاری بر TFP و به تبع آن شدت انرژی ارزیابی خواهد شد. بر این اساس الگوی بهره‌وری کل عوامل تولید را تابعی به شکل زیر در نظر می‌گیریم:

$$TFP = f(QU, TR, SG, DUM) \quad (8)$$

که در آنها، EI شدت انرژی (برابر نسبت مصرف نهایی انرژی به میلیون بشکه معادل نفت خام به تولید ناخالص داخلی به قیمت ثابت سال ۱۳۷۶)، GDP تولید ناخالص داخلی سرانه (درآمد سرانه به قیمت‌های ثابت سال ۱۳۷۶)، RP قیمت نسبی انرژی (برابر با شاخص قیمت انرژی تقسیم بر شاخص ضمنی تولید ناخالص داخلی) است. همچنین TFP بهره‌وری کل عوامل تولید است که با لحاظ کردن انرژی، سرمایه و نیروی کار در تابع تولید و با استفاده از روش شاخص مالک کوئیست محاسبه شده است. TR شاخص درجه باز بودن اقتصاد (برابر با مجموع صادرات غیرنفتی و واردات تقسیم بر هزینه ناخالص ملی به قیمت ثابت سال ۱۳۷۶)، SG نسبت مخارج عمرانی دولت به تولید ناخالص داخلی، QU شاخص کیفیت سبد انرژی و DUM متغیر مجازی است که مقدار آن برای دوره ۵۷-۱۳۵۳ برابر یک و برای سال‌های دیگر، صفر در نظر گرفته شده است.<sup>۱</sup> در الگوی سوم، رابطه غیرخطی شدت انرژی با درآمد سرانه از طریق افزودن متغیر مجذور درآمد سرانه به الگوی اول آزمون می‌شود. پیش از برآورد این سه الگو، باید درجه مانایی متغیرهای به‌کاررفته را شناسایی کرد. به این منظور از آزمون‌های ریشه واحد دیکی-فولر تعمیم‌یافته و زیووت-اندریوز (که شکست ساختاری را نیز در آزمون‌ها لحاظ می‌کند) استفاده شد. براساس نتایج متغیرهای پژوهش همگی در سطح مانا نبوده و برخی در تفاضل مرتبه اول مانا هستند، به عبارتی با هر دو نوع متغیرهای  $I(0)$  و  $I(1)$  مواجه‌ایم.<sup>۲</sup> بنابراین برای برآورد الگوها از روش خودرگرسیون برداری با وقفه‌های توزیعی<sup>۳</sup> ارائه‌شده توسط پسران و شین (۱۹۹۸) استفاده خواهیم کرد که امکان برآورد رابطه تعادلی بلندمدت و کوتاه‌مدت را در این وضعیت به‌خوبی فراهم می‌آورد. اما پیش از برآورد باید با استفاده از آزمون‌های هم‌انباشتگی مناسب، از وجود رابطه بلندمدت باثبات میان متغیرهای الگو اطمینان یافت که به این منظور از آزمون کران‌ها (پسران، شین و اسمیت، ۲۰۰۱) بهره خواهیم برد.

۱. داده‌های مورد نیاز پژوهش از بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران و ترازنامه انرژی وزارت نیرو استخراج شده‌اند و از سال ۱۳۵-۱۳۹۱ را در برمی‌گیرند. فرم تبعی الگوهای پژوهش به شکل خطی بوده و به دلیل سری زمانی بودن داده و خواص مطلوبی که معادلات لگاریتمی-لگاریتمی در اقتصادسنجی سری زمانی دارند، از تمامی متغیرها لگاریتم طبیعی گرفته شده است.

۲. به‌منظور کاهش حجم مقاله نتایج در نسخه نهایی مقاله ارائه نشده، در صورت نیاز قابل ارائه است.

در الگوی چهارم تحقیق، الگوی اول با استفاده روش SVAR مدلسازی شده و از رویکرد بلانچارد-کوا برای شناسایی پارامترهای ساختاری بهره خواهیم برد، زیرا همان طور که می‌دانیم، رابطه میان پدیده‌های اقتصادی اغلب فراتر از رابطه علیت میان آنهاست. اینکه متغیرهای اقتصادی به شوک‌های وارد شده چگونه واکنش نشان می‌دهند و پویایی‌های روابط بلندمدت و کوتاه‌مدت میان آنها به چه شکل است، خود می‌تواند از جمله موارد مورد توجه به‌ویژه در سیاست‌گذاری‌های اقتصادی باشد.

## نتایج پژوهش

### ۱. آزمون وجود رابطه بلندمدت

برای برآورد الگوها ابتدا باید با استفاده از آزمون کران‌ها از وجود رابطه بلندمدت باثبات میان متغیرها اطمینان حاصل کرد. در روش ارائه‌شده توسط پسران، شین و اسمیت<sup>۱</sup> (۲۰۰۱)، فرضیه صفر آزمون نبود رابطه بلندمدت پایدار میان  $y_t$  و  $x_t$  تعریف می‌شود و توزیع حدی آزمون وابسته به فرض  $I(1)$  یا  $I(0)$  بودن متغیرهاست. اما هنگامی که متغیرهای مستقل از یک فرآیند  $I(1)$  و  $I(0)$  پیروی می‌کنند، دو مقادیر مجانبی بحرانی کران‌های ارائه‌شده، آزمون وجود بردار هم‌انباشتگی است. در صورتی که آماره به‌دست‌آمده از آزمون باند از کران بالای مقادیر بحرانی<sup>۲</sup> بزرگ تر باشد، فرضیه صفر رد می‌شود و در نتیجه یک رابطه بلندمدت باثبات را میان متغیرها می‌توان پذیرفت. نتایج آزمون کران‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. آزمون وجود رابطه بلندمدت باثبات

الگوی سطح اطمینان ۹۹ درصد		الگوی بهره‌وری کل عوامل تولید		الگوی شدت انرژی	
I(0)	I(1)	I(0)	I(1)	I(0)	I(1)
۳/۸۱	۵/۴۰	۴/۳۷	۵/۶۹	۴/۰۳	۵/۴۶
کران بالا و پایین مقادیر بحرانی		کران بالا و پایین مقادیر بحرانی		کران بالا و پایین مقادیر بحرانی	
آماره F آزمون کران‌ها		آماره F آزمون کران‌ها		آماره F آزمون کران‌ها	
۶/۳۱		۴/۹۰		۱۵/۸۷	

۱. Pesaran, Shin and Smith

۲. نرایان (۲۰۰۴) مقادیر بحرانی مناسب را برای نمونه‌های کمتر از ۸۰ مشاهده ارائه کرد.

مقدار آماره آزمون باند در الگوی اول و سوم در سطح اطمینان ۹۹ درصد و در الگوی دوم در سطح اطمینان ۹۵ درصد از کران بالای آزمون بزرگتر است، در نتیجه فرضیه صفر آزمون مبنی بر نبود رابطه بلندمدت با ثبات رد شده و فرضیه مقابل تأیید می‌شود. اکنون با اطمینان از کاذب نبودن رگرسیون‌ها، روابط بلندمدت و کوتاه‌مدت الگوهای پژوهش را می‌توان برآورد کرد.<sup>۱</sup>

## ۲. رابطه بلندمدت الگوی شدت انرژی (الگوی اول)

نتایج برآورد رابطه بلندمدت الگوی شدت انرژی (الگوی اول)، در جدول ۲ نشان می‌دهد که رابطه شدت انرژی با درآمد سرانه مثبت و در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنادار است. به طوری که با ۱ درصد افزایش درآمد سرانه، شدت انرژی با فرض ثبات سایر شرایط معادل ۰/۹ درصد افزوده می‌شود.<sup>۲</sup> ضریب برآورد شده برای متغیر سهم صنعت از تولید نیز در سطح اطمینان حداقل ۹۵ درصدی معنادار است و نشان می‌دهد که با افزایش ۱ درصد سهم بخش صنعت از تولید ناخالص داخلی، شدت انرژی معادل ۰/۵۹ درصد کاهش می‌یابد. علامت منفی این ضریب بدان معناست که در دوره مورد بررسی، رشد سهم صنعت از تولید ناخالص داخلی با کاهش شدت انرژی همراه بوده است. از این نتیجه می‌توان استنباط کرد که بخش صنعت، بهره‌وری متوسط بیشتری در مصرف نهاده انرژی نسبت به سایر بخش‌ها دارد. می‌توان نشان داد که رشد سهم بخش با انرژی‌بری کمتر نسبت به بخش‌های اقتصادی با انرژی‌بری بیشتر، با کاهش شدت انرژی همراه است.<sup>۳</sup> ضریب به‌دست‌آمده برای متغیر

۱. برای بررسی صحت تصریح الگوها از آزمون‌های خودهمبستگی بروش-پاگان، آزمون ناهمسانی واریانس وایت، آزمون نرمالیتی جاک-برا و آزمون ریست رمزی و آزمون‌های CUSUM و CUSUMSQ برای ثبات ساختاری استفاده شد، برای کاهش حجم مقاله این نتایج در نسخه نهایی مقاله حذف شده‌اند و در صورت نیاز قابل ارائه است.

۲. از آنجا که متغیرها به شکل لگاریتم طبیعی وارد مدل شده‌اند، ضرایب به‌دست‌آمده از روابط بلندمدت و کوتاه‌مدت همان کشش متغیر وابسته نسبت به تغییرات متغیر مستقل‌اند.

۳. در اقتصاد ایران شدت انرژی سه بخش اقتصادی به صورت  $\frac{E_A}{Y_A} < \frac{E_I}{Y_I} < \frac{E_S}{Y_S}$  است که در آن S بخش خدمات، I

بخش صنعت و A بخش کشاورزی است. اکنون از رابطه ۳ نسبت به سهم بخش صنعت دیفرانسیل می‌گیریم:

$$\frac{d(E/Y)}{d\theta_I} = - \left( \frac{E_A}{Y_A} \cdot \frac{d\theta_A}{d\theta_I} + \frac{E_S}{Y_S} \cdot \frac{d\theta_S}{d\theta_I} \right) + \frac{E_I}{Y_I}$$

رابطه بالا منفی است، زیرا با فرض نسبت پیشین و شرط  $\Delta\theta_A + \Delta\theta_I + \Delta\theta_S = 0$  داریم:



بهره‌وری کل عوامل تولید در سطح اطمینان ۹۹ درصد نشان می‌دهد که با ۱ درصد رشد TFP و با فرض ثبات سایر شرایط، شاهد کاهش ۱/۹۶ درصدی شدت انرژی در بلندمدت خواهیم بود. این بدان معناست که با فرض ثابت بودن سهم نهاده‌ها و سایر شرایط اقتصادی، با بهبود فناوری و انتقال تابع تولید به بالا قادر خواهیم بود که از منابع اقتصادی موجود و به‌ویژه میزان فعلی مصرف انرژی، ارزش افزوده بیشتری تولید کنیم و در نتیجه کارایی انرژی افزایش و شدت انرژی کاهش خواهد یافت. ضریب قیمت نسبی انرژی نیز در سطح اطمینان ۹۹ درصد نشان می‌دهد که با ثابت بودن سایر شرایط، افزایش ۱ درصدی قیمت نسبی انرژی، به کاهش ۰/۱۳ درصدی شدت انرژی منجر می‌شود. این مسئله دقیقاً متناظر با افزایش شیب خط مماس بر منحنی تولید است. به عبارتی دیگر افزایش قیمت نسبی انرژی با افزایش بهره‌وری متوسط نهاده انرژی همراه خواهد بود.

#### جدول ۲. رابطه بلندمدت الگوی شدت انرژی

متغیر وابسته: شدت انرژی					
متغیر مستقل	درآمد سرانه	سهم صنعت از تولید	قیمت نسبی انرژی	بهره‌وری کل عوامل	عرض از مبدأ
مقدار ضریب	۰/۹۰	-۰/۵۹	-۰/۱۳	-۱/۹۶	۱۶/۲۲
آماره t	۴/۸۰	-۲/۵۱	-۳/۴۱	-۸/۷۲	۱۴/۲۱
احتمال	۰/۰۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

#### ۳. رابطه بلندمدت الگوی TFP (الگوی دوم)

بر اساس نتایج رابطه بلندمدت برآورد شده برای الگوی دوم (جدول ۳)، تأثیر مخارج عمرانی دولت، درجه باز بودن تجاری و کیفیت انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید مثبت و در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار به دست آمده است. مطابق با ادبیات اقتصاد انرژی، نتایج برآورد الگوی دوم تأثیر مثبت کیفیت انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید در بلندمدت را تأیید می‌کند. استرن (۲۰۱۱) نیز اذعان داشت که کیفیت متفاوت انرژی میان کشورهای مختلف

$$\left| \frac{E_A}{Y_A} \cdot \frac{d\theta_A}{d\theta_I} + \frac{E_S}{Y_S} \cdot \frac{d\theta_S}{d\theta_I} \right| > \frac{E_I}{Y_I}$$

در نتیجه تأثیر رشد بخش صنعت بر شدت انرژی { "XE شدت انرژی" } منفی خواهد بود.

در تفاوت سطوح بهره‌وری آنها مؤثر است. بهبود کیفیت انرژی، بازده نهایی هر واحد انرژی را بیشتر می‌کند. همچنین استفاده از انرژی با کیفیت بهتر، اغلب با به‌کارگیری دانش جدیدتر و فناوری‌های نو همراه است. ارتقای کیفیت انرژی تلفات انرژی را در فرایند تولید کمتر کرده، وضعیت خطوط تولید را باثبات و کنترل ماشین‌آلات و تجهیزات را آسان‌تر و حتی بهره‌وری نیروی کار و سرمایه را هم بیشتر می‌کند. نسبت مخارج عمرانی دولتی به تولید ناخالص داخلی، هزینه‌های سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها و تملک دارایی‌های سرمایه در هر دوره را توسط دولت نشان می‌دهد. مطابق با نتیجه به‌دست‌آمده مخارج عمرانی دولت در بهبود بهره‌وری کل عوامل تولید مؤثر است. مهم‌ترین نقش دولت، سرمایه‌گذاری در پروژه‌هایی مانند شبکه‌های انتقال و توزیع برق، گسترش ناوگان‌های حمل‌ونقل بهینه، تأسیس سازمان‌های، نظارتی، آموزشی و اطلاع‌رسانی و مواردی از این نوع است که با بهبود و گسترش زیرساخت‌های کشور همراهند. ضریب متغیر درجه باز بودن تجاری نیز مثبت به‌دست آمده است. در نظریه نئوکلاسیک تجارت، آزادسازی تجاری به تخصیص بهینه منابع منجر می‌شود. افزایش درجه باز بودن تجاری سبب افزایش احتمال انتقال فناوری، دسترسی به کالاهای سرمایه‌ای و دستیابی به ایده‌های جدید مدیریت تولید می‌شود. در فرایندی که به رفع موانع تجاری می‌انجامد، کشورها قادرند با تکیه بر مزیت‌های نسبی خود به کارایی بیشتر در تولید دست یابند. ورود بنگاه‌ها به فضای رقابتی اقتصاد جهانی آنها را وادار به افزایش کارایی، حرکت به سمت صرفه‌جویی‌های ناشی از مقیاس و کاهش هزینه‌های تولید می‌کند تا بتوانند در بازار باقی بمانند. نیشی میزو و پیچ<sup>۱</sup> (۱۹۹۱) نیز تأثیر آزادسازی تجاری بر کاهش اتلاف منابع را نشان می‌دهند. از این نظر دور از انتظار نیست که گسترش تعاملات جهانی یک اقتصاد با بهبود بهره‌وری کل از کانال بهبود رشد اقتصادی به بازدهی بیشتر منابع انرژی در فرایند تولید منتهی شود. ضمن اینکه باز بودن تجاری ظرفیت بالقوه‌ای برای سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و به‌تبع آن انتقال فناوری از کشورهای توسعه‌یافته به دیگر کشورها ایجاد می‌کند. این کانال اثرگذاری درجه باز بودن تجاری بر شدت انرژی با نام اثر تکنیکی شناخته می‌شود.

جدول ۳. رابطه بلندمدت الگوی TFP

متغیر وابسته: بهره‌وری کل عوامل تولید				
متغیر مستقل	مخارج عمرانی دولت	درجه باز بودن تجاری	کیفیت انرژی	عرض از مبدأ
مقدار ضریب	۰/۱۰	۰/۱۳	۰/۲۰	۲/۳۰
آماره t	۲/۱۰	۲/۴۶	۲/۱۷	۴/۲۱
احتمال	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۰

## ۴. آزمون رابطه غیرخطی شدت انرژی و درآمد سرانه (الگوی سوم)

در الگوی سوم بنابر مبانی نظری، وجود رابطه غیرخطی شدت انرژی و درآمد سرانه آزمون خواهد شد. براساس تئوری اقتصادی رابطه شدت انرژی و درآمد سرانه به شکل U معکوس است، زیرا در فرایند توسعه اقتصادی نیاز اقتصاد به انرژی متفاوت بوده و در نتیجه در سطوح اولیه توسعه شاهد رشد شدت انرژی خواهیم بود، اما پس از سطح آستانه‌ای این رابطه معکوس می‌شود و با رشد درآمد سرانه شدت انرژی کاهش خواهد یافت. براساس نتایج رابطه بلندمدت این الگو (جدول ۴)، این رابطه U معکوس در صورت وجود بسیار ضعیف است؛ به این معنا که شاخه نزولی منحنی U معکوس بسیار کم‌شیب است. با این حال مطابق با آماره t ضرایب مذکور، هیچ‌کدام در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار نیست. برای اطمینان از این مسئله آزمون زاید بودن متغیر مجذور درآمد سرانه در الگوی پویای مدل ARDL استفاده شد و براساس نتیجه آماره t، F و نسبت راست‌نمایی آزمون، فرض صفر در سطح اطمینان ۹۹ درصد پذیرفته شد. به عبارت دیگر متغیر مجذور درآمد سرانه در الگوی مورد بررسی زاید است. بنابراین براساس نتیجه الگوی اول، می‌توان گفت که رابطه میان شدت انرژی و درآمد سرانه در دوره مورد بررسی خطی و مثبت است. هنگامی رابطه U معکوس به‌وقوع می‌یابد که کشش درآمدی تقاضای انرژی در طول زمان به سمت کوچک‌تر از یک شدن حرکت کند. اما بنابر شواهد تجربی موجود و همچنین ضریب انرژی (کشش درآمدی نقطه‌ای تقاضای انرژی) که برای ایران در دوره ۱۳۵۳-۱۳۹۱ برابر ۱/۰۵ است، تقاضای انرژی در ایران همواره نسبت به درآمد با کشش بوده است.

## جدول ۴. رابطه بلندمدت آزمون رابطه U معکوس درآمد سرانه و شدت انرژی

متغیر وابسته: شدت انرژی						
متغیر مستقل	درآمد سرانه	مجدور درآمد سرانه	سهم صنعت از تولید	قیمت نسبی انرژی	بهره‌وری کل عوامل	عرض از مبدأ
مقدار ضریب	۱/۲۲	-۰/۰۹	-۰/۵۷	-۰/۱۲	-۱/۹۵	۱۵/۸۶
آماره t	۱/۶۴	-۰/۴۴	-۲/۳۹	-۳/۳۶	-۸/۸۰	۱۱/۷۰
احتمال	۰/۱۰	۰/۶۶	۰/۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

۵. روابط کوتاه‌مدت الگوهای شدت انرژی و بهره‌وری کل عوامل<sup>۱</sup>

براساس برآورد الگوهای تصحیح خطا تأثیر متغیرها در دوره کوتاه‌مدت کمتر از بلندمدت است. در الگوی کوتاه‌مدت مهم‌ترین جزء ضریب تصحیح خطاست که سرعت تعدیل به سمت رابطه بلندمدت را نشان می‌دهد. براساس ضریب تصحیح خطای برآوردشده در الگوی اول، با وقوع هر شوک در متغیرهای مؤثر بر شدت انرژی در هر دوره ۲۴ درصد از عدم تعادل‌ها تصحیح خواهد شد، بنابراین تصحیح کامل رابطه کوتاه‌مدت به سمت تعادل تقریباً چهار سال به طول می‌انجامد. ضریب تعیین تعدیل‌شده نیز نشان می‌دهد که الگوی برآوردی ۹۳ درصد از تغییرات شدت انرژی را در دوره مورد بررسی توضیح می‌دهد. براساس نتایج الگوی اول کشش‌های بلندمدت بزرگ‌تر از کشش‌های کوتاه‌مدت‌اند و اصل لوشاتلیه-بران<sup>۲</sup> برقرار است. این مسئله به‌ویژه برای متغیر قیمت انرژی در مدل صدق می‌کند که کشش بلندمدت متناظر آن نسبت به کوتاه‌مدت حدود ۴ برابر است. به‌علاوه کم‌کششی شدت انرژی نسبت به قیمت نسبی انرژی این نکته را نشان می‌دهد که منافع آتی ناشی از بهبود کارایی انرژی بیشتر خواهد بود، زیرا اگر در دوره‌های آتی بهبودی در کارایی انرژی رخ دهد (که به افزایش تولید نهایی نهاده انرژی و کاهش قیمت نسبی آن منجر می‌شود)، اثر ریباند<sup>۳</sup> ناچیزتر خواهد بود. رابطه کوتاه‌مدت الگوی دوم نشان می‌دهد که سرعت تعدیل به سمت رابطه

۱. برای کاهش حجم مقاله جداول ضرایب روابط کوتاه‌مدت در نسخه نهایی مقاله حذف شده‌اند.

2. Le Chatelier-Braun principle

3. Rebound effect

بلندمدت ۵۴ درصد بوده و در دوره کوتاهمدت تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید اغلب توسط خود متغیر و درجه باز بودن تجاری قابل توضیح است و متغیرهای مخارج عمرانی و شاخص کیفیت انرژی در کوتاهمدت اثر معنادار ندارند. بی‌معنا بودن اثر شاخص کیفیت انرژی بر TFP مطابق با مدل نظری و شواهد تجربی جونگ و لی<sup>۱</sup> (۲۰۱۴) است، به طوری که هزینه‌بر بودن فرایند یادگیری در خلال انتقال فناوری برای بهره‌گیری از حامل انرژی سطح بالاتر در کوتاهمدت تأثیر منفی می‌تواند بر بهره‌وری بگذارد. اما در بلندمدت با انطباق بنگاه‌ها و سرمایه‌گذاری در تجهیزات روزآمد و دستیابی به دانش جدید به رشد بهره‌وری می‌انجامد.

#### ۶. توابع واکنش شدت انرژی به تکانه‌ها: رویکرد بلانچارد-کوآ (الگوی چهارم)

در ادبیات اقتصادی اغلب برای بررسی پویایی میان متغیرهای اقتصادی از روش‌های خودرگرسیون برداری ساختاری<sup>۲</sup> استفاده می‌شود که پس از کارهای سیمز<sup>۳</sup> (۱۹۸۶)، برنانکی<sup>۴</sup> (۱۹۸۶) و بلانچارد و واتسون<sup>۵</sup> (۱۹۸۶) پدیدار شد. ویژگی اصلی این روش برقرار کردن روابط آنی<sup>۶</sup> میان متغیرها در چارچوب ساختاری منتج از نظریه اقتصادی است. در رویکرد SVAR تلاش بر این است که براساس نظریه اقتصادی از طریق تحمیل محدودیت‌هایی، شوک‌های ساختاری از میان بی‌نهایت تغییرات تصادفی متغیرها شناسایی و تفکیک شوند تا به تفسیری اقتصادی از شوک‌ها دست یافت. چگونگی شناسایی شوک‌ها خود به دو دسته قیود کوتاهمدت و بلندمدت تقسیم می‌شوند. در محدودیت‌های شناسایی که «کوتاهمدت» نامگذاری می‌شوند، واکنش آنی متغیرها تنها به برخی از شوک‌های ساختاری وجود خواهد داشت. در محدودیت‌های بلندمدت که شاپیرو و واتسون<sup>۷</sup> (۱۹۸۸) و بلانچارد و کوآ<sup>۸</sup> (۱۹۸۹) ارائه کردند، محدودیت‌ها بر روی پویایی‌ها و ضرایب بلندمدت شوک‌های ساختاری اعمال شده و شوک‌ها به دو نوع با آثار

1. Jung and Lee
2. Structural Vector Autoregressive
3. Sims
4. Bernanke
5. Blanchard and Watson
6. Instantaneous relationships
7. Shapiro and Watson
8. Blanchard and Quah

موقت و دائمی تقسیم می‌شوند. اثرات شوک‌های موقتی در طول زمان از بین می‌روند، اما شوک‌های دائمی اثرات دائمی برجای می‌گذارند. برای بهره‌گیری از رویکرد بلانچارد-کوآ در شناسایی شوک‌های موقت و دائمی ابتدا باید یک مدل خودرگرسیون برداری نامقید<sup>۱</sup> برآورد کرد، سپس با تحمیل محدودیت‌های بلندمدت، الگوی ساختاری را ایجاد و شناسا کرد. در نتیجه ابتدا مرتبه بهینه سیستم VAR انتخاب می‌شود. در اینجا وقفه بهینه سیستم را به نحوی انتخاب می‌کنیم که بهترین تصریح الگو را نشان دهد. برای این منظور از آزمون‌های همبستگی سریالی، ناهمسانی واریانس و نرمال بودن پسماندها استفاده می‌کنیم. براساس نتایج آزمون‌های ارائه شده در جدول ۵ سیستم خودرگرسیونی با دو وقفه خواص بهینه‌تری دارد، زیرا وقفه اول از مشکل ناهمسانی واریانس برخوردار است و وقفه سوم نیز پسماندهای نرمال ندارد. اما وقفه دوم حداقل در سطح اطمینان ۹۰ درصد نشان می‌دهد که فروض کلاسیک برقرار است.

سپس براساس رویکرد بلانچارد-کوآ محدودیت‌های بلندمدت را به شکل ذیل به مدل تحمیل می‌کنیم. در نتیجه ۱۵ پارامتر ساختاری باید برآورد شوند و محدودیت‌ها دقیقاً شناسا هستند.

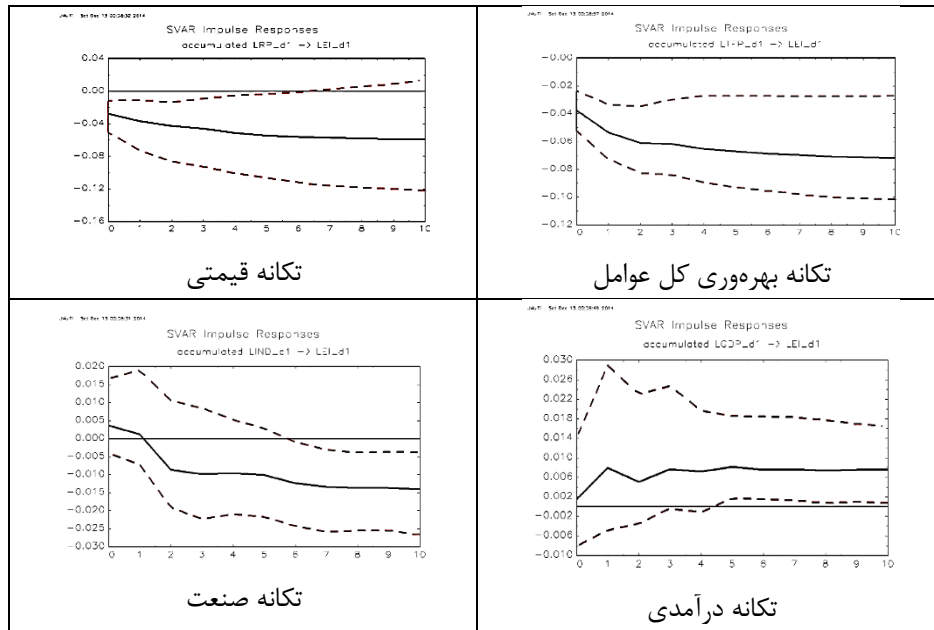
جدول ۵. آزمون‌های تشخیصی تعیین وقفه بهینه مدل SVAR

وقفه نرمالیتی	همبستگی سریالی			ناهمسانی واریانس
	وقفه اول	وقفه چهارم	وقفه دهم	
۱۹/۶۰	۴۳/۸۴	۱۸/۷۲	۲۴/۹۸	۲۱۷/۳۹
[۰/۰۳]	[۰/۰۱۱]	[۰/۲۲]	[۰/۴۶]	[۰/۰۰۳]
۱۸/۸۰	۳۹/۷۳	۲۱/۹۵	۱۳/۳۸	۳۴۲/۱۷
[۰/۰۴۲]	[۰/۰۳۱]	[۰/۶۳]	[۰/۹۷]	[۰/۱۴]
۳۲/۸۰	۲۸/۹۰	۳۵/۵۳	۱۲/۸۰	۴۸۷/۶۱
[۰/۰۰۳]	[۰/۲۶]	[۰/۰۷]	[۰/۹۷]	[۰/۲۲]

\*مقادیر داخل براکت ارزش احتمال آزمون‌ها هستند.

$$\begin{bmatrix} d(LRP) \\ d(LTFP) \\ d(LIND) \\ d(LGDPP) \\ d(LEI) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11}(L) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ A_{21}(L) & A_{22}(L) & 0 & 0 & 0 \\ A_{31}(L) & A_{32}(L) & A_{33}(L) & 0 & 0 \\ A_{41}(L) & A_{42}(L) & A_{43}(L) & A_{44}(L) & 0 \\ A_{51}(L) & A_{52}(L) & A_{53}(L) & A_{54}(L) & A_{55}(L) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_{LRP} \\ \epsilon_{LTFP} \\ \epsilon_{LIND} \\ \epsilon_{LGDPP} \\ \epsilon_{LEI} \end{bmatrix}$$

مطابق با محدودیت‌های بلندمدت مذکور، شوک‌های قیمت نسبی انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید، سهم صنعت از تولید، درآمد سرانه و شدت انرژی اثرات دائمی خواهد داشت. اما شوک‌های متغیرهای دیگر بر قیمت نسبی انرژی اثرات دائمی نمی‌گذارند. شوک‌های بهره‌وری کل عوامل تولید نیز بر صنعت، درآمد سرانه و شدت انرژی اثر دائمی خواهد داشت. به همین ترتیب شوک‌های وارد بر متغیر شدت انرژی اثر دائمی بر هیچ‌یک از متغیرهای دیگر سیستم نخواهد گذاشت. پس از برآورد پارامترهای فرم ساختاری امکان تجزیه و تحلیل اثر شوک‌های ساختاری متغیرها بر شدت انرژی را با استفاده از توابع واکنش تکانه‌ای خواهیم داشت. این توابع ردیابی واکنش متغیرهای وابسته دستگانه نسبت به شوک‌های هر کدام از متغیرها را ممکن می‌سازد که نتایج آن در شکل ۳ ارائه شده است. بنابر نتایج، یک انحراف معیار شوک دائم وارد به قیمت نسبی انرژی، اثر دائمی بر شدت انرژی دارد و سطح متغیر شدت انرژی را حدود پنج دوره پس از وقوع شوک به سطح تعادل جدید و پایین‌تر از تعادل اولیه پیش از وقوع شوک قیمتی منتقل می‌کند. واکنش شدت انرژی به شوک دائمی TFP کاملاً معنادار، در خلاف جهت است و پس از ۱۰ دوره تعادلی جدید را به وجود می‌آورد که در نهایت با کاهش شدت انرژی همراه می‌شود. شوک دائمی صنعت در دوره اول با افزایش شدت انرژی همراه می‌شود، اما در دوره‌های بعدی اثر کاهنده دارد و بعد از گذشت شش دوره پس از وقوع شدت انرژی را به سطح تعادل جدیدی که پایین‌تر از تعادل اولیه است، منتقل می‌کند. در آخر شوک‌های درآمدی که به‌طور مستقیم تقاضای انرژی را متأثر می‌کنند، با واکنش مثبت و معنادار شدت انرژی همراه شده و سطح تعادل جدید شدت انرژی پس از طی پنج دوره ایجاد می‌شود.



شکل ۱. واکنش شدت انرژی به یک انحراف معیار شوک‌های ساختاری دائمی

ابزار دیگر مورد استفاده در مدل‌های خودرگرسیون برداری، تجزیه واریانس است. تجزیه واریانس یک آزمون برون‌زایی خارج از دوره نمونه است که نسبت به آزمون علیت گرنجری محدودیت‌های قوی‌تری دارد و نشان می‌دهد که شوک‌های جاری و وقفه‌دار متغیرهای توضیحی بر مقدار جاری متغیر وابسته چقدر تأثیرگذار است (بروکز، ۲۰۰۸). به عبارتی سهم تغییرات هر متغیر را نسبت به تغییرات سایر متغیرها نشان می‌دهد. در جدول ۶ نتیجه تجزیه واریانس ساختاری متغیر شدت انرژی گزارش شده است. در دوره اول سهم خود متغیر شدت انرژی در تغییرات این متغیر کمتر از ۵/۰ درصد است و تغییرات متغیر TFP بیشترین سهم را در توضیح واریانس خطای پیش‌بینی شدت انرژی دارد و حدود ۴/۶۴ درصد تغییرات آن را توضیح می‌دهد. پس از آن قیمت نسبی انرژی است که ۳/۳۴ درصد تغییرات شدت انرژی را توضیح می‌دهد. سهم متغیرهای صنعت و درآمد نیز در دوره اول کمتر از ۷/۰ درصد است. در دوره‌های بعدی با کاهش حدوداً ۵ درصدی سهم TFP و حدود ۱ درصدی قیمت نسبی انرژی، سهم خود متغیر شدت انرژی افزایش می‌یابد و به بیش از ۴



درصد می‌رسد. سهم متغیر صنعت و درآمد نیز از ۰/۵ و ۰/۱ درصد در دوره اول به ۴ و ۲ درصد در دوره‌های بعدی خواهد رسید. با وجود این همچنان بیشترین تغییرات واریانس متغیر شدت انرژی توسط قیمت نسبی و TFP توضیح داده می‌شود که در مجموع ۹۰ درصد از واریانس خطای پیش‌بینی شدت انرژی را شامل می‌شود. به این ترتیب رویکرد بلانچارد-کوا تأیید می‌کند که قیمت نسبی انرژی و تغییرات بهره‌وری کل عوامل تولید (به‌عنوان متغیر جانشین تغییرات فناوری) نقش کلیدی و تعیین‌کننده در شدت انرژی اقتصاد ایران داشته‌اند. به عبارتی دیگر از نظر درجه اهمیت عوامل مذکور در تغییرات شدت انرژی، ابتدا عوامل فناورانه و مرتبط با بهره‌وری کل قرار دارند، دوم عوامل قیمتی، پس از آنها عوامل ساختاری تعیین‌کننده‌اند و عامل درآمدی در درجه اهمیت آخر قرار می‌گیرد.

#### جدول ۶. تجزیه واریانس ساختاری شدت انرژی

دوره	درصد تغییرات واریانس شدت انرژی به علت شوک‌های ساختاری:			
	قیمت نسبی انرژی	بهره‌وری کل	صنعت	درآمد
۱	۳۴/۳۶	۶۴/۴۵	۰/۵۸	۰/۱۰
۵	۳۱/۰۷	۵۸/۷۷	۳/۹۸	۱/۹۹
۱۰	۳۱/۲۰	۵۸/۳۶	۴/۱۴	۲/۰۱
۲۰	۳۱/۲۰	۵۸/۳۴	۴/۱۵	۲/۰۱

#### نتیجه‌گیری

شدت انرژی به‌عنوان یک نماگر اقتصادی از وضعیت کارایی انرژی، از جمله مهم‌ترین شاخص‌هایی است که روند آن چگونگی بهره‌برداری اقتصادی از منابع انرژی را برای دستیابی به ارزش افزوده در فرایند تولید و کسب مطلوبیت در فرایند مصرف نشان می‌دهد. شدت انرژی ایران در حالی از سال ۱۳۵۳ تا ۱۳۹۱ بیش از ۳۴۷ درصد رشد داشته که سایر کشورهای جهان با تلاشی جدی توانسته‌اند از شدت انرژی‌بری خود بکاهند و به روندی نزولی در شدت انرژی دست یابند. اهمیت مسئله در اینجا است که کاهش شدت انرژی ضمن تأمین امنیت انرژی یک اقتصاد به حفاظت از منابع انرژی، رشد اقتصادی بیشتر و دستیابی به توسعه پایدار منتهی می‌شود. اما چرا اقتصاد ایران بر خلاف روند جهانی به این مهم دست نیافته است؟ این پرسش سنگ بنای اولیه این

پژوهش است و شناسایی عوامل قیمتی و غیرقیمتی تعیین کننده روند شدت انرژی در اقتصاد ایران هدف اصلی پژوهش حاضر بوده است. در این زمینه با ارائه چهار الگوی اقتصادسنجی و به کارگیری تکنیک تجزیه شاخصی به بررسی اهداف پژوهش پرداخته شد. براساس برآورد الگوها، نتایج این تحقیق را می توان به شرح زیر خلاصه کرد:

۱. اصلاح قیمت نسبی انرژی باید به عنوان یک اقدام اساسی در راستای افزایش کارایی انرژی و کاهش شدت انرژی تلقی شده و اجرا شود. با این حال باید توجه داشت که واقعی شدن قیمت نسبی انرژی شرط لازم است، ولی کافی نیست. زیرا هر گونه اصلاح قیمت انرژی در بلندمدت باید به بهبود بهره‌وری کل عوامل تولید ختم شود تا اثرگذاری چشمگیری را بر شدت انرژی شاهد باشیم. بنابراین توجه به سایر الزامات ارتقای بهره‌وری ضروری است.

۲. بهره‌وری کل عوامل تولید که نقش شایان توجهی در کاهش شدت انرژی می تواند ایفا کند، مجموعه‌ای پیچیده از عوامل خرد و کلان اقتصادی را در برمی گیرد. این عوامل مواردی مانند وضعیت آموزش نیروی انسانی، سرمایه انسانی، زیرساخت‌های فیزیکی، شفافیت و ثبات اقتصادی، عملکرد نهادها، اندازه بازارها، محیط کسب و کار و مهم‌تر از همه پیشرفت فناوری هستند که با سیاست‌گذاری‌های مناسب در حوزه‌های مربوط می توان به ارتقای بهره‌وری کل عوامل تولید و به تبع آن بهبود در شدت انرژی دست یافت. همان‌طور که اشاره شد، این کاهش شدت انرژی ناشی از عامل قیمتی یا درآمدی نیست و همان بهبود مستقل در کارایی انرژی است.

۳. از آنجا که انرژی یک نهاده ضروری در فرایند تولید و مصرف است، همواره کشش درآمدی تقاضای انرژی مثبت خواهد بود. اما اندازه این کشش به سطوح توسعه یافتگی اقتصاد وابسته است. اگر کشش درآمدی بزرگ‌تر از واحد باشد، با رشد درآمد سرانه شدت انرژی افزایش بیشتری خواهد یافت. بنابراین در فرایند رشد اقتصادی، با فرض ثبات سایر شرایط، شدت انرژی افزایش می یابد. ولی این به معنای ناگزیر بودن رشد شدت انرژی نیست، زیرا براساس نتایج پژوهش تأثیر منفی بهره‌وری کل عوامل تولید بر شدت انرژی بیش از اثر مثبت درآمد سرانه است. بنابراین اگر فرایند رشد اقتصادی متکی بر بهبود بهره‌وری کل عوامل تولید و پرهیز از اتکای بر وفور نهاده‌ای خاص (مانند

انرژی برای ایران) باشد، به‌طور بالقوه رشد اقتصادی با کاهش شدت انرژی همراه خواهد بود، زیرا اکنون این رشد اقتصادی نه به‌سبب مصرف مقدار فیزیکی نهاده‌ها بلکه ناشی از افزایش کارایی آنها خواهد بود.

۴. بخش صنعتی که می‌تواند نسبت به دیگر بخش‌ها از هر واحد انرژی مصرفی خود ارزش افزوده بیشتری تولید کند، به کاهش در شدت انرژی کمک خواهد کرد. در نتیجه پیگیری راهبرد توسعه صنعتی به‌عنوان مکمل دیگر سیاست‌های رشد به سیاست‌گذاران پیشنهاد می‌شود.

۵. بهبود کیفیت انرژی به افزایش بهره‌وری نهاده انرژی منتهی می‌شود که نتیجه نهایی آن علاوه بر ارتقای بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی، منابع انرژی مورد نیاز برای تولید و شدت انرژی را هم کاهش می‌دهد. این مسئله ضرورت توجه سیاست‌گذاران بخش انرژی را به کیفیت سبد حامل‌های انرژی نمایان‌تر می‌کند. بهبود کیفیت انرژی می‌تواند از طریق ارتقای محتوای انرژی حامل‌ها و تغییر در ترکیب سبد حامل‌های انرژی و حرکت از انرژی‌های اولیه به انرژی‌های ثانویه و سطح بالاتر مانند الکتریسیته حاصل شود.

۶. افزایش درجه باز بودن تجاری از طریق آزادسازی تجاری و گسترش تعاملات بین‌المللی یک اقتصاد، ضمن انتقال فناوری و دسترسی به کالاهای سرمایه‌ای مدرن‌تر، زمینه‌های ادغام اقتصادی و ورود سرمایه‌های خارجی به‌ویژه سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی را به اقتصاد داخلی فراهم و به تسریع رشد اقتصادی کمک می‌کند. همچنین تعاملات بین‌المللی بنگاه‌ها آنها را به کاهش هزینه‌ها و بهینه‌سازی فرایند تولید و ادغام می‌کند تا بتوانند در بازارهای صادراتی و رقابتی بین‌المللی فعالیت کنند، در نتیجه افزایش درجه باز بودن تجاری از طریق اثر تکنیکی به بهبود بهره‌وری کل و کاهش شدت انرژی می‌انجامد.

۷. سرمایه‌گذاری دولت در مخارج عمرانی از طریق بهبود بهره‌وری کل می‌تواند به کاهش شدت انرژی کمک کند. در نتیجه تلاش دولت در اجرای برنامه‌های اطلاعاتی، وضع قوانین و استانداردها و بهینه‌سازی زیرساخت‌ها می‌تواند راهکار مؤثرتری نسبت به دیگر سیاست‌های دولتی باشند.

## منابع

۱. ابریشمی، حمید؛ نوری، مهدی و امیر دودابی نژاد (۱۳۸۹). «رابطه قیمت و بهره‌وری انرژی در ایران: بررسی تجربی هم‌انباشتگی نامتقارن»، *فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی*، ۱. ۱۳۸۹، ۱۸ (۵۵)، ۵-۲۲.
۲. اقبالی، علیرضا؛ گسگری، ریحانه؛ مرادی، مهدیس و هادی پرهیزی (۱۳۹۴). «بررسی شدت انرژی در کشورهای نفتی و غیر نفتی»، *تحقیقات اقتصادی* ۱۳۹۴ - ۱۱۰، ۱-۲۰.
۳. بنی‌اسدی، مصطفی و رضا محسنی (۱۳۹۳). «اثر شوک‌های دائمی و موقت بهره‌وری بر شدت مصرف انرژی در ایران (کاربرد روش بلانچارد-کوا)»، *فصلنامه اقتصاد انرژی ایران*، ۱۰، ۱۳۹۳.
۴. بهبودی، داود؛ مهین اصلانی‌نیا، نسیم و سکینه سجودی (۱۳۸۹). «تجزیه شدت انرژی و بررسی عوامل مؤثر بر آن در اقتصاد ایران»، *مطالعات اقتصاد انرژی*، ۱۳۸۹ - ۱۰۸، ۲۶-۱۳۳.
۵. منظور، داود و لیلی نیاکان (۱۳۹۳). «رابطه توسعه اقتصادی و شدت انرژی در کشورهای عضو اکو: مدل رگرسیون داده‌های تابلویی آستانه‌ای یکنواخت»، *فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی*، ۱. ۱۳۹۳، ۲۲ (۶۹)، ۸۳-۱۰۶.
6. Azar, C. & H. Dowlatabadi (1999), "A Review Of Technical Change In Assessment Of Climate Policy." *Annual Review of Energy and the Environment* 24: 513-544.
7. Blanchard, O. J., & Quah, D. (1988). The dynamic effects of aggregate demand and supply disturbances (No. w2737). National Bureau of Economic Research.
8. Brooks, C. (2008). *Introductory econometrics for finance*. Cambridge university press.
9. Cleveland, C. J., Kaufmann, R. K., & Stern, D. I. (2000), "Aggregation and the Role of Energy in the Economy". *Ecological Economics*, 32(2), 301-317.

10. Cornillie, J. & Fankhauser, S. (2004), "The Energy Intensity of Transition Countries". *Energy Economics*, 26(3), 283-295.
11. Enders, W. (2008), *Applied Econometric Time Series*. John Wiley & Sons.
12. Filipović, S., Verbič, M., & Radovanović, M. (2015). Determinants of energy intensity in the European Union: A panel data analysis. *Energy*. Forthcoming.
13. Jung, Y. & Lee, S. H. (2014), "Electrification and Productivity Growth in Korean Manufacturing Plants". *Energy Economics*, 45, 333-339.
14. Kaufmann, R. K. (2004), "The Mechanisms for Autonomous Energy Efficiency Increases: A Cointegration Analysis of the US Energy/GDP Ratio". *Energy Journal*, 25.
15. Jimenez, R., & Mercado, J. (2014), "Energy intensity: A decomposition and counterfactual exercise for Latin American countries". *Energy Economics*, 42, 161-171.
16. Li, Y., Sun, L., Feng, T., & Zhu, C. (2013), "How to Reduce Energy Intensity in China: A Regional Comparison Perspective". *Energy Policy*, 61, 513-522.
17. Medlock III, K.B. & R. Soligo (2001), "Economic Development and End-Use Energy Demand", *the Energy Journal*, 22(2): 77-105.
18. Medlock, K. (2011), *Energy Demand Theory*. Published In: Hunt, L. C., & Evans, J. (Eds.). (2011). *International Handbook on the Economics of Energy*. Edward Elgar Publishing.
19. Narayan, P. K. (2004), "Reformulating Critical Values for the Bounds F-statistics Approach to Cointegration: An application to the tourism demand model for Fuji". <http://arrow.monash.edu.au/hdl/1959.1/36935>
20. Nishimizu, M. & Page, J. (1991), "Trade Policy, Market Orientation and Productivity Change In Industry". *Trade Theory and Economic Reform: Essays in Honor of Bela Balassa*. Cambridge, MA: Brasil Blackwell.
21. Pesaran, M.H., Shin, Y., Smith, R.J. (2001), "Bounds Testing Approaches to the Analysis of Level Relationships". *Journal of Applied Econometrics* 16 289-326.
22. Sadorsky, P. (2013), "Do Urbanization And Industrialization Affect Energy Intensity In Developing Countries?" *Energy Economics*, 37, 52-59.

23. Shahbaz, M., Nasreen, S., Ling, C. H. & Sbia, R. (2014), "Causality between trade openness and energy consumption: What causes what in high, middle and low income countries". *Energy Policy*, 70, 126-143.
24. Shapiro, M., & Watson, M. (1988). Sources of business cycles fluctuations. *In NBER Macroeconomics Annual 1988*, Volume 3 (pp. 111-156). MIT Press.
25. Stern, D. I. (2011), *the Role of Energy in Economic Growth*. Annals of the New York Academy of Sciences, 1219(1), 26-51.
26. Stern, D. I. (2012), "Modeling International Trends in Energy Efficiency". *Energy Economics*, 34(6), 2200-2208.
27. Linares, P. & Labandeira, X. (2010), "Energy Efficiency: Economics and Policy". *Journal of Economic Surveys*, 24(3), 573-592.
28. Gillingham, K. & Palmer, K. (2013), "Bridging the Energy Efficiency Gap". *Resources for the Future*, Discussion Paper, 13-02.
29. International Energy Agency(2014), <http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=Iran>