

## بررسی رابطه بین صنعتی شدن و کارایی انرژی بخش صنعت در ایران

علی اکبر ناجی میدانی<sup>1</sup>

محمد حسین مهدوی عادل<sup>2</sup>

مهدیه عربشاهی دلویی<sup>3</sup>

### چکیده

صنعتی شدن، زیر بنای تحریکات توسعه‌ای در هر کشور و از مهم‌ترین عوامل تحول ساختاری اقتصاد و نیل به اقتصاد بدون اتکاء به درآمدهای نفتی است که موجبات کاهش مصرف انرژی و در نتیجه افزایش کارایی آن را فراهم می‌کند. در این مقاله، رابطه بین صنعتی شدن و کارایی انرژی بخش صنعت در ایران بر اساس داده‌های سالانه در دوره زمانی 1360-1387 مورد بررسی قرار گرفته و بدین منظور از الگوی خود بازگشت با وقفه‌های توزیعی (ARDL) و الگوی تصحیح خطا (ECM) استفاده شده است. نتایج برآورد الگوی پویای بلند مدت، وجود یک رابطه تعادلی بلندمدت بین متغیرهای مدل را نشان می‌دهد. بر اساس این الگو، صنعتی شدن در ایران، تأثیر منفی و معنی‌داری بر کارایی انرژی دارد. همچنین تأثیر نسبت موجودی سرمایه و نیز نیروی کار به ازای هر واحد انرژی بر کارایی انرژی مثبت و معنی‌دار است. اما قیمت نسبی انرژی نتوانسته تأثیر معنی‌داری بر کارایی انرژی بگذارد. نتایج آزمون علیت به روش هشیائو نشان دهنده این است که یک رابطه علی یک‌سویه از سمت صنعتی شدن به کارایی انرژی وجود دارد. بنابراین رهیافت‌های بهبود کارایی، در سایه برنامه‌ریزی و اتخاذ سیاست‌های مناسب در جهت اجرای صحیح استراتژی‌های توسعه صنعتی تجلی خواهد یافت.

**واژگان کلیدی:** صنعتی شدن، کارایی انرژی، علیت، الگوی خود بازگشت با وقفه‌های توزیعی، اقتصاد ایران.

**Keywords:** Industrialization, Energy Efficiency, Causality, ARDL, Iran Economy.

**JEL Classification:** C32, O13, O14, Q40.

<sup>1</sup> استادیار دانشکده علوم اداری و اقتصاد دانشگاه فردوسی مشهد

<sup>2</sup> استاد دانشکده علوم اداری و اقتصاد دانشگاه فردوسی مشهد

<sup>3</sup> کارشناس ارشد اقتصاد انرژی دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسئول)

## 1- مقدمه

یکی از کانال‌های عمده تسریع رشد اقتصادی کشورها، رشد بخش صنعت آن‌هاست. اهمیت صنعت به عنوان محمل تحولات تکنولوژیک، از طریق ایجاد روش‌ها و اختراع ابزارهای نوین تولید، بهره‌وری را در بخش‌های دیگر اقتصاد نیز افزایش می‌دهد. بهبود در بهره‌وری عوامل تولید، میزان استفاده از انرژی در یک سطح مشخص از فعالیت را کاهش می‌دهد. از آن‌جا که پیشرفت تکنولوژی موجب می‌شود برای تولید یک واحد محصول، انرژی کمتری نسبت به قبل مصرف شود، بنابراین سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های جدید و افزایش بهره‌وری نیروی کار موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی شده و کارایی انرژی افزایش می‌یابد.

اتخاذ استراتژی‌های مناسب توسعه صنعتی با تکیه بر فن‌آوری‌های جدید، می‌تواند زمینه‌های بهبود کارایی انرژی در بخش صنعت و به دنبال آن در سایر بخش‌های اقتصادی را فراهم کند. در مقابل، توجه به این مسئله ضروری است که در اقتصادهایی که وفور منابع طبیعی وجود دارد، فراوانی این منابع می‌تواند انگیزه‌های خصوصی و عمومی را برای انباشتن سرمایه‌های انسانی به دلیل وجود سطح بالایی از درآمد غیر دستمزدی (به دلیل وجود معافیت‌های مالیاتی و یا پرداخت‌های اجتماعی و توزیع سودها و یارانه‌های مختلف و ...) کاهش دهد. همچنین توجه به بخش کارخانه‌ای را که برای انباشت سرمایه انسانی یک بخش تولیدی مهم است، کاهش داده و نیاز برای آموزش با کیفیت بالا کاهش یابد. تضعیف صنعت توسط وفور منابع طبیعی منجر به ناکارآمدی و کاهش بیشتر رشد اقتصادی خواهد شد و بر این اساس کارایی انرژی در این بخش کاهش خواهد یافت. این مقاله رابطه صنعتی شدن و کارایی انرژی بخش صنعت را در دوره زمانی 1360-1387 مورد بررسی قرار می‌دهد و شامل 5 بخش است. پس از مقدمه، ادبیات تحقیق در بخش دوم، پیشینه پژوهش در ایران و خارج در بخش سوم و تصریح و برآورد الگو در بخش چهارم ارائه می‌شود. بخش پنجم نیز به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها اختصاص یافته است.

## 2- ادبیات تحقیق

### 2-1- اهمیت صنعتی شدن

صنعتی شدن و توسعه صنعتی از شروط لازم برای پیشرفت اقتصادی و زمینه ساز تحولات ساختاری گسترده در حوزه‌های اقتصادی و فن آوری است. رشد اقتصادی ناشی از صنعتی شدن با اثرات تکاثری و هم افزایی که بر اقتصاد کشورها و ساختار تولیدی آن‌ها می‌گذارد، به ارتقای سطح زندگی و توسعه فعالیت‌های اقتصادی منجر می‌شود. بخش صنعت در مقایسه با فعالیت‌های سنتی، امکانات وسیع‌تر و سریع‌تری را برای پیشرفت تکنولوژیکی در فرآیندهای تولید فراهم می‌کند و کشورهایی که از بخش‌های صنعتی خود غفلت کنند ناگزیر در معرض خطر عقب ماندگی و عقب افتادگی فنی قرار می‌گیرند. به طور کلی، صنعتی شدن از سه جهت قابل اهمیت است؛ اول این که صنعت به عنوان یک زیر مجموعه از اقتصاد، با رشد و شکوفایی خود، درآمد آحاد جامعه را افزایش می‌دهد. دوم، صنعت به عنوان محمل تحولات تکنولوژیک، از طریق ایجاد روش‌ها و اختراع ابزارهای نوین تولید، بهره‌وری را در بخش‌های دیگر اقتصاد نیز افزایش می‌دهد، به طوری که به کارگیری ابزارهای جدید تولید در بخش‌های کشاورزی، خدمات و ساختمان، درآمدزایی این بخش‌ها را نیز افزایش می‌دهد. سوم، توسعه صنعت، ناگزیر در گرو رشد مهارت‌ها و توانمندی‌های علمی و فنی نیروی انسانی است که ارتقاء سطح دانش، خود موجب افزایش درآمد می‌شود. با رشد درآمد، تقاضا برای محصولات مختلف صنعتی و خدماتی افزایش پیدا می‌کند و در چنین محیط اقتصادی مشاغل مختلفی ایجاد می‌شوند که ارتباط تنگاتنگی با هم داشته و به طور چند جانبه‌ای به یکدیگر خدمات ارائه می‌کنند. بدین ترتیب، توسعه صنعتی منجر به توسعه یافتگی جوامع می‌شود. بنابراین اهمیت توسعه صنعتی، تنها رشد و توسعه بخش صنعت یا ایجاد مجموعه‌ای از کارخانجات و ماشین‌آلات صنعتی نیست، بلکه اهمیت آن به خاطر این است که رشد و توسعه بخش صنعت، دیگر فعالیت‌های اقتصادی را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد (سلیمی فر و همکاران، 1388).

مطالعات مختلف شاخص‌های متفاوتی را به عنوان معیارهای وسعت صنعتی شدن مورد استفاده قرار داده‌اند. به عنوان مثال، گراور (1933) اشتغال در صنعت کارخانه‌ای، استرانگ<sup>1</sup> (1937) میزان

<sup>1</sup>. Strong

مصرف برق صنعتی، رایت<sup>1</sup> (1938) ارزش افزوده بخش صنعت، تامپسون<sup>2</sup> (1955)، لینگ<sup>3</sup> (1960) و کانت<sup>4</sup> (1968) یک شاخص ترکیبی مشتمل بر سه شاخص: دستمزد نیروی کار، اشتغال و ارزش افزوده صنعتی را برای اندازه‌گیری توسعه صنعتی استفاده کرده‌اند. با این وجود الکساندر (1958) و الکساندر و لیندنبرگ (1961) عقیده دارند به دلیل وجود همبستگی قوی بین شاخص‌های صنعتی شدن، انتخاب یکی یا ترکیبی از شاخص‌های مذکور نتایج حاصله را به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار نخواهد داد (سلیمی فر و همکاران، 1388). هم‌چنین شهباز و لین<sup>5</sup> (2012) از نسبت ارزش افزوده صنعت به تولید ناخالص داخلی (GDP) به عنوان شاخص صنعتی شدن استفاده نموده‌اند.

## 2-2- کارایی انرژی و عوامل مؤثر بر آن

کارایی مصرف نهایی انرژی، میزان محصولی است که به ازاء هر واحد انرژی مصرفی در یک سیستم تولیدی یا خدماتی حاصل می‌شود و با نسبت ستاده مفید به داده انرژی نشان داده می‌شود (حیدری و صادقی، 1382).

می‌توان گفت منظور از کارایی انرژی در اینجا، کارایی تحقق یافته<sup>6</sup> انرژی یا همان بهره‌وری جزئی انرژی است. در ادبیات بهره‌وری، شاخص‌های بهره‌وری جزئی از تقسیم ارزش افزوده بر مقدار یک نهاد معین به دست می‌آید. بنابراین کارایی انرژی عبارت است از نسبت ارزش افزوده به مقدار انرژی مصرفی (در مطالعات تجربی گاه از شاخص شدت انرژی استفاده می‌شود). شدت انرژی نشان می‌دهد برای تولید مقدار معینی از کالاها و خدمات چه میزان انرژی به کار رفته است و عکس کارایی انرژی است.

برای بررسی عوامل مؤثر بر کارایی انرژی، از تابع تولیدی که شامل سه نهاد نیروی کار، سرمایه و انرژی است، می‌توان استفاده نمود:

$$Y = F(K, L, E) \quad \frac{\partial Y}{\partial E} > 0, \quad \frac{\partial Y}{\partial L} > 0, \quad \frac{\partial Y}{\partial K} > 0 \quad (1)$$

1. Wright (1938)

2. Thompson (1955)

3. Linge (1960)

4. Cant (1968)

5. Shahbaz and Lean (2012)

6. Actual Efficiency

که در آن  $Y$  تولید،  $K$  سرمایه فیزیکی،  $L$  نیروی کار شاغل و  $E$  مقدار انرژی مصرفی می‌باشد. با فرض آنکه تابع فوق همگن از درجه اول است می‌توان نوشت:

$$AP_E = \frac{Y}{E} = F\left(\frac{L}{E}, \frac{K}{E}, 1\right) \frac{\partial F}{\partial \left(\frac{L}{E}\right)} > 0, \frac{\partial F}{\partial \left(\frac{K}{E}\right)} > 0 \quad (2)$$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، بهره‌وری جزئی عامل انرژی تابعی از متوسط سرمایه به ازای هر واحد انرژی و متوسط نیروی کار به ازای هر واحد انرژی مصرفی است. با توجه به اینکه مشتقات جزئی تابع تولید (1) نسبت به هر یک از عوامل تولید بزرگ‌تر از صفر است؛ در رابطه (2) نیز مشتقات جزئی نسبت به  $\frac{L}{E}$  و  $\frac{K}{E}$  بزرگ‌تر از صفر می‌باشند. بنابراین، با افزایش  $\frac{L}{E}$  و  $\frac{K}{E}$ ، بهره‌وری جزئی انرژی یا  $\frac{Y}{E}$  افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، با افزایش متوسط نیروی کار و سرمایه استفاده شده به ازای هر واحد انرژی مصرفی، بهره‌وری انرژی نیز افزایش می‌یابد.

متغیر دیگری که بر بهره‌وری جزئی انرژی مؤثر است، قیمت واقعی انرژی می‌باشد. برای نشان دادن رابطه بهره‌وری انرژی با قیمت واقعی آن، شکل عمومی یک تابع تولید از نوع کاب-داگلاس را با سه عامل نیروی کار، سرمایه و انرژی در نظر می‌گیریم:

$$Q = AL^\alpha K^\beta E^\gamma \quad (3)$$

که در آن  $A$  پارامتر بهره‌وری کل عوامل و  $\alpha$  و  $\beta$  و  $\gamma$  به ترتیب کشش‌های تولیدی نیروی کار، سرمایه و انرژی می‌باشد. با توجه به تابع فوق، فرمول کشش عامل انرژی به شکل زیر به دست می‌آید:

$$\varepsilon_E = \frac{\partial Q}{\partial E} \cdot \frac{E}{Q} = \frac{MP_E}{AP_E} = \gamma \quad (4)$$

با فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس ( $\alpha + \beta + \gamma = 1$ ) و در شرایط رقابت کامل، تولید کننده تا جایی از انرژی استفاده می‌کند که ارزش تولید نهایی انرژی برابر با قیمت انرژی باشد.

$$P \cdot MP_E = P_E \Rightarrow MP_E = \frac{P_E}{P} \quad (5)$$

طبق رابطه (4) و (5) داریم:

$$AP_E = \frac{P_E/P}{\gamma} \quad (6)$$

طبق رابطه (6)، بهره‌وری انرژی ( $AP_E$ ) با قیمت (حقیقی) آن  $P_E/P$  رابطه مستقیم دارد. به عبارت دیگر، افزایش قیمت (حقیقی) انرژی می‌تواند سبب ایجاد انگیزه صرفه‌جویی در مصرف انرژی و استفاده بهینه از آن شود (امینی و یزدی پور، 1387). پیندیک<sup>1</sup> (1979) نیز انرژی را یکی از عوامل تولید و میزان تأثیر قیمت آن بر شاخص بهره‌وری مصرف را، وابسته به کشش جانشینی بین انرژی و سرمایه و نیروی کار ذکر می‌کند. با افزایش هماهنگی قیمت حامل‌های انرژی اگر امکان جانشینی انرژی با سایر عوامل تولید وجود نداشته باشد، سطح تولید پایین می‌آید و افزایش قیمت تأثیر قابل توجهی بر شاخص بهره‌وری مصرف نخواهد داشت. در حالی که اگر جانشینی بین عوامل امکان پذیر باشد با کاهش مصرف، سطح تولید تغییر نکرده و شاخص بهره‌وری بهبود می‌یابد. اغلب تحقیقات انجام شده انرژی، کار و سرمایه را در بلند مدت جانشین یکدیگر می‌دانند در حالی که این عوامل در کوتاه‌مدت به عنوان مکمل یکدیگر شناخته می‌شوند زیرا در کوتاه‌مدت از لحاظ تکنولوژیکی امکان جایگزینی کمتری وجود دارد (ابریشمی و همکاران، 1389).

تکنولوژی، مبین رابطه میان نهاد و بازده تولید است. اگر پیشرفت فنی در نهاده‌ها تجسم یابد، افزایش استفاده از نهاده‌ها منجر به انتقال منحنی تولید به طرف بالا گردیده و در نتیجه، حداکثر تولید قابل حصول ارتقاء خواهد یافت. بنابراین، سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های کارآمد، موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی شده و بهره‌وری انرژی افزایش می‌یابد (امینی و یزدی پور، 1387).

## 2-3- صنعتی شدن و کارایی انرژی

لویس (1954، 1978 و 1980)، کالدور<sup>2</sup> (1966 و 1978) و میردال<sup>3</sup> (1968) معتقدند گسترش بخش صنعت، نیروی محرک رشد اقتصادی و افزایش بهره‌وری در دیگر بخش‌ها است (کریمی و کشاورزی، 1390). همچنین بخش تولیدی فرصت‌های خاصی را برای پیشرفت تکنولوژی فراهم

<sup>1</sup> Pindyck (1979)

<sup>2</sup> Kaldor (1966 & 1978)

<sup>3</sup> Myrdal (1968)

می‌کند که منجر به بهبود در شیوه‌های تولید می‌شود (زیرمای، 2011). پیشرفت‌های تکنولوژیکی به تغییر در دانش تولید محصول و فرآیند تکنولوژی آن مربوط است که منجر به بهبود در شیوه‌های تولید می‌شود. این پیشرفت‌ها عمدتاً از بخش صنعت و به خصوص صنایع کارخانه‌ای شروع شده و به سایر بخش‌ها گسترش می‌یابند. اینکه چگونه تکنولوژی به سایر بخش‌ها تسری می‌یابد به پیوندهای پسین و پیشین مربوط است که این پیوندها در بخش صنعت قوی‌تر از سایر بخش‌ها هستند. هم‌چنین، استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته در تولید، به دانش فنی بالاتر و نیروی انسانی متخصص نیاز دارد که می‌تواند با تحقیق و پژوهش، نوآوری و ارائه طرح‌های جدید خود به ارتقای سطح فن‌آوری کمک کند. سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های جدید و افزایش بهره‌وری نیروی کار موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود. لذا مدرنیزه کردن پروسه تولید، به کیفیت برتر محصول، ارزش افزوده بیشتر، افزایش تولید محصول، ذخیره نیروی انسانی و در نهایت کارایی بالاتر انرژی، منجر می‌شود.

به طور کلی، مصرف انرژی در بخش صنعت به سطح فعالیت‌های اقتصادی و کارایی تجهیزات مصرف‌کننده انرژی بستگی دارد. هر چه سطح فعالیت‌های اقتصادی بالاتر رود، مصرف انرژی افزایش می‌یابد، اما می‌توان با استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته و افزایش کارایی تجهیزات و وسایل مصرف‌کننده انرژی، مصرف انرژی در این بخش را کاهش داد. البته ممکن است وجود اثر بازگشت مانع از تأثیر مثبت پیشرفت تکنولوژی بر کارایی گردد. اثر بازگشت به رفتارها و واکنش‌هایی گفته می‌شود که نسبت به پیشرفت تکنولوژی و افزایش کارایی انرژی به وجود می‌آید و سبب می‌شود تا نتوان به طور کامل به هدف مورد نظر دسترسی پیدا کرد. به بیان دیگر وجود اثر بازگشت موجب می‌شود آن مقدار از مصرف انرژی که با افزایش کارایی انرژی کاهش می‌یابد، کمتر از آن مقداری باشد که انتظار می‌رود کاهش یابد. با پیشرفت تکنولوژی و افزایش کارایی انرژی، هزینه خدمات حاصل از انرژی کاهش می‌یابد، زیرا وسایل و تجهیزاتی که با استفاده از انرژی (به عنوان نهاده تولیدی) خدماتی را برای مصرف‌کنندگان آماده می‌کنند هر واحد از خدمات انرژی را با مصرف انرژی کمتری آماده می‌کنند و در نتیجه هزینه پرداختی مصرف‌کنندگان به ازای هر واحد از خدمات حاصل از انرژی (قیمت خدمات انرژی) کاهش می‌یابد. با کاهش قیمت خدمات انرژی، تقاضا برای انرژی زیاد می‌شود و در نتیجه مصرف انرژی افزایش می‌یابد. از سوی دیگر با کاهش قیمت خدمات انرژی، درآمد واقعی مصرف‌کنندگان

افزایش می‌یابد و تقاضا برای سایر کالاها و خدمات بالا می‌رود. از آنجایی که ممکن است مصرف سایر کالاها با مصرف انرژی همراه باشد، مقداری از انرژی اندوزی بالقوه، بدین ترتیب به چرخه مصرف باز می‌گردد. لذا اثر بازگشت به دلیل اثرات قیمتی و درآمدی کاهش قیمت خدمات انرژی بر مصرف کالاها و خدمات به وجود می‌آید (شرزه‌ای و ابراهیم زادگان، 1390).

از سوی دیگر، در کشورهای غنی از منابع طبیعی، فراوانی این منابع، احساس کاذبی از اطمینان را به وجود می‌آورد. به عبارتی "ثروت‌های بادآورده منجر به تبلی می‌شوند". یک بخش اولیه در حال توسعه، نیازی به نیروی کار با مهارت بالا ندارد و هیچ احساسی از ضرورت افزایش وقت صرف کردن روی آموزش وجود ندارد. این امر توسعه آینده بخش‌های دیگر را که به کیفیت آموزشی نیاز دارند، محدود می‌کند و همچنین سبب کاهش گسترش تکنولوژی در اقتصاد می‌شود. از این رو، با کاهش بهره‌وری عوامل تولید، میزان استفاده از انرژی در یک سطح مشخص از فعالیت افزایش یافته و بنابراین کارایی انرژی کاهش می‌یابد (ابراهیمی و همکاران، 1387).

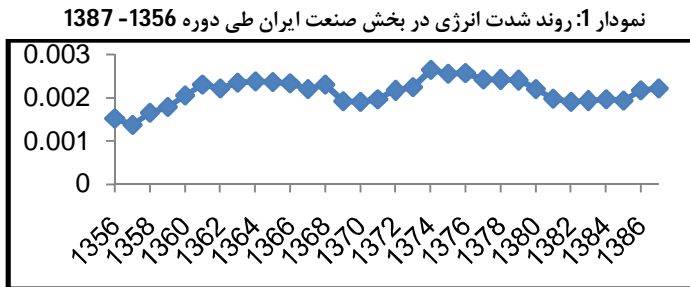
## 2-4- مروری بر روند کارایی انرژی بخش صنعت در ایران

مهم‌ترین شاخصی که در غالب مطالعات به عنوان یک شاخص مهم و معتبر در ارتباط با اندازه‌گیری روند تغییرات کارایی انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد، شاخص شدت انرژی است. شدت انرژی یا انرژی‌بری، مقدار مصرف انرژی (بر حسب میلیون بشکه معادل نفت خام) به تولید ناخالص داخلی (بر حسب میلیارد ریال) است. کشورهای توسعه یافته، به دلیل استفاده از تکنولوژی‌های جدید و مدیریت واحدهای تولیدی، مصرف کنندگان و بهره‌برداران معتدل از منابع و عوامل تولید، توانسته‌اند شدت مصرف انرژی را در بخش‌های اقتصادی خود کاهش دهند. روند نزولی شدت انرژی در کشورهای صنعتی از دهه 1960 آغاز و پس از بحران‌های انرژی سرعت آن بیشتر شده است و با اجرای مدیریت صحیح و صرفه‌جویی در مصرف ذخایر منابع انرژی، مقدار انرژی‌بری هر واحد تولید کاهش یافته است. از این رو، در کشورهای توسعه یافته شاهد روند نزولی شدت انرژی هستیم.

به طور کلی می‌توان گفت با پیشرفت اقتصاد و افزایش درجه توسعه یافتگی شدت انرژی کاهش می‌یابد. عواملی همچون تغییر در ساختار تولید می‌تواند شدت انرژی را تحت تأثیر قرار دهد؛ یعنی



شدت انرژی به میزان تولید و چگونگی مصرف انرژی بستگی دارد. از سوی دیگر، میزان تولید و مصرف خود تابعی از قیمت انرژی است (فطرس و منصورى گرگرى، 1388).  
در نمودار شماره 1، روند کارایی مصرف انرژی در بخش صنعت با استفاده از شاخص شدت انرژی طی سال‌های 1356-1387 نشان داده شده است:



مأخذ: تراز انرژی کشور، سال 1346-1388، وزارت نیرو، امور انرژی، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی

همان طور که در نمودار 1 مشاهده می‌شود، طی چند دهه گذشته، شدت انرژی در بخش صنعت کشور روند توأم با تغییرات قابل توجهی را داشته است. به دنبال نابسامانی‌های اقتصادی ناشی از وقوع انقلاب، شدت انرژی در بخش صنعت شروع به افزایش کرده و این روند تا پایان جنگ تحمیلی (سال 1368) ادامه داشته است. به طوری که شدت مصرف انرژی در بخش صنعت، از سال 1357 (با شدت انرژی معادل 0/001386 میلیون بشکه معادل نفت خام به ازای هر میلیارد ریال ارزش افزوده بخش صنعت)، روند صعودی را آغاز کرده و به مقدار 0/002314 میلیون بشکه معادل نفت خام به ازای هر میلیارد ریال ارزش افزوده‌ی بخش صنعت رسیده است. طی سال‌های برنامه اول توسعه، روند شدت انرژی کاهشی بوده که استفاده از ظرفیت‌های خالی واحدهای صنعتی پس از جنگ تحمیلی به دلیل رفع تنگناها، از دلایل اصلی کاهش شدت انرژی در این سال‌ها می‌باشد. از سال 1374 و همزمان با شروع برنامه دوم توسعه و اجرای سیاست‌های مدیریت صحیح و صرفه‌جویی در مصرف منابع، انرژی لازم برای هر واحد ریالی تولید، روند نزولی داشته و این روند تقریباً تا سال 1386 ادامه داشته است. بنابراین، می‌توان گفت روند کارایی انرژی در سال‌های پس از انقلاب و دوره جنگ تحمیلی کاهش، طی برنامه اول توسعه افزایش و پس از آن نیز روندی افزایشی را داشته است. همان طور که مشاهده می‌شود، شدت مصرف نهایی انرژی در

اواخر دوره مورد بررسی آهنگی ملایم به خود گرفته است که کاهش شدت انرژی طی این سال‌ها ممکن است به دلایل ذیل باشد:

- کاهش شدت انرژی در زیربخش‌ها؛
- کاهش سهم زیربخش‌ها با شدت انرژی بالا از تولید کل صنعت و برعکس، افزایش سهم زیربخش‌ها با شدت انرژی پایین از تولید کل صنعت (که به عنوان تغییرات ساختاری شناخته می‌شود)؛
- استفاده بیش‌تر از فن‌آوری‌های جدید در کارگاه‌ها و کارخانه‌های تولیدی و نیز بهبود تکنولوژی (که کاهش نرخ استفاده از نیروی کار در بخش صنعت به مرور زمان می‌تواند از دلایل آن باشد).

در نتیجه می‌توان گفت روند کارایی انرژی در سال‌های پس از انقلاب و دوره جنگ تحمیلی کاهش، طی برنامه اول توسعه افزایش و پس از آن تا سال 1386 روندی افزایشی داشته است. به طور کلی قیمت‌های پایین انرژی در ایران و نیز حمایت‌های یارانه‌ای غیر هدفمند دولتی در بخش انرژی از دلایل عمده بالا بودن شدت انرژی و پایین بودن کارایی آن در کشور می‌باشند.

### 3- پیشینه تحقیق

ژیهونگ<sup>1</sup> (1997) در پایان نامه خود با عنوان صنعتی شدن و مصرف انرژی، از دو روش اقتصادسنجی برای مطالعه نسبت انرژی به ستاده و عوامل مؤثر بر تقاضای انرژی و نیز روش شاخص عددی برای تجزیه عوامل مؤثر بر کاهش شدت انرژی استفاده نموده است. نتایج رگرسیون نشان داد، کشش مصرف انرژی در دامنه 0/71-0/89 بسته به تفاوت بین مناطق مختلف به لحاظ برخوردار بودن از منابع انرژی و ساختار صنعتی آنها (که منجر به شکاف عرضه و تقاضای انرژی شده) متفاوت است. تحلیل‌های تجزیه<sup>2</sup> نشان می‌دهد که صرفه‌جویی انرژی در اواخر دهه 1980 اغلب به علت کاهش شدت انرژی ساختاری بوده در حالی که در اوایل دهه 1990 هر دو تغییر ساختاری و بهبود کارایی انرژی موجب کاهش قابل توجهی در شدت انرژی کل شده است.

<sup>1</sup>. Zhihong (1997)

<sup>2</sup>. Decomposition Analysis

همچنین اشاعه تکنولوژی‌های پیشرفته در صنایع انرژی بر باعث صرفه‌جویی‌های زیادی در مصرف انرژی شده است.

فارلا و همکاران (1998) کارایی انرژی و تغییرات ساختاری در هلند را طی سال‌های 1980 تا 1990 بررسی کرده‌اند. آن‌ها با به کارگیری شاخص‌های صرفاً فیزیکی، در محاسبات کارایی انرژی به این نتیجه رسیده‌اند که نسبت مصرف انرژی به GDP طی دوره کاهش داشته است. بخش اعظمی از این کاهش با کاهش مصرف ویژه انرژی در زیر ساخت‌ها قابل توجیه است.

ری و دیگران<sup>1</sup> (1999) روند بهره‌وری انرژی را برای شش صنعت انرژی بر کشور هند مورد بررسی قرار داده‌اند. در مطالعه مزبور کثرت قیمتی تقاضا برای انرژی در دو کشور هند و کانادا مقایسه شده است. نتایج به دست آمده از تخمین مدل برای دوره 1993-1973 نشان می‌دهد به غیر از صنعت چسب سازی، کثرت مذکور در بقیه صنایع در یک محدوده بی‌کثرت قیمتی قرار دارد. همچنین با دو برابر شدن قیمت انرژی در کشور هند، بهره‌وری کل بخش صنعت به میزان 0/7 درصد کاهش می‌یابد. ولی بهره‌وری در صنایع کانادا در مقایسه با هند، به سختی تأثیر می‌پذیرد و در بلندمدت، افزایش قیمت‌های انرژی اثر منفی بر بهره‌وری دارد و به کاهش رفاه نیز منجر خواهد شد.

ژانگ<sup>2</sup> (2003) دلیل کاهش شدت انرژی در صنایع چین در دهه 1990 را با استفاده از روش مجزاسازی بررسی کرده است. نتایج مجزاسازی برای صنایع چین نشان‌گر این است که عامل اصلی در کاهش مصرف انرژی صنعتی در دهه 1990، کاهش در شدت انرژی واقعی بود و این نشان می‌دهد که روند کاهش شدت انرژی واقعی در دهه 1980، در دهه 1990 نیز ادامه داشته است.

باسکارا<sup>3</sup> (2009) در مطالعه خود به بررسی شکست‌های ساختاری و کارایی انرژی در دوره زمانی 1970-2005 در فیجی پرداخته است. با اینکه در این دوره چهار بحران بزرگ انرژی به علت شوک‌های نفتی رخ داده است اما در سطح کلان و سه زیربخش بزرگ مصرف انرژی در فیجی، کاهش نسبت‌های انرژی به تولید مشاهده شده که نشان دهنده بهبود کارایی انرژی می‌باشد. برای بررسی شکست‌های ساختاری از آزمون‌های بای-پرون استفاده شده است.

<sup>1</sup>. Roy et al (1999)

<sup>2</sup>. Zhong (2003)

<sup>3</sup>. Bhaskara (2009)

سیتونن و همکاران<sup>1</sup> (2010) به بررسی عوامل مؤثر بر کارایی انرژی و انتشار CO<sub>2</sub> در صنعت فولاد پرداخته‌اند. در مقاله مذکور از مصرف ویژه انرژی (SEC) به عنوان شاخص کارایی انرژی که به طور گسترده در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد، استفاده شده است. این شاخص، از شاخص‌های ترمودینامیکی - فیزیکی کارایی انرژی است که به صورت نسبت انرژی مصرف شده به محصول تولید شده (بر حسب تن) تعریف می‌شود. سپس این شاخص توسعه داده شده و تأثیر شرایط مختلف تولیدی روی مصرف ویژه انرژی و انتشار CO<sub>2</sub> به وسیله تحلیل‌های PLS مطالعه شده‌اند. در نهایت مشخص شده که نرخ تولید فولاد خام و کاربرد فولاد برای استفاده مجدد بر بهبود کارایی انرژی تأثیر دارد.

زیرمای (2011) به بررسی صنعتی شدن به عنوان موتور رشد در کشورهای در حال توسعه در دوره زمانی 1950-2005 پرداخته است و داده‌های جدید تغییرات ساختاری در یک نمونه از 67 کشور در حال توسعه و 21 کشور پیشرفته را نشان می‌دهد. با این که شواهد نظری، صنعتی شدن را در کشورهای در حال توسعه برای رشد مهم می‌دانند اما شواهد آماری به طور کامل در این راستا نیستند به خصوص زمانی که عواملی از قبیل شدت سرمایه و بهره‌وری نیروی کار را در نظر نگرفته‌اند.

سادورسکای<sup>2</sup> (2013) در مطالعه خود به تأثیر شهرنشینی و صنعتی شدن بر شدت انرژی در 76 کشور در حال توسعه برای سال‌های 1980-2010 با استفاده از روش پانل پویا می‌پردازد. نتایج مطالعه نشان داد در بلند مدت، 1% افزایش در درآمد، شدت انرژی را از 45% به 35% کاهش می‌دهد. کشش‌های بلند مدت صنعتی شدن بین 0/07 تا 0/12 بوده و تأثیر شهرنشینی روی شدت انرژی مشخص نیست. در حالتی که ضرایب برآورد شده شهرنشینی از نظر آماری معنادار هستند، ضرایب بزرگ‌تر از یک است.

یوسفی (1381) به بررسی مصرف و شدت انرژی در کارگاه‌های بزرگ صنعتی طی دوره 1368-1378 با تأکید بر تعیین اثرات تغییرات ساختاری روی مصرف انرژی به روش تجزیه به اجزا<sup>3</sup> پرداخته است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که تغییر در مصرف انرژی و در نتیجه شدت انرژی بخش صنعت می‌تواند ناشی از عوامل متعددی از قبیل میزان تولید، تغییر ساختار صنعت،

<sup>1</sup>. Siitonen et al (2010)

<sup>2</sup>. Sadorsky (2013)

<sup>3</sup>. Decomposition

قیمت حامل‌های انرژی، تغییر تکنولوژی تولید، جانشینی حامل‌های انرژی و ... باشد. افزون بر این، مشخص شده که رشد ارزش افزوده کارگاه‌های بزرگ صنعتی توأم با نوسازی صنایع و به کارگیری تکنولوژی‌های جدید و کارا تر، عامل اصلی تأثیرگذار بر شاخص شدت انرژی کارگاه‌های بزرگ صنعتی است.

حیدری و صادقی (1382) به تجزیه و تحلیل کارایی انرژی در اقتصاد ایران پرداخته‌اند. آن‌ها در مقاله خود از شاخص‌های فیزیکی، اقتصادی استفاده نموده‌اند. هم‌چنین با استفاده از روش تجزیه به اجزا، به تجزیه تغییرات مصرف و تفکیک اثرات عوامل مزبور روی داده‌های مصرف و شدت انرژی پرداخته‌اند. نتایج آن‌ها نشان داد که عدم کارایی انرژی در اقتصاد ایران در دوره مطالعه (1358-1378) ناشی از بالا بودن اثر شدت خالص انرژی بوده و اثر ساختاری پایین‌ترین سهم را در توضیح رشد مصرف کل و شدت انرژی داشته است.

عباسی‌نژاد و وافی نجار (1383) در مقاله خود به بررسی کارایی و بهره‌وری انرژی در بخش‌های مختلف اقتصادی و تخمین کشش نهاده‌ای و قیمتی انرژی در بخش کشاورزی، صنعت و حمل و نقل با روش حداقل مربعات دو مرحله‌ای<sup>1</sup> در دوره زمانی 1350-1379 پرداخته‌اند. در آن مقاله تأثیرات متقابل مصرف انرژی و تولید یا ارزش افزوده در هر یک از بخش‌های اقتصادی مورد بررسی قرار گرفته است. روند شاخص شدت مصرف انرژی در تمامی بخش‌ها صعودی است و بهره‌وری مصرف انرژی نیز دارای روند نزولی می‌باشد. لذا هر سه بخش طی دوره مورد بررسی به سمت انرژی‌بری بیشتر حرکت کرده‌اند.

امینی و یزدی پور (1387) مهم‌ترین عوامل کمی مؤثر بر بهره‌وری انرژی در کارگاه‌های بزرگ صنعتی ایران طی دوره 1381-1373 را بررسی کرده‌اند. نتایج حاصل از برآورد مدل‌ها، به روش ادغام داده‌های مقطعی و سری زمانی در سطح کد دو رقمی ISIC، حاکی از آن است که در بین عوامل مورد بررسی، متوسط سرمایه به ازای هر واحد انرژی مصرفی و هزینه واقعی استفاده از سرمایه، بیشترین تأثیر را بر بهره‌وری انرژی داشته‌اند. بعد از آن متوسط نیروی کار به ازای هر واحد انرژی مصرفی، هزینه‌های واقعی استفاده از نیروی کار و سهم برق از انرژی مصرفی به عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر بهره‌وری انرژی شناخته شده‌اند. نسبت شاغلین با مدرک تحصیلی مهندسی به کل شاغلان تولیدی به عنوان متغیر جانشین فناوری، تأثیر مثبت و معنی‌داری بر

<sup>1</sup>. Two – stage least squares

بهره‌وری انرژی داشته است. در مطالعه آنها، قیمت‌های نسبی حامل‌های انرژی تأثیر معنی‌داری بر بهره‌وری انرژی در کارگاه‌های بزرگ صنعتی نداشته است.

عبدلی و ورهرامی (1388) به منظور بررسی ارتباط بین مصرف انرژی و بهبود تکنولوژی، تابع تولید کابداگلاسی که در آن انرژی، نیروی کار و سرمایه متغیرهای مستقل هستند را در نظر گرفته و نشان داده‌اند که چون لازمه تولید بیش‌تر، مصرف انرژی بیش‌تر است، رشد تولید سرانه سرمایه و رشد تولید سرانه نیروی کار شدت مصرف انرژی را افزایش خواهد داد. اما از سوی دیگر پیشرفت تکنولوژی شدت مصرف انرژی جهت تولید را کاهش می‌دهد. بررسی‌های تجربی در این مقاله نشان می‌دهد که بهبود تکنولوژی، نرخ رشد شدت مصرف انرژی را در صنعت به طور متوسط 1/53 و نرخ رشد شدت مصرف انرژی در بخش کشاورزی را به طور متوسط 1/32 کاهش خواهد داد.

صادقی و سجودی (1389) به بررسی عوامل مؤثر بر شدت انرژی در بنگاه‌های صنعتی ایران با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی و با به کارگیری نمونه‌ای مقطعی شامل 12298 بنگاه صنعتی فعال پرداخته‌اند. نتایج مطالعه نشان دهنده یک رابطه مستقیم بین اندازه بنگاه و شدت انرژی در بنگاه می‌باشد. این نتیجه می‌تواند به دلیل دولتی بودن اغلب بنگاه‌های بزرگ باشد. هم‌چنین نتایج تجربی نشان دهنده اثر معنی‌دار نوع مالکیت بنگاه بر شدت انرژی بنگاه می‌باشد، به طوری که بنگاه‌های خصوصی دارای شدت انرژی کم‌تری هستند. نتایج نشان می‌دهد که مخارج R&D اثر معنی‌داری بر کاهش شدت انرژی بنگاه نداشته است. هم‌چنین، شدت سرمایه فیزیکی و نرخ دستمزد دارای اثر مثبت بر شدت انرژی بنگاه می‌باشند.

جهانگرد و تجلی (1390) با استفاده از روش تجزیه، شدت انرژی‌بری در صنایع کارخانه‌ای ایران را در دوره زمانی 1374-1386 مطالعه نموده‌اند. تجزیه شدت انرژی‌بری به دو اثر ساختاری و اثر شدت بخشی در کل صنعت و صنایع 9 گانه ایران با استفاده از شاخص لاسپیرز و شاخص میانگین حسابی دیویژیا انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد در کل صنعت، اثر شدت بخشی نسبت به اثر ساختاری سهم بیش‌تری در تغییرات اثر کل دارد. در بیش‌تر صنایع نیز اثر شدت از اثر ساختار تأثیرگذارتر بوده و در برخی موارد نیز هر دو اثر، مؤثر بوده‌اند. در بیش‌تر موارد اثر شدت در جهت کاهش شدت انرژی‌بری حرکت نموده است.

مطالعات فوق را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد: برخی به بررسی عوامل مؤثر بر کارایی، بهره‌وری و شدت انرژی در بخش‌های مختلف اقتصادی و کارگاه‌های بزرگ صنعتی پرداخته‌اند. نتایج آن‌ها نشان داد که موجودی سرمایه به ازای هر واحد انرژی، جمعیت شاغل به ازای هر واحد انرژی، قیمت واقعی انرژی و تکنولوژی از جمله مهم‌ترین این عوامل هستند. هم‌چنین، تغییر ساختار صنعت، می‌تواند منجر به تغییر کارایی انرژی شود.

مطالعات دیگر تأثیر صنعتی شدن بر رشد، مصرف انرژی و کارایی انرژی را مورد مطالعه قرار داده‌اند و بیش‌تر در زمره مطالعات انجام شده در خارج از کشور قرار دارند. نتایج آن‌ها حاکی است صنعت و توسعه صنعتی عامل اصلی رشد اقتصادی و نیز رشد سایر بخش‌ها است. اگرچه ممکن است صنعتی شدن، مصرف بیش‌تر انرژی را به دنبال داشته باشد، اما توسعه تکنولوژی‌های پیشرفته ناشی از آن منجر به بهبود کارایی انرژی خواهد شد.

#### 4- تصریح مدل

#### 4-1- معرفی متغیرها و بررسی پایایی آن‌ها

سری‌های زمانی به کار رفته در این مطالعه، نسبت ارزش افزوده به مصرف انرژی بخش صنعت، نسبت ارزش افزوده به تولید ناخالص داخلی، نسبت موجودی سرمایه و نیز نسبت نیروی کار شاغل بخش صنعت به مصرف انرژی بخش مذکور و قیمت واقعی انرژی برای دوره زمانی 1360-1387 هستند که به صورت لگاریتمی به کار رفته‌اند.

کارایی انرژی (نسبت ارزش افزوده به مقدار انرژی مصرفی بخش صنعت) به عنوان متغیر وابسته در مدل وارد شده است. اطلاعات مربوط به ارزش افزوده بخش صنعت، تولید ناخالص داخلی کشور (به قیمت ثابت سال 1376- میلیارد ریال) و نیز موجودی سرمایه بخش صنعت (به قیمت ثابت سال 1376- میلیارد ریال)، از حساب‌های ملی ایران منتشر شده توسط مرکز آمار استخراج شده است. آمار مربوط به مصرف انرژی بخش صنعت (میلیون بشکه معادل نفت خام) از تراز انرژی کشور (1346-1388) و اطلاعات مربوط به اشتغال در بخش صنعت از دفتر مدیریت اقتصاد کلان و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور که توسط آمینی و اصلاحچی برآورد شده است، مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به سهم مصرف فرآورده‌های نفتی، گاز طبیعی و برق در بخش صنعت طی هر سال، بر همین اساس قیمت وزنی انرژی محاسبه و با تقسیم بر شاخص بهای کالاها و خدمات

مصرفی (به قیمت ثابت سال 1383)، قیمت واقعی انرژی مصرفی در بخش صنعت به دست آمده است.

از آنجا که بکارگیری سری‌های زمانی ناپایا در روش‌های معمول اقتصادسنجی ممکن است به بروز رگرسیون کاذب منجر گردد، لازم است قبل از انجام هرگونه برآوردی ابتدا از پایا بودن سری‌های زمانی مورد استفاده در برآورد پارامترهای الگوی تحت بررسی اطمینان حاصل شود. یکی از روش‌های متداول آزمون تعیین درجه یکپارچگی سری‌های زمانی، آزمون دیکی فولر تعمیم یافته (ADF)<sup>1</sup> است. در این آزمون آماره مرتبط به آزمون دیکی فولر تعمیم یافته با کمیت بحرانی جدول مک‌کینون<sup>2</sup> مقایسه می‌شود. اگر قدر مطلق  $t$  محاسباتی از قدر مطلق آماره مک‌کینون بزرگ‌تر باشد، فرضیه صفر مثبتی بر وجود ریشه واحد رد می‌شود که دلالت بر پایا بودن سری زمانی است، در غیر این صورت سری زمانی ناپایا خواهد بود و باید پایایی سری‌های زمانی با تفاضل‌گیری از آنها بررسی شود. اما پرون<sup>3</sup> نشان می‌دهد که اگر فرآیند تولید داده به صورت نوسانات پایا، حول و حوش روندی باشد که شامل یک شکست یکباره است، آن‌گاه آزمون‌های استاندارد برای فرضیه ریشه واحد در برابر فرضیه پایای روندی، نمی‌تواند فرضیه ریشه واحد را رد کند. وقتی تغییر ساختاری بروز می‌کند ممکن است یکی از سه حالت زیر پدید آید:

1. عرض از مبدأ تابع روند زمانی تغییر کند.

2. شیب تابع روند زمانی تغییر کند.

3. هم عرض از مبدأ و هم شیب تابع روند زمانی تغییر کند.

در این آزمون، ابتدا بایستی دوره‌ای که انتظار می‌رود در آن شکست ساختاری اتفاق افتاده باشد، تعیین کرده و سپس متغیرهای مجازی مربوطه تعریف شود. به منظور انجام آزمون ریشه واحد (ناپایایی)، فرضیه صفر و فرضیه مقابل زیر مورد توجه قرار می‌گیرد:

$$\begin{cases} H_0: \rho \geq 1 \\ H_1: \rho < 1 \end{cases}$$

کمیت آماره آزمون بر اساس صحت فرضیه برابر است با:

$$\tau = \frac{\hat{\rho} - \rho}{S \hat{\rho}} \quad (7)$$

1. Augmented Dicky Fuller

2. Mckinnon

3. Perron



نتایج آزمون پایایی متغیرهای الگو در جدول (1) آمده است. بر اساس جدول (1)، تمامی متغیرها جمعی از درجه یک می باشند.

جدول 1: بررسی پایایی متغیرهای الگو در حالت سطح، تفاضل مرتبه اول و دوم بر اساس آزمون ADF

با عرض از مبدأ و روند **			با عرض از مبدأ و بدون روند*		
نتیجه آزمون	آماره ADF	وقفه بهینه	نتیجه آزمون	آماره ADF	وقفه بهینه
ناپایا	-2/5250	0	ناپایا	-2/7587	2
ناپایا	-2/9426	0	ناپایا	-0/41011	0
ناپایا	-1/7548	0	ناپایا	-1/1785	0
ناپایا	-0/20703	0	ناپایا	-1/6513	0
ناپایا	-0/91799	1	ناپایا	-2/3126	1
پایا	-3/6387	0	پایا	-3/7296	0
پایا	-6/6376	0	پایا	-6/8129	0
پایا	-3/0883	0	پایا	-3/0891	0
پایا	-4/1772	0	ناپایا	-1/0819	1

\*مقدار بحرانی در سطح 95 درصد با عرض از مبدأ و بدون روند برای متغیرهای در سطح 3/0199- و تفاضل مرتبه اول 3/0294- است.  
\*\*مقدار بحرانی در سطح 95 درصد با عرض از مبدأ و روند برای متغیرهای در سطح 3/6592- و تفاضل مرتبه اول 3/6746- است.

مأخذ: محاسبات تحقیق

با توجه به انتقادهای پرون از روش آزمون ریشه واحد دیکی - فولر، هنگامی که شکست ساختاری در سری های زمانی وجود دارد، بررسی شکست ساختاری و آزمون ریشه واحد پرون، در صورت مصداق داشتن شکستگی ساختاری، ضروری است. در جدول ذیل، نتایج آزمون پرون در خصوص شکست ساختاری متغیرهای الگو آورده شده است.

جدول 2: نتایج آزمون پرون

متغیرها	آماره t	مقدار بحرانی 5%	مقدار بحرانی 10%	$\lambda$	نوع شکست
LKE	-2/28	-3/72	-3/44	0/4	عرض از مبدأ سال 67
	-2/28	-3/85	-3/58	0/7	روند سال 76
LLE	-3/01	-3/72	-3/44	0/4	عرض از مبدأ سال 67
LPE	-1/16	-3/72	-3/44	0/4	عرض از مبدأ سال 68

مأخذ: محاسبات تحقیق

$\lambda$ : زمان بروز شکست ساختاری به حجم نمونه ( $\lambda = \frac{TB}{N}$ ) می باشد (نوفرستی، 1378). از آنجا که طبق نتایج به دست آمده، آزمون فرضیه وجود شکست ساختاری در مورد متغیرها رد می گردد، آزمون دیکی فولر در این شرایط از اعتبار کافی برخوردار می باشد.

#### 4-2- الگوی خود بازگشت با وقفه‌های توزیعی (ARDL)

یک روش مرسوم در مطالعات اخیر برای بررسی رابطه بلندمدت بین متغیرها، الگوی خود بازگشت با وقفه‌های توزیعی (ARDL) می‌باشد. این روش نسبت به روش‌های دیگر همگرایی بلندمدت مزیت‌هایی دارد. اولاً، درجه انباشتگی سری‌ها لزوماً نباید مانند سایر روش‌ها یک باشد. ثانیاً، این الگو نسبت به سایر روش‌های همگرایی بلندمدت در نمونه‌های کوچک دقت بیشتری دارد. ثالثاً، در این روش یک الگوی تصحیح خطا از طریق یک تبدیل خطی ساده می‌تواند بدست آید. یک الگوی خود بازگشت با وقفه‌های توزیعی (ARDL) به صورت زیر می‌باشد:

$$\alpha(L, p)y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i(L, q_i)x_{it} + u_t$$

که در آن L عامل وقفه،  $\alpha_0$  عرض از مبدأ، و  $y_t$  متغیر وابسته است و برای L که عامل وقفه است می‌توان نوشت:

$$L^j y_t = y_{t-j} \quad (9)$$

پس می‌توان چنین نوشت که:

$$\alpha(L, p) = 1 - \alpha_1 L^1 - \dots - \alpha_p L^p \quad (10)$$

$$\beta_i(L, q_i) = \beta_{i0} + \beta_{i1}L + \beta_{i2}L^2 + \dots + (\beta_{iq_i}L^{q_i})$$

برای استفاده از رهیافت ARDL در مرحله نخست، باید وجود ارتباط بلندمدت بین متغیرها را بررسی نمود. یکی از آماره‌هایی که می‌توان با استفاده از آن هم‌جمعی بین متغیرها را بررسی کرد، آماره t است که به وسیله بنرجی، دولادو و مستر<sup>1</sup> (1992) ارایه شده است. در ابتدا رابطه (9) با استفاده از OLS برای تمامی ترکیبات ممکن مقادیر  $p = 0, 1, 2, \dots, m$  و  $q_i = 0, 1, 2, \dots, i$  و  $m_i = 1, 2, \dots, k$ ، یعنی به تعداد  $(m+1)^{k+1}$  بار برآورد می‌شود. فرضیه صفر بیانگر عدم وجود

<sup>1</sup>. Banerjee, Dolado and Master (1992)

هم‌انباشتگی یا رابطه بلندمدت است، زیرا شرط آنکه رابطه پویای کوتاه‌مدت به سمت تعادل بلندمدت گرایش یابد، آن است که مجموع ضرایب کمتر از یک باشد. برای انجام این آزمون عدد یک از مجموع ضرایب باوقفه متغیر وابسته کم شده و بر مجموع انحراف معیار ضرایب یاد شده تقسیم می‌شود. اگر قدر مطلق  $t$  بدست آمده از قدر مطلق مقادیر بحرانی ارایه شده توسط بنرجی، دولادوو مستر<sup>1</sup> (1992) بزرگ‌تر باشد، فرضیه صفر رد و وجود رابطه بلندمدت پذیرفته می‌شود. در مرحله بعد ضرایب مربوط به الگوی بلندمدت و خطای معیار جانبی مربوط به ضرایب بلندمدت بر اساس الگوی ARDL محاسبه می‌شود. هم‌چنین می‌توان مدل تصحیح خطا مربوط به الگوی انتخاب شده در روش ARDL را برآورد کرد، به این ترتیب که پس از آزمون هم‌انباشتگی بین متغیرها، جمله خطای مربوط به رگرسیون هم‌انباشتگی با یک وقفه زمانی را، به عنوان یک متغیر توضیحی در کنار تفاضل مرتبه اول سایر متغیرها قرار داده، سپس به کمک روش OLS ضرایب برآورد می‌گردند. ضریب جمله تصحیح خطا، سرعت تعدیل به سمت تعادل بلندمدت را نشان می‌دهد (نوفرستی، 1378).

#### 4-2-1- برآورد الگوی پویا و ضرایب بلند مدت

به منظور بررسی تأثیر صنعتی شدن بر کارایی انرژی بخش صنعت الگوی زیر در نظر گرفته شده است:

$$LEFI = C + \sum_{j=1}^p \alpha_j LIN_{1,t-j} + \sum_{j=0}^{q_1} \beta_{1j} LKE_{t-j} + \sum_{j=0}^{q_2} \beta_{2j} LLE_{t-j} + \varepsilon \quad (11)$$

قبل از بحث درباره رابطه تعادلی بلندمدت بین متغیرهای موجود در الگو لازم است آزمون وجود همگرایی بلندمدت در بین متغیرهای موجود صورت گیرد. نرم افزار Microfit4 مدل (1,0,0,2) ARDL را مطابق معیار شوارتز- بی‌زین برای وقفه دو به عنوان بهترین مدل برآوردی انتخاب می‌کند که نتایج در جدول (3) ارائه شده است. لازم به توضیح است که متغیر قیمت واقعی انرژی به علت معنی‌دار نبودن از مدل حذف شد. علت این امر را می‌توان در غیر واقعی بودن قیمت حامل‌های انرژی در کشور و همچنین میزان بالای حمایت‌های یارانه‌ای، طی دوره مورد مطالعه بیان نمود. همچنین، به علت نبود شاخص مناسبی که نشان دهنده پیشرفت تکنولوژی در بخش

صنعت باشد از متغیر روند، جهت تأثیر عامل تکنولوژی استفاده گردید اما به دلیل معنادار نبودن، از مدل حذف شد.

جدول 3: نتایج حاصل از آزمون همگرایی مدل پویا

نام متغیر	ضرایب برآورد شده	انحراف معیار	ت (مقدار P) آماره t
LEFI(-1)	0/14862	0/077701	1/9127(0/071)
LIN	-0/88241	0/074807	-11/7959(0/000)
LKE	0/29419	0/031270	9/4079(0/000)
LLE	0/24615	0/070557	3/4887(0/002)
LLE(-1)	0/036389	0/11189	0/32522(0/749)
LLE(-2)	0/40182	0/078059	5/1477(0/000)
C	-6/0813	0/70104	-8/6747(0/000)
$\bar{R}^2 = 0/95682$		$R^2 = 0/96718$	

مأخذ: محاسبات تحقیر

همان طور که جدول (3) نشان می‌دهد،  $\bar{R}^2$  برابر با 0/95 می‌باشد و این بدین معناست که 95 درصد از تغییرات متغیر وابسته توسط متغیرهای توضیحی، توضیح داده شده است. سایر اطلاعات مربوط به برآورد مدل، به شکل زیر است:

$$X_{SC}^2(1) = 0.097694 [0.755] \quad X_F^2(1) = 0.0022246 [0.962]$$

$$X_N^2(2) = 1.0876 [0.581] \quad X_H^2(1) = 0.0074679 [0.931]$$

$X_{SC}^2$  و  $X_F^2$  و  $X_N^2$  و  $X_H^2$  آماره‌های ضریب لاگرانژ در آزمون‌های تشخیص<sup>1</sup> صحت الگو هستند که به ترتیب همبستگی سریالی جملات پسماند، تصریح فرم تابعی، نرمالیتی و واریانس ناهمسانی را مورد آزمون قرار می‌دهند. تمامی آماره‌ها درستی الگو را در سطح پنج درصد مورد تأیید قرار می‌دهند. چون مقادیر به دست آمده برای آماره‌های فوق (عدد داخل براکت)، از سطح خطای 0/05 بزرگ‌تر می‌باشد، از این رو با تأیید درستی الگو، تفسیرهای ضرایب بلند مدت و کوتاه مدت در الگوی  $ARDL(1,0,0,2)$  معنادار هستند.

<sup>1</sup>. Diagnostic Tests

هم جمع می بین متغیرها با استفاده از آماره  $t$  ارائه شده توسط بنرجی، دولادو و مستر بررسی می شود. بنابراین باید عدد یک از مجموع ضرایب با وقفه متغیر وابسته کسر و بر مجموع انحراف معیار ضرایب مذکور تقسیم شود:

$$t = \frac{\sum \hat{\alpha}_i - 1}{\sum S \hat{\alpha}_i} = \frac{0.14862 - 1}{0.077701} = -\frac{10}{95} \quad (12)$$

کمیت بحرانی ارائه شده توسط بنرجی و همکاران در سطح اطمینان 95 درصد برای مدل با عرض از مبدأ برابر با  $-4/18$  می باشد، لذا فرض صفر رد و وجود رابطه بلندمدت میان متغیرهای الگو تأیید می شود. جدول (4)، نتایج حاصل از برآورد الگوی بلندمدت را نشان می دهد.

جدول 4: نتایج حاصل از برآورد بلندمدت مدل

نام متغیر	ضرایب برآورد شده	انحراف معیار	(مقدار P) آماره $t$
LIN	-1/0364	0/063544	-16/3106(0/000)
LKE	0/34554	0/029269	11/8056(0/000)
LLE	0/80383	0/062526	12/8560(0/000)
C	-7/1429	0/82578	-8/6499(0/000)

مأخذ: محاسبات تحقیق

باتوجه به اینکه متغیرهای مورد نظر به صورت لگاریتمی استفاده شده اند، ضرایب آن ها نشان دهنده کشش می باشد. ضریب متغیر لگاریتم شاخص صنعتی شدن، برابر با  $-1/0364$  بوده و کاملاً معنی دار است. یعنی یک درصد افزایش در شاخص صنعتی شدن، میزان کارایی انرژی بخش صنعت را به میزان  $1/0364$  درصد کاهش می دهد. بنابراین، اثر مثبت صنعتی شدن بر کارایی انرژی بخش صنعت در بلندمدت را می توان رد کرد.

طبق مبانی نظری و مطالعات تجربی، صنعتی شدن فرآیندی است که به طرق مختلفی از جمله تغییرات تکنولوژیک رخ می دهد و استفاده از تکنولوژی تولید پیشرفته از طریق ایجاد کارایی در تولید موجب بکارگیری کمتر نهاده ها از جمله انرژی برای تولید یک واحد محصول شده و کارایی انرژی را افزایش می دهد. اما به نظر می رسد ساختار بخش صنعت کشور به گونه ای است که از تکنولوژی قدیمی استفاده می کند که عمدتاً مصرف انرژی بالایی دارد. چرا که استفاده از تکنولوژی پیشرفته به مخارج تحقیق و توسعه بیشتری نیاز دارد و ممکن است سهم اندک این مخارج، منجر به ایجاد تکنولوژی های انرژی اندوز نشود. علاوه بر این، رونق منابع طبیعی (به

خصوصاً افزایش درآمدهای نفتی) در کشور پدیده ضد صنعتی شدن را به همراه داشته است. بدین صورت که با انتقال عوامل تولید از بخش قابل تجارت (مانند صنعت) به بخش غیر قابل تجارت (مانند خدمات و مسکن)، سرمایه و نیروی کار را از بخش صنعت دور نموده است. فراوانی منابع طبیعی و تولید و صادرات کالاهایی که سهم عمده‌ای از آنها به این منابع وابسته است گرایش به ضعیف کردن و کند نمودن یادگیری از طریق عمل و پیشرفت‌های تکنولوژیکی داشته است. درآمدهای نفتی برخلاف درآمدهای ناشی از صنعت منجر به انباشت سرمایه انسانی و توسعه فن‌آوری نشده زیرا این درآمدها جایگزین سرمایه‌گذاری در سرمایه انسانی شده است. به خصوص که دولت‌ها محدود به یک بازه زمانی کوتاه بوده و ارزشی برای منافع بلندمدت حاصل از آموزش قائل نشده‌اند، زیرا درآمدهای آتی حاصل از صادرات منابع طبیعی مرئی‌تر از درآمدهای آتی حاصل از سرمایه‌گذاری در نیروی انسانی هستند. در نتیجه می‌توان گفت انگیزه‌ای برای اینکه شخص، هزینه‌های آموزش را تقبل کند وجود ندارد. بنابراین با کاهش بهره‌وری نیروی کار به عنوان یکی از عوامل تولید میزان استفاده از انرژی در یک سطح مشخص از فعالیت افزایش یافته و این امر تأثیر منفی بر کارایی انرژی داشته است.

ضرایب متغیرهای لگاریتم نسبت موجودی سرمایه و نیروی کار شاغل در بخش صنعت به مصرف انرژی این بخش نیز طبق انتظار، مثبت و معنی‌دار به دست آمده‌اند و به ترتیب برابر با 0/34554 و 0/80383 هستند. بدین صورت که با افزایش یک درصد در نسبت موجودی سرمایه و نیز نیروی کار شاغل در بخش صنعت به مصرف انرژی، کارایی انرژی بخش صنعت به میزان 0/34554 و 0/80383 درصد افزایش می‌یابد. بزرگ‌تر بودن ضریب متغیر LLE نسبت به LKE نشان دهنده تأثیر بیش‌تر نسبت نیروی کار شاغل به ازای هر واحد انرژی صنعت بر کارایی انرژی این بخش می‌باشد.

#### 4-2-2- برآورد الگوی تصحیح خطا

وجود رابطه هم‌جمعی بین متغیرهای الگو، زمینه را برای استفاده از الگوهای تصحیح خطا فراهم می‌کند. عمده‌ترین دلیل اهمیت الگوی تصحیح خطا آن است که نوسانات کوتاه‌مدت متغیرها را به مقادیر تعادلی بلندمدت آنها ارتباط می‌دهد. این مدل‌ها در واقع نوعی از مدل‌های تعدیل جزئی‌اند که در آنها با وارد کردن پسماند پایا از یک رابطه بلندمدت، نیروهای مؤثر در کوتاه‌مدت

و سرعت نزدیک شدن به مقدار تعادلی بلندمدت اندازه گیری می شوند. در الگوی ARDL بعد از تأیید وجود رابطه بلند مدت و تخمین این رابطه، مرحله دوم، تخمین مدل تصحیح خطا می باشد. نتایج الگوی برآورد شده در جدول (5) آمده است.

جدول 5: ضرایب مربوط به مدل ECM

نام متغیر	ضرایب برآورد شده	انحراف معیار	(مقدار P) آماره t
DLIN	-0/82241	0/074807	-11/7959(0/000)
DLKE	0/29419	0/031270	9/4079(0/000)
DLLE	0/24615	0/070557	3/4887(0/002)
DLLE1	-0/40182	0/078059	-5/1477(0/000)
DC	-6/0813	0/70104	-8/6747(0/000)
ECM(-1)	-0/85138	0/077701	-10/9571(0/000)
$R^2 = 0/90925$		$\bar{R}^2 = 0/93103$	

مأخذ: محاسبات تحقیق

جدول (5) نشان می دهد ضریب متغیر لگاریتم شاخص صنعتی شدن در مدل تصحیح خطا نیز همانند مدل بلند مدت منفی می باشد و مقدار آن برابر با  $-0/82241$  است. بدین صورت که یک درصد افزایش در شاخص صنعتی شدن، کارایی انرژی بخش صنعت را به میزان  $0/82241$  درصد کاهش می دهد. می توان علت منفی شدن ضریب این متغیر را همانند مدل بلند مدت، در عدم ایجاد تکنولوژی های انرژی اندوز در بخش صنعت کشور و نیز پدیده وفور منابع طبیعی که با ضعیف کردن و کند نمودن یادگیری از طریق عمل و پیشرفت های تکنولوژیکی منجر به انباشت سرمایه انسانی و توسعه فن آوری نشده است، بیان نمود.

ضرایب متغیرهای لگاریتم نسبت موجودی سرمایه و نیروی کار شاغل در بخش صنعت به مصرف انرژی این بخش نیز طبق انتظار و همانند مدل بلند مدت، مثبت و معنی دار به دست آمده اند و به ترتیب برابر با  $0/29419$  و  $0/24615$  هستند.

اما چیزی که در مدل تصحیح خطا اهمیت زیادی دارد، ضریب  $ecm(-1)$  است. این ضریب در مدل فوق معادل  $-0/85138$  است که از نظر آماری کاملاً معنی دار بوده و نشان از سرعت نسبتاً زیاد تعدیل عدم تعادل کوتاه مدت به تعادل بلند مدت دارد، همچنین بیان می کند  $85$  درصد از انحراف متغیرهای مدل از مقدار بلندمدت آن ها پس از گذشت کمتر از 2 سال از بین می رود.

### 4-3- نتایج آزمون علیت به روش هشیائو<sup>1</sup>

در این قسمت با استفاده از روش هشیائو به بررسی رابطه علیت بین صنعتی شدن و کارایی انرژی بخش صنعت در ایران پرداخته می‌شود. با توجه به اینکه آزمون استاندارد علیت گرنجری و آزمون سیمز نسبت به انتخاب طول وقفه بسیار حساس است و طول وقفه‌های مختلف اغلب نتایج متفاوتی را به دنبال دارد، از این رو برای حل این مشکل، از روش هشیائو (1981) که یک روش خود بازگشت سیستماتیک<sup>2</sup> برای انتخاب طول وقفه بهینه برای هر کدام از متغیرها می‌باشد، استفاده شده است.

روش هشیائو در دو مرحله انجام می‌شود. در مرحله اول، مجموعه‌ای از رگرسیون‌های خود بازگشت نسبت به متغیر وابسته برآورد می‌شود. در معادله رگرسیون اول، متغیر وابسته یک وقفه خواهد داشت و در رگرسیون‌های بعدی به ترتیب یک وقفه اضافه خواهد شد.  $m$  رگرسیونی که برآورد می‌شود به شکل زیر خواهد بود:

$$\alpha + \sum_{i=1}^m \beta_i Y_{t-i} Y_t \quad (13)$$

سپس، برای هر معادله رگرسیون معیار خطای نهایی پیش‌بینی (FPE)<sup>3</sup> به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$FPE(m) = \frac{T+m+1}{T-m-1} \cdot \frac{ESS(m)}{T} \quad (14)$$

که در آن  $T$  حجم نمونه و  $ESS$  مجموع مربعات پسماند است. طول وقفه بهینه ( $m^*$ ) طول وقفه‌ای خواهد بود که حداقل معیار خطای نهایی پیش‌بینی را ایجاد کند. در مرحله دوم، هنگامی که  $m^*$  تعیین شد، معادلات رگرسیونی به شکل زیر و با اعمال وقفه‌هایی بر متغیر دیگر برآورد می‌شود:

$$Y_t = \alpha + \sum_{i=1}^{m^*} \beta_i Y_{t-i} + \sum_{j=1}^n \gamma_j X_{t-j} + \varepsilon_{2t} \quad (15)$$

<sup>1</sup> Hsiao

<sup>2</sup> Systematic Autoregressive Method

<sup>3</sup> Final Prediction Error



سپس، معیار خطای نهایی پیش‌بینی، برای هر معادله رگرسیون به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{ESS(m^*, n)}{T} \cdot FPE(m^*, n) = \frac{T+m^*+n+1}{T-m^*-n-1} \quad (16)$$

طول وقفه بهینه متغیر  $X$  طول وقفه‌ای است که حداقل معیار خطای نهایی پیش‌بینی را ایجاد کند. حال به منظور انجام آزمون علت گرنجری  $FPE(m^*)$  با  $FPE(m^*, n^*)$  مقایسه می‌شود. اگر  $FPE(m^*) < FPE(m^*, n^*)$  باشد،  $X_t$  علت گرنجری  $Y_t$  نیست، اما اگر  $FPE(m^*) > FPE(m^*, n^*)$  باشد،  $X_t$  علت گرنجری  $Y_t$  است. در آزمون علت گرنجری هشیاو لازم است تمام متغیرها پایا باشند و در صورت ناپایایی متغیرها باید ابتدا از آنها تفاضل‌گیری نمود تا پایا شوند (هشیاو، 1981).

نتایج مربوط به روش هشیاو در جدول (6) ارائه شده است. با توجه به اینکه مقدار  $FPE(m^*)$  برابر با  $0/002061$  و  $FPE(m^*, n^*)$   $0/001922$  به دست آمد، بنابراین، صنعتی شدن علت گرنجری کارایی انرژی در بخش صنعت است.

جدول 6: Error! No text of specified style in document. نتایج روش هشیاو

نتیجه	$FPE(m^*, n^*)$	$n^*$	$FPE(m^*)$	$m^*$	متغیر تأثیر گذار	متغیر وابسته
LIN → LEFI	0/001922	4	0/002061	5	DLIN	LEFI

مأخذ: محاسبات تحقیق

از آن‌جا که عملکرد بخش صنعت از اهمیت ویژه‌ای در کاهش مصرف انرژی برخوردار است؛ لذا هرگاه نتواند برنامه‌های خود را در راستای این هدف سازمان دهد نمی‌توان انتظار داشت برنامه‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی موفق گردد. نتیجه به دست آمده از این قسمت، بدین معنی است که می‌توان با پیشبرد اهداف صنعتی شدن در کشور، از جمله تغییر در فن آوری، تغییر تجهیزات صنعتی، تغییر فرآیندها و نیروی انسانی متخصص در بخش صنعت به اهداف مورد نظر در زمینه بهبود کارایی انرژی دست یافت.

## 5- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها

در این مطالعه به بررسی رابطه بین صنعتی شدن و کارایی انرژی بخش صنعت در ایران طی سال‌های 1360-1387 پرداخته شد. نتایج برآورد الگوی پویای بلند مدت، وجود یک رابطه

تعادلی بلند مدت را بین متغیرهای مدل نشان می‌دهد. نتایج آزمون علیت گرنجری از روش هشیانو نیز نشان دهنده این است که یک رابطه علی یک‌سویه از سمت شاخص صنعتی شدن به کارایی انرژی وجود دارد.

بر اساس الگوی بلند مدت و کوتاه‌مدت، درصد ارزش افزوده صنعت در تولید ناخالص داخلی که به عنوان شاخص صنعتی شدن مورد استفاده قرار گرفت، تأثیر منفی و معنی‌دار بر کارایی انرژی دارد. طبق مبانی نظری و مطالعات تجربی، مصرف انرژی در بخش صنعت به سطح فعالیت‌های اقتصادی و کارایی تجهیزات مصرف‌کننده انرژی بستگی دارد. واضح است که هر چه سطح فعالیت‌های اقتصادی بالاتر رود مصرف انرژی افزایش می‌یابد اما می‌توان با استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته و افزایش کارایی تجهیزات و وسایل مصرف‌کننده انرژی، مصرف انرژی در این بخش را کاهش داد و از این طریق کارایی انرژی را بهبود بخشید. مطالعات تجربی در سایر کشورها نیز نشان داد به دنبال فرآیند صنعتی شدن آن‌ها، پیشرفت‌های تکنولوژیکی و نیز اعمال سیاست‌های مدیریت مصرف انرژی منجر به کاهش شدت مصرف انرژی و در نتیجه بهبود کارایی انرژی گردیده است. لذا با توجه به تأثیر منفی صنعتی شدن در این تحقیق، سرمایه‌گذاری در بخش انرژی، نوسازی تکنولوژی‌ها و خارج شدن از فرآیندهای کهنه در بخش صنعت توصیه می‌شود. به نظر می‌رسد طی سالیان متمادی به جهت عوامل مختلف از قبیل ارزان بودن نسبی قیمت انرژی، استهلاک شدید ماشین‌آلات سرمایه‌ای انرژی‌بر، عدم وجود الگوی استاندارد مصرف انرژی در کشور و مسائل مربوط به فقر تکنولوژیکی و عدم سرمایه‌گذاری اساسی در این زمینه ساختار تولیدی در کشور به سمت انرژی‌بری بیشتر سوق داده شده است. بنابراین، تغییر ساختار تولید و تدوین استراتژی‌های مناسب با عملکرد بخش صنعت و نیز اعمال سیاست‌های کاهش مصرف انرژی در این بخش باید مورد توجه قرار گیرد. زیرا بهبود کارایی، مستلزم تغییر در ساختار تولیدات و نوآوری و اصلاحات اساسی در نظام مدیریت تولیدی کشور است. حرکت در جهت تعمیق فرآیند توسعه صنعتی و نیل به اقتصاد بدون اتکا به درآمدهای نفتی، علاوه بر اصلاحات ساختاری اقتصادی، سرمایه‌گذاری‌های گسترده، نوسازی و تحول بخش صنعت برای تولید محصولات با ارزش افزوده بالاتر، با سرمایه‌گذاری در جهت استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته، پیوند نزدیک دارد. حمایت از تولیدکنندگان و فعالان در بخش صنعت و نیز فراهم نمودن زمینه برای مشارکت هرچه بیشتر بخش خصوصی انگیزه استفاده از تکنولوژی‌های برتر در نظام تولیدی

کشور را فراهم خواهد کرد. هم‌چنین توجه به مدیریت مصرف انرژی جهت بهبود کارایی انرژی و کاهش مصرف انرژی و اتخاذ استراتژی مدون، که بتواند اهداف مورد نظر در بخش انرژی را با اهداف دیگر بخش‌ها در سطح کلان هماهنگ نماید ضروری است.

از آن‌جا که نسبت موجودی سرمایه به ازای هر واحد انرژی و نیز نیروی کار به ازای هر واحد انرژی، تأثیر مثبت و معنی‌داری بر کارایی انرژی دارند، نتایج بدست آمده در خصوص این دو متغیر، منطبق بر مبانی نظری و مطالعات تجربی تحقیق می‌باشد. سرمایه‌گذاری بیشتر در زمینه استفاده از ماشین‌آلات و تجهیزات با تکنولوژی پیشرفته‌تر و با مصرف انرژی کمتر در بخش صنعت توصیه می‌شود. هم‌چنین حمایت دولت از صنایعی که به ازای هر واحد سرمایه و یا نیروی کار، انرژی کمتری مصرف می‌کنند، می‌تواند منجر به بهبود کارایی انرژی گردد.

با مقایسه ضرایب کوتاه‌مدت و بلندمدت، مشخص شد ضرایب کوتاه‌مدت از بلندمدت کوچک‌تر هستند. نتایج آزمون‌های تشخیص (آزمون نرمال بودن پسماندها، آزمون همبستگی سریالی جمله پسماند، آزمون واریانس ناهمسانی و آزمون تصریح فرم تابعی) نیز دلالت بر اعتبار علمی مدل دارند.

در الگوی کوتاه‌مدت، ضریب جمله تصحیح خطا ( $(1-ecm)$ ) در تابع کوتاه‌مدت معادل  $-0/85138$  است که از نظر آماری کاملاً معنی‌دار می‌باشد و نشان از سرعت بالای عدم تعادل کوتاه‌مدت به تعادل بلندمدت دارد.

با توجه به این‌که تغییرات قیمت نتوانست تأثیری بر کارایی انرژی بخش صنعت داشته باشد، اما در عین حال طبق مبانی نظری، با افزایش سطح قیمت می‌توان تا حدی مصرف انرژی را کاهش داد منوط بر آن‌که قیمت نهاده‌های جانبی تا آن حد افزایش پیدا نکنند، که این تأثیر را خنثی نمایند. لازم به ذکر است که عدم اثرگذاری قیمت انرژی در این دوره زمانی خاص بوده که قیمت کاملاً غیر واقعی و اندک بوده است. اما با اجرای هدفمندی یارانه‌ها قطعاً متغیر قیمت در تصمیم‌بنگاه‌ها در جایگزینی ماشین‌آلات کارا تر مؤثر خواهد بود.

وجود علیت یک‌سویه از صنعتی شدن به کارایی انرژی نیز مؤید این مطلب است که دسترسی به یک تکنولوژی جدید و پیشرفته به دنبال پیشرفت‌ها و تحولات صنعتی، موجبات کاهش مصرف انرژی و در نتیجه افزایش کارایی آن را فراهم خواهد کرد. لذا رهیافت‌های بهبود کارایی، در سایه

برنامه‌ریزی و اتخاذ سیاست‌های مناسب در جهت اجرای صحیح استراتژی‌های توسعه صنعتی تجلی خواهد یافت.



## منابع و مأخذ

## الف: منابع و مأخذ فارسی

1. ابراهیمی، محسن. سالاریان، محمد. و حاجی میرزایی، سید محمد علی (1387). "بررسی مکانیسم‌های اثرگذاری درآمدهای نفتی بر رشد اقتصادی کشورهای صادرکننده نفت از دیدگاه بلای منابع طبیعی". فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی 5(16): 131-156.
2. ابراهیمی، محسن. و سالاریان، محمد (1388). "بررسی پدیده نفرین منابع طبیعی در کشورهای صادرکننده نفت و تأثیر حضور در اوپک بر رشد اقتصادی کشورهای عضو آن". فصلنامه اقتصاد مقداری (بررسی‌های اقتصادی سابق) 6(1): 77-100.
3. ابریشمی، حمید. نوری، مهدی. و دودایی‌نژاد، امیر (1389). "رابطه قیمت و بهره‌وری انرژی در ایران: بررسی تجربی هم‌انباشتگی نامتقارن". فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی 18(55): 5-22.
4. امینی، علیرضا. و یزدی‌پور، فرزانه (1387). "تحلیل عوامل مؤثر بر بهره‌وری انرژی در کارگاه‌های بزرگ صنعتی ایران". پژوهشنامه اقتصادی 3: 71-104.
5. امینی، علیرضا. حاجی محمد، نشاط. و اصلاحچی، محمدرضا (1384). برآورد آمارهای سری زمانی جمعیت شاغل به تفکیک بخش‌های اقتصادی، تهران، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، دفتر اقتصاد کلان.
6. بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، حساب‌های ملی.
7. جهانگرد، اسفندیار. و تجلی، هدیه (1389). "تجزیه شدت انرژی‌بری در صنایع کارخانه‌ای ایران". فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی 8(31): 25-58.
8. حیدری، ابراهیم. و صادقی، حسین (1382). "تجزیه و تحلیل کارایی انرژی در اقتصاد ایران". مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم انسانی) 1 و 2.
9. سلیمی‌فر، مصطفی. نوروزی، روح‌اله. و مطهری، محب‌اله (1388). "سنجش توسعه صنعتی و توسعه منطقه‌ای استان‌های خراسان رضوی، جنوبی و شمالی". فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی 9(4): 175-194.
10. شرزه‌ای، غلامرضا. و ابراهیم‌زادگان، هه‌ژار (1390). "برآورد اثر بازگشت افزایش کارایی انرژی در ارتباط با مصرف خانوارها و انتشار دی‌اکسید کربن در ایران". فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی 8(30): 61-33.

11. صادقی، سید کمال. و سجودی، سکینه (1389). "مطالعه عوامل مؤثر بر شدت انرژی در بنگاه‌های صنعتی ایران". فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی 8(29): 163-180.
12. عباسی‌نژاد، حسین. وافی نجار، داریوش (1383). "بررسی کارایی و بهره‌وری انرژی در بخش‌های مختلف اقتصادی و تخمین کشش نهاده‌ای و قیمتی انرژی در بخش صنعت و حمل و نقل با روش TSLs (1350-1379)". مجله تحقیقات اقتصادی 66: 113-137.
13. عبدلی، قهرمان. و ورهرامی، ویدا (1388). "بررسی اثر پیشرفت تکنولوژی بر صرفه‌جویی مصرف انرژی در بخش صنعت و کشاورزی با استفاده از تابع کاب-داگلاس". فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی 6(23): 23-41.
14. کریمی، زهرا. و کشاورزی، رحمان (1390). "توان اشتغال‌زایی بخش صنعت در ایران". ماهنامه سیاسی اقتصادی 285: 250-271.
15. مرکز آمار ایران، سالنامه آماری، سال‌های مختلف.
16. میردال، گونار (1366). درام آسیایی. منوچهر امیری؛ تهران، امیر کبیر.
17. نوفرستی، محمد (1378). ریشه واحد و هم‌جمعی در اقتصاد سنجی، تهران، مؤسسه خدمات فرهنگی رسا.
18. وزارت نیرو، معاونت انرژی، ترازنامه انرژی، سال 1388-1346.
19. یوسفی، سیاوش (1381). "بررسی مصرف و شدت انرژی در بخش صنعت با تأکید بر تعیین اثرات ساختاری بخش صنعت روی مصرف انرژی به روش DECOMPOSITION". طرح پژوهشی، پژوهشکده اقتصاد دانشگاه تربیت مدرس.

### ب: منابع و مآخذ لاتین

1. Bhaskara Rao, B. and Rao, G. (2009). "Structural Breaks and Energy Efficiency in Fiji". *Energy Policy* 37(10): 3959-3966.
2. Cant, R. G. (1968). "Change in Location of Manufacturing in New Zeland, an Application of Three Mode Factors". *New Zeland Geographer* 27: 38- 55.
3. Farla, J. and Blok, K. (2000). "Energy Efficiency and Structural Change in the Netherlands, 1980–1995". *Journal of Industrial Ecology* 4(1): 93-117.
4. Hsiao, C; (1981). "Autoregressive Modeling and Money-Income Causality Detection". *Journal of Monetary Economics* 7(1): 85-106.
5. Kaldor, N. (1966). *Causes of the Slow Rate of Economics of the UK, An Inaugural Lecture*, Cambridge, Cambridge University Press.

6. Kaldor, N. (1978). *Further Essays on Economic Theory*, London, Duckworth.
7. Lewis, W. A. (1954). "Economic Development with Unlimited Supplies of Labour". *Manchester School of Economic and Social Studies*. **22**: 139–91.
8. Lewis, W. A. (1978). *The Evolution of the International Economic Order*, Order, Princeton, NJ, Princeton University Press.
9. Lewis, W. A. (1980). "The Slowing Down of the Engine of Growth". *American Economic Review* **70**(4): 64-555.
10. Linge, G. (1960). "The Concentration and Dispersion of Manufacturing in New Zealand". *Economic Geography* **36**(4): 326-343.
11. Patterson, M. G. (1996). "What is Energy Efficiency?: Concepts, Indicators and Methodological Issues". *Energy Policy* **24**(5): 377-390.
12. Pindyck, R. S. (1979). "Interfuel Substitution and the Industrial Demand for Energy: an International Comparison". *The Review of Economics and Statistics* **61**(2): 169-179.
13. Roy, J., J. Sathaye, et al. (1999). "Productivity Trends in India's Energy Intensive Industries". *The Energy Journal* **20**(3): 33-61.
14. Sadorsky, P. (2013). "Do Urbanization and Industrialization Affect Energy Intensity in Developing Countries?". *Energy Economics* **37**: 52–59.
15. Shahbaz, M. and Lean, H. H. (2011). "Does Financial Development Increase Energy Consumption? The Role of Industrialization and Urbanization in Tunisia". *Energy Policy* **40**(13): 473-479.
16. Siitonen, S., Tuomaala, M. and Ahtila, P. (2010). "Variables Affecting Energy Efficiency and CO<sub>2</sub> Emissions in the Steel Industry". *Energy Policy* **38**(5): 2477-2485.
17. Szirmai, A. (2011). "Industrialization as an Engine of Growth in Developing Countries 1950–2005". *Structural Change and Economic Dynamics* **23**(4): 406-420.
18. Thompson, J. H. (1955). "A New Method for Measuring Manufacturing". *Annals of the Association of American Geographers* **45**(4): 416-427.
19. UNDP (1991). *Human Development Report*, New York, Published for the Nation Development Program.
20. Zhang, Z. (1997). *Industrialization and Energy Use: An Empirical Study of China's Township and Village Enterprises*. Dissertation of University of Pennsylvania.
21. Zhang, Z. X. (2003). "Why Did the Energy Intensity Fall in China's Industry Sector in the 1990s? The Relative Importance of Structural Change and Intensity Change". *Energy Economics* **25**: 625–638.