

## تبیین تأثیر پذیری رشد اقتصادی از بهبود کارایی مصرف انرژی

\* مهدی صادقی شاهدانی<sup>۱</sup>

۱. دانشیار اقتصاد، دانشگاه امام صادق

(دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۵ پذیرش: ۱۳۹۵/۳/۱۲)

## Energy Efficiency Improvement and its Impact on Economic Growth

\*Mehdi Sadeghi Shahdani<sup>1</sup>

1. Associate Professor of Economics, Imam Sadiq University, Tehran, Iran.

(Received: 4/Feb./2016

Accepted: 1/June./2016)

### Abstract:

Since efficiency improvements may be viewed as a form of technical change that both reduces the effective cost of energy services and stimulates economic activity, energy demand may, under some circumstances, rise even as energy productivity improves. This paper examines this hypothesis using a simple model that distinguishes the roles of energy and energy services in production activities. This paper considers a model of economic growth where improvements in energy efficiency constitute a form of technical change that stimulates increased levels of capital investment and economic activity. The model examined here includes energy services, not energy per se, in the aggregate production function. A structure is specified in which energy services are produced using both energy and non-energy inputs like capital stock. In this model, improved energy efficiency entails increased energy use only if (i) energy accounts for a large fraction of the total cost of energy services and (ii) the production of energy services constitutes a substantial fraction of economic activity. The theoretical model examined in this paper employs a number of simplifying assumptions that might be generalized in future research. The model's focus on the Cobb-Douglas production function, where the elasticity of substitution between energy services and other inputs is set equal to one, constitutes something of a special case. The Cobb-Douglas functional form is useful because it permits the analysis of closed-form solutions to the model. Relaxing this assumption is unlikely to affect the insights that emerge by developing the distinction between energy use and energy services. According to the model justified for Iran, improvements in energy will cause a net increase in energy use and economic activity. Additionally, changes in the cost of energy services have identical impacts on capital accumulation and long run economic growth. Changes in unit cost will have major impacts on aggregate economic activity if energy services constitute a large share of gross output.

**Keywords:** Economic Growth, Energy Efficiency, Energy Services, Substitution Elasticity, Economic Activity.

**JEL:** O13, O32, O40.

### چکیده:

رابطه بین دو مفهوم کارایی انرژی و کارایی اقتصادی یکی از موضوعات بحث انگیز می‌باشد. اکثر تحلیل‌گران بر این نکته اتفاق نظر دارند که سیاست‌گذاری‌ها باید به گونه‌ای باشد که هزینه‌های کارایی انرژی را با مزایای آن تعدیل کند. در عین حال برخی دیگر نیز بر این عقیده‌اند که تنها بازارهای رقابتی برای رسیدن به سطح مطلوبی از کارایی انرژی کافی است. گروه دیگر می‌گویند که سطح کارایی انرژی که در بازارهای امروزه به دست می‌آید از سطحی که در صورت اجرای کامل فناوری‌های کاهش دهنده هزینه به وجود می‌آید بسیار کمتر خواهد بود. مدل نظری ارائه شده در این مقاله از چند فرض ساده کننده استفاده کرده است که می‌توانند در تحقیقات آینده تعمیم داده شوند. استفاده از تابع تولید کاب - داگلاس در این مدل، وقتی کشش جانشینی بین خدمات انرژی و سایر نهاده‌ها برابر با یک گرفته شده است، تقریباً یک حالت خاص است. از تبیین تئوریک پیگیری شده در این مقاله به این نتیجه می‌رسیم که تغییر هزینه خدمات انرژی، اثر یکسانی بر موجودی سرمایه و رشد اقتصادی بلندمدت دارد. بدیهی است که در درازمدت، موجودی سرمایه کلی ( $K$ )، خدمات انرژی ( $X$ ) و تولید کل ( $Y$ ) با نرخ مشترک  $g$  که همان نرخ طبیعی رشد جمعیت است رشد می‌کنند. بدین ترتیب در شرایط پایدار نرخ رشد خدمات انرژی از نرخ رشد اقتصاد بزرگ‌تر یا کوچک‌تر نخواهد بود. این مدل به ما می‌گوید در شرایط تعادل بلندمدت نرخ رشد خدمات انرژی مقید به نرخ رشد اقتصاد است. همچنین بهبود کارایی انرژی موجبات افزایش موجودی سرمایه، مصرف خدمات انرژی و فعالیت اقتصادی کل را به دنبال خواهد داشت.

**واژه‌های کلیدی:** رشد اقتصادی، کارایی انرژی، خدمات انرژی، کشش جانشینی، فعالیت اقتصادی.

**طبقه‌بندی JEL:** O13, O32, O40.

## ۱- مقدمه

اگر چه بحث بر سر ریشه‌های «شکاف کارایی» همچنان استمرار دارد، ولی یک ادبیات نوظهور آن را تا حدودی به شکست‌های بازار در رابطه با عدم تقارن اطلاعات، هزینه‌های مبادله و تصمیم‌گیری‌های لحظه‌ای نسبت می‌دهد. دخالت‌های دولت برای تسهیل ورود فناوری‌های مؤثر در هزینه و کارایی انرژی زمانی توجیه اقتصادی خواهد داشت که هزینه برنامه‌ها و سیاست‌های اتخاذ شده برای فائق آمدن بر این گونه محدودیت‌های بازار، کمتر از منافع حاصل باشد (خازوم<sup>۱</sup>، ۱۹۸۰: ۳۴). تحلیل‌گران فناوری عموماً کارایی انرژی را راهی برای کاهش هزینه‌های زیست محیطی مصرف انرژی بدون ایجاد کاهش در تهیه خدمات انرژی می‌دانند (رابیا<sup>۲</sup> و فیصل، ۲۰۱۵: ۲۱۵). از این نقطه نظر، بهبود فناوری می‌تواند از ورود بحث‌های ریشه‌ای پیرامون قیمت‌گذاری کارایی انرژی، به خصوص مشکلات مربوط به سنجش هزینه‌های خارجی و مخالفت‌های سیاسی با مالیات بر انرژی جلوگیری نماید (سانستاد و هوارث<sup>۳</sup>، ۱۹۹۴: ۸۱۵).

در این مقاله ضمن بررسی پیشینه مطالعات انجام گرفته و تأکید بر ملاحظات تجربی به تبیین نظری رابطه انرژی مصرفی در فرایندهای تولیدی و رشد اقتصادی خواهیم پرداخت. اصلاح شدت انرژی و کاهش هزینه خدمات انرژی و تبیین تئوریک رابطه بهبود کارایی مصرف انرژی و رشد اقتصادی پایان بخش این مقاله خواهد بود. نوآوری مقاله در بررسی تئوریک رابطه بین کارایی انرژی، خدمات انرژی و سطح فعالیت‌های اقتصادی در سطح کلان اقتصاد می‌باشد. تطبیق این رابطه بر واقعیت‌های اقتصاد ایران از جنبه‌های دیگر این نوآوری است. در این مقاله از واژه کارایی انرژی به تناوب استفاده می‌شود که منظور میزان انرژی مصرفی به ازای یک واحد فعالیت اقتصادی می‌باشد. کارایی اقتصادی همان مفهوم اقتصاد خردی را داراست (شوجی و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۲: ۱۱۰)، همچنین منظور از تولید ناخالص، تولید ناخالص داخلی است.

## ۲- پیشینه مطالعات انجام گرفته

اعتقاد به این مطلب که بهبود کارایی انرژی می‌تواند لزوماً باعث کاهش مصرف انرژی گردد، توسط خازوم مورد تردید

قرار گرفته است (خازوم، ۱۹۸۰: ۲۷). وی معتقد است که بهبود کارایی انرژی، هزینه مؤثر خدمات انرژی را کاهش می‌دهد و چون کاهش هزینه‌ها متضمن افزایش تقاضاست، بهبود در کارایی انرژی باعث کاهشی به نسبت کمتر در مصرف انرژی می‌شود. اگر تقاضای خدمات انرژی به اندازه کافی نسبت به هزینه، کشش پذیر باشد مسلماً بهبود در کارایی انرژی، تقاضای انرژی را افزایش خواهد داد. به دنبال مقاله مذکور، به طور جدی روی اهمیت تجربی این «ثربرگشتی» در این ادبیات مطالعاتی صورت گرفت. به عنوان مثال دوماگان و ماونت<sup>۵</sup> (۱۹۹۳: ۱۸۱) از یک مدل لاجیت<sup>۶</sup> تعمیم یافته برای بررسی تأثیرات بهبود کارایی بر تقاضای برق خانگی در ایالت نیویورک استفاده نموده و مشاهده کردند که در بسیاری از موارد، اثرات برگشتی بی‌اهمیت است. تحقیق دیگری نشان می‌دهد که مطالعات و بررسی‌هایی که خدمات انرژی را ثابت فرض می‌کنند، معمولاً صرفه‌جویی حاصل از فناوری‌های کارایی انرژی را یک تا بیست درصد بیش از حد تخمین می‌زنند (سانستاد و هوارث، ۱۹۹۴: ۸۱۳). بر اساس این تحقیق اهمیت کم اثرات برگشتی را می‌توان با دو دسته از عوامل توضیح داد: اولاً تقاضای خدمات به خصوص در بخش خانگی که معمولاً خدمات انرژی در حد اشباع یا نزدیک به آن است مصرف انرژی نسبت به هزینه، کشش پذیر است. ثانیاً هزینه‌های انرژی در بخش خانگی اغلب جزء کوچکی از هزینه خدمات انرژی کل اقتصاد است. لذا تغییرات بزرگ در شدت انرژی<sup>۷</sup>، تغییر چندانی در انگیزه مصرف کنندگان ایجاد نمی‌کند. این تعمیم به معنی این نیست که بهبود کارایی انرژی همیشه توأم با کاهش مصرف انرژی است (تایون و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۰۹: ۵۴۷۶).

اسکات<sup>۹</sup> در تحقیق میدانی خود تأثیر بهبود کارایی انرژی بر گرمایش خانگی را مورد بررسی قرار داده است. در مواردی که مصرف کنندگان برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی، اتاق‌های کمتری از منزلشان را گرم نگه می‌دارند، عایق کاری بدنه ساختمان و تدابیر مشابه دیگر، به منظور بهبود کارایی بیشتر، انگیزه‌های نیرومندی برای افزایش سطح خدمات انرژی فراهم می‌کند. این پدیده بیشتر در مورد خانوارهای کم درآمدی صادق است که کارایی انرژی پایین و در نتیجه هزینه انرژی بالایی را

5. Dumagan &amp; Mount (1993)

6. Logit

7. Energy Intensity

8. Taiwen et al. (2009)

9. Scott (1980)

1. Khazoom (1980)

2. Rabia &amp; Faisal (2015)

3. Sanstad &amp; Howarth (1994)

4. Shujie et al. (2012)

روش‌های تولید و ساختار اقتصاد شد. در نتیجه این تغییرات، مصرف زغال سنگ در اواخر قرن نوزدهم به طور سرسام آوری رشد نمود. به عبارت دقیق‌تر ساندرز مدل ساده‌ای از رشد اقتصادی را در نظر می‌گیرد که تولید کل تابعی از نهاده‌های کار، سرمایه و انرژی است (ساندرز، ۱۹۹۲: ۱۳۳). ساندرز ثابت می‌کند که اگر هزینه مؤثر تولید و مصرف انرژی در طول زمان ثابت باشد، تأثیر خالص تغییر فناوری بهبود دهنده مصرف انرژی بر مصرف درازمدت انرژی به طور قطع به کشش جانشینی بین انرژی و شاخص کل نهاده‌های کار و سرمایه بستگی دارد. اگر این کشش کمتر از یک باشد، بهبود کارایی انرژی - طبق نظر تحلیل‌گران فناوری - مستلزم کاهش مصرف انرژی خواهد بود. اما چنانچه کشش مساوی یا بزرگ‌تر از یک باشد مصرف انرژی همراه با کارایی آن افزایش می‌یابد. درجه جانشین پذیری بین انرژی و سایر عوامل در تابع تولید کل به طور جدی در دهه ۱۹۷۰ و اوایل دهه ۱۹۸۰ مورد مطالعه قرار گرفت (برنت و وود<sup>۴</sup>، ۱۹۷۹: ۲۶۳). اگر چه بیشتر مطالعات نشان می‌داد که نیروی کار و انرژی به طور نسبی جانشین هستند، اما یافته‌ها در مورد جانشینی سرمایه و انرژی نتایج متفاوتی را نشان می‌دادند. به طوری که بررسی‌های سری زمانی متعددی، نشانگر مکمل بودن انرژی و سرمایه و در مقابل، مطالعات برش مقطعی و مقایسه‌های بین‌المللی نشان می‌داد آنها جانشین هستند. سولو بحث می‌کند که با این تناقض عملی معلوم می‌شود که پیش فرض‌های اولیه مربوط به دیدگاه تابع تولید کل مناسب نیست (سولو، ۱۹۸۷: ۶۰۷). در جهانی که تقاضای انرژی با فعالیت‌های متنوعی در سطح بنگاه و خانوار ایجاد می‌شود، وقتی داده‌های نامتجانس به داده‌های ساده کلان تبدیل شوند، بسیاری از اطلاعات مهم از بین می‌رود. به روشی مشابه، شیپر و میرز بر اهمیت این مطلب تأکید می‌کنند که تحلیل تقاضای انرژی باید بر فناوری‌های خاص و رفتارهای مصرف‌کننده نهایی<sup>۵</sup> مبتنی شود (شیپر و میرز، ۱۹۹۲: ۱۵۲). به عبارت دیگر اعتقاد دارند که تنها در این نوع تعمیم است که تحلیل‌گران با ملاحظه وابستگی‌های بین کارایی انرژی و کل اقتصاد می‌توانند به نتایج مفیدی دست یابند. علی‌رغم این نگرانی‌های روش‌شناختی، مدل‌های رشد کلان همچنان ابزار مهمی در اقتصاد انرژی هستند. در این رابطه، لبل با مروری بر ادبیات اقتصادسنجی مرتبط با این موضوع نتیجه می‌گیرد که کشش جانشینی بین

تحمل می‌کنند و البته جزء کوچکی از بازار مصرف خانگی را تشکیل می‌دهند (اسکات، ۱۹۸۰: ۱۳۵).

مقاله بروکس<sup>۱</sup> برای بررسی اثرات کارایی انرژی بر رشد اقتصادی بلندمدت، این بحث را گسترش می‌دهد. اساس مطلب بروکس این است که بهبود کارایی انرژی مؤثر بر هزینه را می‌توان نوعی پیشرفت فنی تلقی کرد که تولید و سرمایه‌گذاری خالص را افزایش داده و لذا رشد اقتصادی را تسریع می‌کند. چرا که تقاضای خدمات انرژی به وسیله درآمد مصرف‌کنندگان و نیاز به انرژی به عنوان یک نهاده تعیین می‌شود. در صورت ثابت بودن سایر شرایط، افزایش رشد اقتصادی باید به افزایش تقاضای انرژی منجر شود. به عبارت دیگر اگر اثر رشد به اندازه کافی بزرگ باشد، ممکن است آثار مستقیم کاهش در ضرایب تولید انرژی را جبران کرده و بنابراین بهبود کارایی انرژی در واقع رشد مصرف انرژی را افزایش دهد (بروکس، ۱۹۹۰: ۲۰۰). بروکس بدون هیچ پیش شرطی و به طور کلی ادعا می‌کند که کاهش در انرژی بری محصول چنانچه به اقتصاد آسیب نرساند باعث افزایش تقاضای انرژی در سطح کلان اقتصادی می‌شود. اما به نظر می‌رسد که استدلال وی بیشتر متکی بر تلقی عامیانه و ساده شده از رابطه تاریخی بین مصرف انرژی و فعالیت اقتصادی است (بروکس، ۱۹۹۰: ۲۰۱). در این راستا، گراب<sup>۲</sup> (۱۹۹۰: ۷۸۴) ضمن رد جزئیات استدلال بروکس، ادعا می‌کند که بروکس نتایج تجربی متناقض درباره اثر برگشتی را نادیده گرفته است. با این حال بروکس (۱۹۹۳: ۳۴۶ و ۱۹۹۲: ۳۹۱) در مخالفت با این مطلب، می‌گوید که طرفداران بهبود کارایی انرژی تا حد زیادی بازتاب‌های کلان اقتصادی را که با طرح‌هایشان ایجاد می‌شود نادیده گرفته‌اند (اینهابر و ساندرز<sup>۳</sup>، ۱۹۹۴: ۲۳).

ساندرز با آوردن یک نمونه تاریخی معروف نشان می‌دهد چرا خازوم و بروکس چنین چیزی را بدیهی فرض کرده‌اند. پیش از انقلاب صنعتی مصرف انرژی منحصر در چوب و سایر منابع تجدیدپذیر بود و لذا سوخت‌های فسیلی به خاطر کمبود فناوری‌های کارا که آنها را قابل استفاده کند دارای اهمیت اقتصادی نبودند. در این شرایط موج ابداعات، بازدهی حرارتی موتورهای بخار و زغال سنگ سوز را بالا برد و توأمًا نیاز انرژی صنعت فولاد را کاست. این ارتقای کارایی، هزینه مؤثر استفاده از زغال سنگ را کاهش داد و باعث تغییرات گسترده‌ای در

1. Brookes (1990)
2. Grubb (1990)
3. Inhaber & Saunders (1994)

4. Berndt & Wood (1979)  
5. End-Use Activities

است. در این راستا فرضیه خازوم-بروکس که به طور مختصر بیان گردید، ادعا می‌کند که بهبود کارایی انرژی با ثابت بودن سایر شرایط، باید نسبت به حالت ثابت بودن کارایی، منجر به افزایش خالص در مصرف انرژی شود. برای تحقق این نتیجه، بهبود کارایی باید باعث افزایش به نسبت بیشتری در فعالیت اقتصادی و تقاضای خدمات انرژی گردد. آمار و اطلاعات مربوط به ایالات متحده در دوره زمانی بلندمدت ۱۹۲۹ تا ۱۹۷۰ به خوبی این مسئله را اثبات می‌کند. طی این سال‌ها و به مرور زمان، قیمت انرژی کاهش می‌یافت. بنابراین ممکن است که بهبود کارایی انرژی به دست آمده طی این دوره را به جای منصوب کردن به جانشینی متأثر از قیمت، عمدتاً به تغییر فناوری نسبت داد. طی این سال‌ها، نسبت مصرف انرژی به تولید ناخالص ملی - شاخصی هر چند ابتدایی ولی بسیار مورد استفاده برای کارایی انرژی - به علت تغییر در فناوری‌های تولید و ساختار اقتصادی به میزان ۲۱ درصد سقوط کرد. لازم به ذکر است که در همین دوره، تولید ناخالص ملی تا ۲۵۵ درصد افزایش یافت (دپارتمان تجارت آمریکا<sup>۳</sup>، ۱۹۷۵: ۵۶). اگر نسبت انرژی به تولید طی این دوره ثابت مانده باشد، سطح مشاهده شده مصرف انرژی در سال ۱۹۷۰ تنها در صورتی می‌تواند به وجود آمده باشد که افزایش فعالیت اقتصادی طی سال‌های ۱۹۲۹ تا ۱۹۷۰ محدود به نرخ رشد ۱۸۲ درصد باشد. بنابراین برای اینکه بپذیریم فرضیه خازوم - بروکس یک تعمیم تجربی است، باید ثابت کرد که ۲۹ درصد از افزایش در تولید ناخالص ملی که طی این دوره به دست آمده، به خاطر بهبود کارایی انرژی بوده است، اما چنین ادعایی قابل قبول نیست. چنان که دنیسون<sup>۴</sup> (۱۹۸۵: ۵۵) می‌نویسد، بهبود شیوه تولید و سرمایه‌گذاری فیزیکی علت اصلی ۵۴ درصد از افزایش در درآمد ملی طی سال‌های ۱۹۲۹ تا ۱۹۸۲ در آمریکا بوده است. اگر چه تفسیر خازوم - بروکس (خازوم، ۱۹۸۰: ۳۱) نشان دهنده این است که «بهبود کارایی انرژی» باید عامل ایجاد بیش از نیمی از کل این افزایش باشد، ولی آنها بیشتر تلاش کردند تا هزینه‌های نیروی کار و سرمایه را که فعالیت‌های اقتصادی را تحت تأثیر قرار می‌دهند وارد مدل کنند؛ در حالی که ممکن است سرمایه‌گذاری فیزیکی قابل توجهی با بهبود کارایی یا بدون آن انجام شده باشد. با توجه به این مطلب که انرژی جزء کوچکی از کل فعالیت‌های اقتصادی را تشکیل

انرژی و سایر نهاده‌ها از صفر تا یک تغییر می‌کند (لیبل<sup>۱</sup>، ۱۹۸۲: ۱۲۰). همچنین مان و ریچلز روی زمینه‌هایی که طبق آمار کشش جانشینی در حدود ۰/۴ می‌باشد مطالعه کرده و مشاهداتشان نشان می‌دهد که درجه جانشین پذیری مورد نیاز برای اینکه بهبود کارایی انرژی مصرف انرژی را افزایش دهد، بعید است که در یک سیستم اقتصادی واقعی مشاهده شود هر چند که احتمال آن به طور کامل منتفی نیست (مان و ریچلز<sup>۲</sup>، ۱۹۹۲: ۹۵).

اما تفاوت روش شناسی ما نسبت به بقیه آن است که این مقاله جنبه دیگری از تحلیل ساندرز را مورد بررسی قرار می‌دهد که عمومیت نتایج آن را زیر سؤال می‌برد. ساندرز بدون در نظر گرفتن تفاوت بین مصرف انرژی، فرض کرده است که انرژی مستقیماً وارد تابع تولید می‌شود. این فرض عملاً مطابق با این نظریه است که خدمات انرژی تنها توسط نهاده انرژی تولید می‌شود. اما در واقع خدمات انرژی هم با انرژی و هم با نهاده‌های دیگر تولید می‌شود. از آنجا که هزینه انرژی عموماً جزء کوچکی از هزینه کل خرید و به کار انداختن تجهیزات انرژی‌بر است، افزایش زیاد در کارایی انرژی، کاهش به نسبت کمتری در هزینه خدمات انرژی به جا می‌گذارد. همچنین این مقاله، اقتصاد فرضی ساده‌ای را در نظر می‌گیرد که با یک تابع تولید کاب - داگلاس مشخص می‌شود و کشش جانشینی بین انرژی و سایر نهاده‌ها، واحد می‌باشد. این نوع تصریح از مدل برای قابل حل کردن مسئله بوده و نمونه مهمی را که توسط ساندرز (۱۹۹۲: ۱۳۵) بررسی شده روشن می‌کند. این تحلیل نشان می‌دهد که بهبود کارایی انرژی با فرض‌هایی که به مدل وارد کردیم می‌تواند تقاضای خدمات انرژی را بالا ببرد. در هر صورت این نتیجه وقتی محقق می‌شود که: اولاً هزینه انرژی، هزینه کل به دست آوردن خدمات انرژی را تحت‌الشعاع قرار دهد. ثانیاً مخارج خدمات انرژی نیز بخش بزرگی از فعالیت اقتصادی را تشکیل دهد.

### ۳- بررسی تجربه‌های مربوط به رابطه کارایی انرژی، مصرف انرژی و عملکرد اقتصادی در جهان

یک روش برای ارزشیابی فرضیه خازوم - بروکس، در نظر گرفتن روندهای بلندمدت کارایی انرژی و فعالیت اقتصادی

3. U.S. Department of Commerce (1975)

4. Denison (1985)

1. Lebel (1982)

2. Manne & Richels (1992)

#### ۴- مفهوم کارایی مصرف انرژی

انرژی در وسایل و دستگاه‌های تبدیل کننده، به نوعی دیگر از انرژی، تبدیل می‌شود و از این طریق کالاها و خدمات ارائه می‌گردند. راندمان وسایل و تجهیزات مصرف کننده انرژی نیز در کارایی مصرف انرژی تأثیر به سزایی دارد. راندمان دستگاه‌ها و تجهیزات، متأثر از نوع تکنولوژی و عمر آنهاست. لذا هرچه تکنولوژی عقب افتاده‌تر باشد، مصرف انرژی بالاتر است. در بخش حمل و نقل، موتورهای بنزینی خارجی مصرف انرژی کمتری در مقایسه با موتورهای بنزینی داخلی دارند. اما موتورهای بنزینی خارجی گران‌تر از موتورهای بنزینی داخلی هستند. در بخش حمل و نقل هوایی نیز مصرف بنزین در هواپیماهای توپولوف به مراتب بیشتر از هواپیماهای ایرباس است. در بخش تجاری ساختمان‌های قدیمی در مقایسه با ساختمان‌های جدید مصرف انرژی بالاتری دارند. در بخش صنعت نیز ماشین‌ها و دستگاه‌های قدیمی نسبت به انواع جدید آنها انرژی بیشتری مصرف می‌کنند. بدیهی است که در کلیه موارد مذکور مصرف کنندگان انرژی به شکل عقلایی دستگاه‌های با راندمان پایین را مورد استفاده قرار می‌دهند. راندمان پایین دستگاه‌ها و وسایل مصرف کننده انرژی، عدم کارایی مصرف انرژی را موجب می‌شوند اما آنچه موجب می‌شود، بنگاه‌ها به این عدم کارایی تن در دهند رابطه قیمت انرژی با قیمت دستگاه‌ها و وسایل است. (صادقی و عاملی<sup>۳</sup>، ۲۰۱۲: ۲۷) یک مصرف کننده موتور بنزینی داخلی با آگاهی از راندمان پایین این موتورها در مقایسه با نوع خارجی آن به این انتخاب دست می‌زند اما در این جریان منفعت خالص اقتصادی او حداکثر می‌شود. مصرف کننده اگر بخواهد انرژی را به صورت کارا مصرف کند باید از منفعت خالص خود بکاهد و هزینه بالاتری را برای بهبود راندمان در دستگاه خود بپردازد که غیر عقلایی است.

#### ۵- تشریح ساختار کلی مدل

یک اقتصاد رقابتی را با فرض پیوستگی در زمان در نظر می‌گیریم که در آن یک کالای مصرفی- سرمایه‌ای همگن با استفاده از نهاده‌های سرمایه (K)، خدمات انرژی<sup>۴</sup> (X) و نیروی کار (L) با توجه به تابع  $Y = \alpha K^\beta X^\gamma L^{1-\beta-\gamma}$  تولید ناخالص تولید می‌شود. در اینجا

می‌دهد، کارایی انرژی را از جنبه‌های ضروری محاسبات خود قلمداد نکرده‌اند که یکی از نقائص این استدلال که مربوط به رابطه بین کارایی انرژی و نرخ تولید انرژی است، می‌باشد. شیپر و میرز استدلال می‌کنند که میزان تولید انرژی تا اندازه‌ای متأثر از تغییرات رفتار مصرف کننده و ساختار اقتصادی است که به طور مفهومی با کارایی فنی مصرف انرژی تفاوت دارد (شیپر و میرز<sup>۱</sup>، ۱۹۹۲: ۷۵ و هوارث<sup>۲</sup> و همکاران، ۱۹۹۳: ۳۲). این دو نویسنده اطلاعات و داده‌های قابل ملاحظه‌ای را در مورد کارایی انرژی و خدمات انرژی در دامنه وسیعی از فعالیت‌های مصرفی انتهای در کشورهای عمده صنعتی ارائه می‌دهند. در این راستا، ضمن محاسبه شاخص‌های کل کارایی انرژی و خدمات انرژی، تغییرات این شاخص‌ها را نسبت به نرخ تولید انرژی و فعالیت اقتصادی اندازه‌گیری نموده‌اند. به عنوان مثال در ژاپن علی‌رغم اینکه کارایی انرژی تنها ۱۴ درصد رشد داشته است، میزان تولید انرژی بین سال‌های ۱۹۷۳ تا ۱۹۸۸، به میزان ۲۸ درصد کاهش را نشان می‌دهد. حدود نیمی از تغییر میزان تولید انرژی را می‌توان ناشی از این امر تلقی کرد که خدمات انرژی همپای فعالیت‌های اقتصادی رشد نکرده است. در ایالات متحده نیز تغییرات خدمات انرژی و درآمد ملی رابطه نسبتاً قوی‌تری داشته است. به طوری که ۱۹ درصد بهبود کارایی انرژی با حدود ۲۳ درصد کاهش در میزان تولید انرژی همراه بوده است. طی دو دهه اخیر و به دلیل افزایش بهای انرژی، استفاده از داده‌های این دوره برای تحلیل فرضیه خازوم - بروکس کار پیچیده و مشکلی است. شوک‌های نفتی و تغییرات قیمت انرژی باعث یک اثر جانشینی گردیده که به نوبه خود نرخ تولید انرژی و اندازه‌گیری فنی کارایی انرژی را تحت تأثیر قرار داده است. بنابراین نمی‌توان کارایی انرژی که در واقعیت به وجود آمده است را آن طور که بروکس (۱۹۹۰: ۱۹۹) و نویسندگان بعدی معتقدند به تغییرات خالص در کیفیت فناوری نسبت داد. یافتن راه‌حلی در زمینه جنبه‌های تجربی فرضیه خازوم - بروکس به مدل‌های دقیقی احتیاج دارد که بتواند رویکردهای فنی را با کارایی انرژی، مطالعات اقتصاد خرد مربوط به تقاضای خدمات انرژی و مدل‌های اقتصاد کلان پس‌انداز و سرمایه‌گذاری تلفیق کند. بدیهی است که ساختن چنین مدل‌هایی با توجه به محدودیت‌های متعدد زمانی و اطلاعاتی در چنین تحقیقی میسر نمی‌باشد.

3. Sadeghi & Ameli (2012)

4. Energy Services

1. Schipper & Meyers (1992)

2. Howarth et al. (1993)

کردن معادله (۱) در تابع تولید خواهیم داشت:  
(۲)

$$y = \left[ \alpha \left( \frac{\gamma}{c} \right) k^\beta \right]^{\frac{1}{1-\gamma}}$$

در این مدل نیز فرض می‌شود که سهم ثابتی از تولید ( $s > 0$ ) به سرمایه‌گذاری فیزیکی اختصاص می‌یابد و داریم:  $dk/dt = sY$ . که تعادل سرمایه‌گذاری - پس‌انداز را نشان می‌دهد. بدیهی است که انتخاب تولید ناخالص به جای تولید خالص محدودیت چندانی را ایجاد نمی‌کند. طبق فروض مدل، نسبت سرمایه‌گذاری فیزیکی به تولید خالص مقدار ثابتی و به میزان،  $s/(1-\gamma)$  می‌باشد.

بنابراین، بیان مطلب فوق برحسب سرمایه سرانه عبارت است از:

(۳)

$$\frac{dk}{dt} = \frac{d\left(\frac{K}{L}\right)}{dt} = sy - gk = s \left[ \alpha \left( \frac{\gamma}{c} \right)^\gamma k^\beta \right]^{\frac{1}{1-\gamma}} - gk$$

اگر چه نرخ پس‌انداز ثابت برای این تحلیل ضرورتی ندارد اما موجبات ساده‌سازی مشتق‌گیری را فراهم می‌کند. چنانچه نرخ پس‌انداز برای حداکثر شدن نرخ مطلوبیت اجتماعی درون‌زا اختیار شود، نتایج بسیار مشابهی نیز حاصل می‌شود (بلانچارد و فیشر<sup>۱</sup>، ۱۹۸۹: ۱۱۱).

بنابراین، اگر  $dk/dt$  مساوی صفر باشد، سرمایه سرانه برای حالت پایدار چنین اقتصادی به شکل زیر قابل محاسبه است:  
(۴)

$$k^* = \left[ \alpha \left( \frac{\gamma}{c} \right)^\gamma \left( \frac{s}{g} \right)^{1-\gamma} \right]^{\frac{1}{1-\beta-\gamma}}$$

معادله (۳) نشان می‌دهد وقتی که رابطه  $k < k^*$  برقرار باشد در این صورت  $dk/dt > 0$  و وقتی  $k > k^*$  باشد آنگاه رابطه  $dk/dt < 0$  برقرار است. نتیجه این است که با هر مقدار سرمایه اولیه، اقتصاد به طور یکنواخت به سمت حالت پایدار حرکت خواهد نمود (تاکایاما<sup>۲</sup>، ۱۹۸۵: ۵۶).

در حالت پایدار، خدمات انرژی سرانه و تولید سرانه عبارتند از:

$\gamma$  و  $\beta$  مقادیری مثبت می‌باشد که مقادیر آن می‌تواند از روش‌های اقتصادسنجی تخمین زده شود. خدمات انرژی با هزینه واحد ثابت  $c > 0$  تولید می‌شوند که هر دو هزینه انرژی و ماشین آلات را شامل می‌شوند. تولید ناخالص را نشان می‌دهد که تابعی از سرمایه فیزیکی، خدمات انرژی و نیروی کار می‌باشد. خدمات انرژی به انرژی استفاده شده در فرایند تولید اطلاق می‌شود (مثل برق، گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی). در تولید خدمات انرژی از انرژی و سرمایه فیزیکی استفاده می‌شود. بنابراین تولید خالص که به دو بخش مصرف و سرمایه‌گذاری فیزیکی تقسیم می‌شود از رابطه  $Y - cX$  به دست می‌آید. عرضه نیروی کار در این مدل با جمعیت مساوی گرفته شده است، چنانچه تولید سرانه مساوی است با:

$$y = \alpha k^\beta x^\gamma \quad \text{که } k = \frac{K}{L} \text{ و } x = \frac{X}{L} \quad \text{به ترتیب}$$

سرمایه سرانه و خدمات انرژی سرانه می‌باشند  $y$  نیز تولید سرانه را نشان می‌دهد و جمعیت با نرخ ثابتی معادل  $(dL/dt)/L = g > 0$  رشد می‌کند، (بدیهی است که این فرض که جمعیت به صورت نمایی رشد می‌کند غیرواقعی است و در عین حال فرض ما، تحلیل را ساده‌تر می‌کند

اولاً) مدل حاضر فرض می‌کند «خدمات انرژی» و نه نهاده انرژی به خودی خود وارد تابع تولید کل می‌شود. در تحلیلی که خواهد آمد، نشان داده می‌شود زمانی که خدمات انرژی تنها با نهاده انرژی تولید شود این اختلاف از بین می‌رود. ثانیاً) این مدل تنها به حالتی توجه دارد که کشش جانشینی بین انرژی و سایر نهاده‌های تولیدی برابر با واحد می‌باشد. به عبارت دقیق‌تر تابع تولید در این مدل از نوع کاب-داگلاس می‌باشد. در هر نقطه از زمان بازده نهایی خدمات انرژی  $(\partial y / \partial x)$  با هزینه واحد ( $c$ ) برابر گرفته شده است، به طوری که رابطه زیر برقرار است. در شرایط تعادل اشتغال کامل به صاحبان انرژی معادل بازدهی نهایی آنها پرداخت می‌شود.

(۱)

$$x = \frac{\gamma y}{c} = \left( \frac{\alpha \gamma}{c} k^\beta \right)^{\frac{1}{1-\gamma}}$$

این فرض بر این قضیه استوار است که بهای پرداختی به نهاده‌های تولیدی در بازار رقابتی به اندازه بازده نهایی آنهاست و بر این نکته تأکید می‌کند که در هر نقطه از زمان، تولید خالص نسبت به خدمات انرژی، حداکثر می‌شود. از این توضیح نتیجه گرفته می‌شود که  $\gamma = (cX/Y)$  سهمی از تولید ناخالص است که توسط تولید خدمات انرژی به دست می‌آید. از جانشین

1. Blanchard &amp; Fischer (1989)

2. Takayama (1985)

## ۶- بهبود کارایی مصرف انرژی از طریق کاهش

### در هزینه خدمات انرژی

شدت انرژی، انرژی به کار رفته به ازاء یک واحد محصول می‌باشد. در ادبیات اقتصادی از این مفهوم با عنوان هزینه متوسط انرژی یاد می‌شود. از نتایجی که در بالا توضیح داده شد معلوم می‌شود که بهبود کارایی انرژی موجب افزایش موجودی سرمایه، مصرف خدمات انرژی و فعالیت اقتصادی کل را به دنبال خواهد داشت. محاسبه کشش‌های زیر این مطلب را به وضوح نشان می‌دهد:

(۷)

$$\frac{\partial k^* / \partial c}{k^* / c} = -\frac{\gamma}{1-\beta-\gamma} < 0$$

(۸)

$$\frac{\partial y^* / \partial c}{y^* / c} = -\frac{\gamma}{1-\beta-\gamma} < 0$$

(۹)

$$\frac{\partial x^* / \partial c}{x^* / c} = -\frac{1-\beta}{1-\beta-\gamma} < -1$$

معادلات فوق، حساسیت درازمدت اقتصاد را نسبت به تغییرات هزینه خدمات انرژی نشان می‌دهند. علامت و بزرگی نسبی هر عبارت، از مشاهده‌هایی که نشان دهد، کدام یک از  $\gamma$  و  $\beta$  مثبت‌اند و همچنین رابطه  $\beta + \gamma < 1$  برقرار باشد، مشخص می‌شود. لازم به ذکر است که کاهش هزینه متوسط انرژی به معنای بهبود کارایی مصرف انرژی است.

طبق معادلات (۷) و (۸) تغییر هزینه خدمات انرژی، اثر یکسانی بر موجودی سرمایه و رشد اقتصادی بلندمدت دارد. بزرگی این اثر به مقدار ثابت بستگی دارد که بیانگر بخشی از محصول است که در تولید خدمات انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. سهم زیاد خدمات انرژی  $\gamma$  به این معنی است که کاهش هزینه واحد باعث افزایش به نسبت بیشتری در سرمایه و تولید می‌گردد و هر چقدر  $\gamma$  به صفر نزدیک‌تر شود مقدار این کشش‌ها هم به سمت صفر میل می‌کند. بنابراین چنانچه خدمات انرژی سهم کوچکی از فعالیت اقتصادی را تشکیل دهد، کاهش هزینه خدمات انرژی اثر نسبتاً ناچیزی بر کارکرد کلان اقتصادی خواهد داشت. بدین ترتیب مقدار بزرگ‌تر  $\gamma$  نشان‌دهنده آن است که بهبود کارایی انرژی تأثیر قابل

(۵)

$$x^* = \left[ \alpha \left( \frac{\gamma}{c} \right)^{1-\beta} \left( \frac{s}{g} \right)^\beta \right]^{\frac{1}{1-\beta-\gamma}}$$

(۶)

$$y^* = \left[ \alpha \left( \frac{\gamma}{c} \right) \left( \frac{s}{g} \right)^\beta \right]^{\frac{1}{1-\beta-\gamma}}$$

بدیهی است که در درازمدت، موجودی سرمایه کلی (K)، خدمات انرژی (X) و تولید کل (Y) با نرخ مشترک  $g$  که همان نرخ طبیعی رشد جمعیت است رشد می‌کنند. بدین ترتیب در شرایط پایدار نرخ رشد خدمات انرژی از نرخ رشد اقتصاد بزرگ‌تر یا کوچک‌تر نخواهد بود. این مدل به ما می‌گوید در شرایط تعادل بلندمدت نرخ رشد خدمات انرژی مقید به نرخ رشد اقتصاد است. چنانچه خدمات انرژی با نرخ بیشتر از نرخ رشد تعادلی اقتصاد رشد کند مصرف انرژی از سطح مطلوب آن فاصله خواهد گرفت. همان طور که مشاهده گردید مدل رشد در نظر گرفته شده در این مقاله از قالب مدل رشد سولو (۱۹۵۶: ۷۵) تبعیت می‌کند با این تفاوت که نهاده خدمات انرژی در کنار نهاده‌های سرمایه و نیروی کار اضافه شده است. فروض مدل سولو دقیقاً مورد توجه قرار گرفته است. در این راستا تعادل سرمایه‌گذاری و پس‌انداز، نرخ رشد برون‌زای نیروی کار و تابع تولید کاب داگلاسی با بازدهی ثابت نسبت به مقیاس تولید از جمله فروض در نظر گرفته شده است که بر اساس آن مؤلفه‌های درون‌زا و مستقل تشخیص داده می‌شود. خدمات انرژی با استفاده از انرژی و سرمایه تولید می‌شود (همان، ۱۹۸۷: ۶۰۸). همچنین فرض شده در هر لحظه از زمان بازدهی نهایی خدمات انرژی  $(dy/dx)$  با هزینه واحد انرژی (c) مساوی است. نرخ پس‌انداز به صورت برون‌زا تعیین می‌گردد. بدین ترتیب متغیرهای تولید ناخالص (Y) سرمایه (K) خدمات انرژی (X) از جمله متغیرهای درون‌زا و سایر متغیرها و پارامترها مستقل به حساب می‌آیند. ساده‌سازی الگو آسیبی به نتایج گرفته شده از الگو وارد نمی‌کند و تأثیر آن بر نتایج اساسی الگو قابل ملاحظه نخواهد بود. فروض در نظر گرفته شده به ویژه در قسمت تولید خدمات انرژی بر شرایط اقتصاد ایران کاملاً مطابقت دارد.

به طور سرانه برابر با  $e = \frac{E}{L} = \varepsilon x$  می‌باشد. در تولید خدمات انرژی (مثل برق) به دلیل راندمان سیستم‌های تبدیل کننده انرژی که پایین‌تر از صددرصد است، تقاضای کل انرژی بر حسب بشکه معادل نفت خام بیشتر از خدمات انرژی است. در اینجا بهتر است که به اثرات تغییر شدت انرژی (شدت انرژی مصرف شده در تولید خدمات انرژی) بر روی خدمات انرژی، کل تولید ملی و موجودی سرمایه بلندمدت که به وسیله کشش‌ها به دست آمده است توجه نماییم:

(۱۱)

$$\frac{\partial k^* / \partial \varepsilon}{k^* / \varepsilon} = \frac{\partial k^* / \partial c}{k^* / c} \left( \frac{\partial c}{\partial \varepsilon} \right) = - \left( \frac{\gamma}{1 - \beta - \gamma} \right) \left( \frac{\varepsilon c_e}{c} \right) < 0 \quad (12)$$

$$\frac{\partial y^* / \partial \varepsilon}{y^* / \varepsilon} = \frac{\partial y^* / \partial c}{y^* / c} \left( \frac{\partial c}{\partial \varepsilon} \right) = - \left( \frac{\gamma}{1 - \beta - \gamma} \right) \left( \frac{\varepsilon c_e}{c} \right) < 0 \quad (13)$$

$$\frac{\partial x^* / \partial \varepsilon}{x^* / \varepsilon} = \frac{\partial x^* / \partial c}{x^* / c} \left( \frac{\partial c}{\partial \varepsilon} \right) = - \left( \frac{\gamma}{1 - \beta - \gamma} \right) \left( \frac{\varepsilon c_e}{c} \right) < 0$$

شاخص‌های فوق از حاصل ضرب کشش هر متغیر نسبت به هزینه واحد در عبارت دیگری که نشان دهنده نسبت هزینه انرژی به هزینه کل تولید خدمات انرژی می‌باشد، به دست آمده است. اگر خدمات انرژی، سهم کوچکی از تولید ناخالص را داشته باشد، تغییرات هزینه واحد نیز تأثیری جزئی بر فعالیت اقتصادی کل خواهد داشت. از آنجا که بهبود کارایی انرژی، هزینه واحد را به نسبت کمتری کاهش می‌دهد، در صورتی که هزینه‌های انرژی صرف شده برای تولید خدمات انرژی، بخش کوچکی از کل هزینه خدمات انرژی باشد بدیهی است که این اثر حتی بیش از این نیز کاهش می‌یابد. اما اگر هزینه انرژی صرف شده در مقایسه با هزینه سرمایه صرف شده قابل توجه باشد بهبود کارایی انرژی تأثیر قابل توجهی بر عملکرد اقتصادی خواهد داشت (هوارت و همکاران، ۱۹۹۳: ۲۷).

معادله (۱۳) نشان می‌دهد که کاهش انرژی بری معمولاً باعث برانگیختن تقاضای خدمات انرژی می‌شود. به هر حال شدت این اثر به مقدار پارامترهای  $\gamma$  و  $\frac{\varepsilon c_e}{c}$  بستگی دارد. هرچقدر سهم تولید کل ناشی از تولید خدمات انرژی به سمت صفر میل کند، کشش بلندمدت خدمات انرژی نسبت به

ملاحظه‌ای بر عملکرد اقتصادی خواهد گذاشت.

معادله (۹) نشان می‌دهد که تغییر هزینه واحد خدمات انرژی سبب تغییرات نسبتاً زیادی در تقاضای خدمات می‌شود. برای پی بردن به اهمیت بازخوردهای کلان اقتصادی برآورد اثرات تغییر هزینه واحد، بهتر است این شاخص بلندمدت را با کشش کوتاه‌مدت که با دیفرانسیل‌گیری از معادله (۱) به دست می‌آید و با فروض ثابت بودن مقدار  $\gamma$  مقایسه کنیم:

(۱۰)

$$\left( \frac{\partial x / \partial c}{x / c} \right)_y = -1$$

بدیهی است که کشش بلندمدت معمولاً بزرگ‌تر از کشش کوتاه‌مدت است زیرا که کاهش هزینه واحد با برانگیختن تقاضا باعث تسریع رشد اقتصادی می‌شود. جالب اینجاست که با کوچک شدن سهم خدمات انرژی، کشش‌های کوتاه مدت و بلندمدت به هم نزدیک می‌شوند (دلیل آن این است که زمانی  $[-(1 - \beta) / (1 - \beta - \gamma)]$  به سمت  $(-1)$  میل می‌کند که مقدار  $\gamma$  به سمت صفر میل نماید).

در این حالت روش‌های تعادل جزئی چارچوب نسبتاً خوبی از اثرات تغییر در هزینه خدمات انرژی است، اگر مخارج خدمات انرژی جزء بزرگی از تولید کل باشد. نهایتاً باید به این نتیجه رسید که بهبود کارایی انرژی زمانی موجب بهبود عملکرد اقتصادی می‌شود که سهم خدمات انرژی از کل تولید ملی قابل ملاحظه باشد. در اقتصادهای نفتی شاهد چنین وضعیتی هستیم.

## ۷- بهبود کارایی انرژی و عوامل تعیین کننده رشد اقتصادی

برای کامل کردن تحلیل، احتیاج به افزودن فرض‌های خاصی درباره فناوری مورد استفاده در تولید خدمات انرژی مشاهده می‌شود. در این مدل، فرض می‌شود که تولید یک واحد خدمات انرژی به  $\varepsilon$  واحد انرژی و  $c_0$  واحد کالای مصرفی - سرمایه‌ای احتیاج دارد. این فرض برای ما این مسئله را روشن می‌کند که خدمات انرژی با استفاده از ترکیبی از انرژی و ماشین آلات انرژی بر، که به خاطر نوع فناوری، نرخ داده-ستانده ثابتی دارند تولید می‌شود. انرژی نیز به نوبه خود با هزینه ثابت  $c_e > 0$  تولید می‌شود. از اینجا نتیجه گرفته می‌شود که هزینه واحد خدمات انرژی برابر است با  $c = c_0 + c_e \varepsilon$ ، در حالی که کل تقاضای انرژی مساوی است با  $E = \varepsilon X$  یا



شدت انرژی می‌تواند متأثر از سطح استانداردهای زندگی، عوامل آب و هوایی یا ساختار اقتصادی و صنعتی یک کشور باشد. بهینه‌سازی ساختمان‌ها و تجهیزات، ترکیب سوخت‌های مورد استفاده در بخش حمل و نقل و حتی مسافت بین مکان‌های جغرافیایی، شیوه‌های حمل و نقل و تکنولوژی به کار رفته در خودروها و وسایل نقلیه، ظرفیت حمل و نقل عمومی، اقدامات صورت گرفته در امر بهینه‌سازی مصرف انرژی، حوادث طبیعی و قیمت‌ها یا یارانه‌های انرژی برخی از عوامل تأثیرگذار در شدت انرژی می‌باشند. در سال ۲۰۱۲، در سطح جهان به طور متوسط برای تولید یک میلیون دلار ارزش افزوده حدود ۱۱ تن معادل نفت خام انرژی مصرف شده است، در حالی که این رقم در ایران ۴۰ درصد بیشتر است.

مقایسه سرانه مصرف نهایی انرژی ایران به تفکیک حامل‌های انرژی با مقیاس جهانی نشان می‌دهد که سرانه مصرف گاز طبیعی و نفت خام ۹ برابر متوسط مصرف سرانه جهانی می‌باشد. این امر از بهره‌وری پایین در بهره‌برداری مصرف بالای انرژی و همچنین استفاده از کالاها و خدمات انرژی بر ناشی می‌شود. مصرف سرانه در کشورهایی نظیر ترکیه، هند، چین، هنگ کنگ، پاکستان، آفریقا، ونزوئلا و منطقه خاورمیانه از ایران پایین‌تر است (ترازنامه سال ۱۳۹۲).

بدین ترتیب در اقتصاد ایران پتانسیل بسیار برای بهبود کارایی انرژی وجود دارد که از این پتانسیل می‌توان در جهت رشد اقتصادی کشور استفاده نمود. چارچوب تئوریک مطرح شده در این مقاله نشان داد که در شرایطی می‌توان از بهبود کارایی انرژی در جهت بهبود عملکرد اقتصادی استفاده نمود. ابتدا تابع تولید کل اقتصاد که مشتمل بر نهاده‌های سرمایه خدمات انرژی و نیروی کار بود مورد برآورد قرار گرفت. در این برآورد از آمارهای سرمایه؛ خدمات انرژی، نیروی کار و تولید ناخالص برای دوره ۱۳۹۲-۱۳۴۶ استفاده شده است. آمارهای خدمات انرژی از ترازنامه انرژی وزارت نیرو و آمارهای تولید ملی و سرمایه از سایت بانک مرکزی استخراج شده است. برای این تخمین از نرم‌افزار Eviews8 استفاده شده است. ضرایب مدل در سطح ۹۵ درصد معنادار بوده است. بر این اساس در تابع  $Y = \alpha K^\beta X^\gamma L^{1-\beta-\gamma}$  ضرایب مدل به ترتیب معادل ۰/۲۲، ۰/۲، و ۰/۷ به دست آمد. سهم خدمات انرژی در تولید ملی سهم قابل ملاحظه‌ای است. مقادیر معادله  $C = C_0 + C_e \mathcal{E}$  به ترتیب ۰/۳۵، ۰/۰۵، و ۰/۰۶ می‌باشد. در محاسبه ضرایب این معادله روش حسابداری مبنای محاسبات بوده است.

انرژی بری نیز به مقداری معادل  $\frac{\mathcal{E}C_e}{C}$  نزدیک‌تر می‌شود، مگر اینکه CO مساوی صفر شود، و به عبارتی خدمات انرژی تنها با نهاده انرژی، تولید گردد و سرمایه در تولید آن استفاده نشود. در این حالت بهبود کارایی انرژی به نسبت کمتری تقاضای خدمات انرژی را افزایش می‌دهد. به همین صورت با کاهش سهم هزینه انرژی نیز مقدار کشش به صفر نزدیک می‌شود.

در آخرین مرحله نیز به اثرات تغییر کارایی انرژی بر مصرف بلندمدت انرژی پرداخته می‌شود. در حالت پایدار مصرف انرژی سرانه نیز با  $e^* = \mathcal{E}x^*$  مشخص شده است. با دیفرانسیل‌گیری از این عبارت کشش بلندمدت تقاضای انرژی نسبت به انرژی بری به صورت زیر حاصل می‌شود:

(۱۴)

$$\frac{\partial e^* / \partial \mathcal{E}}{e^* / \mathcal{E}} = 1 + \frac{\partial x^* / \partial \mathcal{E}}{x^* / \mathcal{E}}$$

علامت این شاخص نامشخص می‌باشد و به حساسیت تقاضای خدمات انرژی به تغییر انرژی بری بستگی دارد. اگر کشش خدمات انرژی نسبت به انرژی بری کمتر از ۱- باشد آنگاه این ایده که بهبود کارایی انرژی باعث افزایش خالص در مصرف انرژی می‌شود (ساندرز، ۱۹۹۲: ۱۳۵)، تأیید می‌گردد. اگر به هر شکل تقاضای خدمات انرژی نسبتاً کشش ناپذیر باشد آنگاه اثرات مستقیم تغییر انرژی بری، اثرات بازخوردی را که طی افزایش تقاضای خدمات انرژی به وجود می‌آید تحت‌الشعاع قرار خواهد داد.

معمولاً، تقاضای خدمات انرژی به احتمال زیاد نسبت به تغییرات انرژی بری کشش ناپذیر است. اگر بپذیریم که این مدل به جنبه‌های ضروری مسئله توجه داشته است، لذا باید انتظار داشته باشیم که بهبود کارایی انرژی منجر به کاهش مصرف انرژی گردد.

## ۸- بررسی وضعیت بهبود کارایی انرژی و عملکرد اقتصادی در ایران

شدت انرژی شاخصی برای تعیین کارایی انرژی در سطح اقتصاد ملی هر کشور می‌باشد که از تقسیم مصرف نهایی انرژی (با عرضه انرژی اولیه) بر تولید ناخالص داخلی محاسبه می‌گردد و نشان می‌دهد که برای تولید مقدار معینی از کالاها و خدمات (برحسب واحد پول) چه مقدار انرژی به کار رفته است. عوامل بسیاری در تعیین شدت انرژی یک کشور مؤثر می‌باشد.

بر اساس معادله زیر:

$$\frac{\partial y^* / \partial c}{y^* / c} = -\frac{\gamma}{1-\beta-\gamma} < 0$$

تغییر در هزینه واحد خدمات انرژی، عملکرد اقتصادی را بهبود می‌بخشد. همچنین کاهش در هزینه خدمات انرژی تقاضا برای خدمات انرژی را افزایش می‌دهد. بنابراین معادله زیر نیز در اقتصاد ایران صادق است.

$$\frac{\partial x^* / \partial c}{x^* / c} = -\frac{1-\beta}{1-\beta-\gamma} < -1$$

## ۹- بحث و نتیجه‌گیری

این مقاله یک مدل رشد اقتصادی را در نظر می‌گیرد که بهبود کارایی انرژی نوعی تغییر در فناوری به وجود می‌آورد و باعث افزایش سرمایه‌گذاری فیزیکی و فعالیت اقتصادی می‌شود. اگر کشش جانشینی بین انرژی و سایر نهاده‌ها مساوی یا بزرگ‌تر از واحد باشد، تغییر فناوری انرژی، باعث افزایش خالص در مصرف بلندمدت انرژی می‌شود. مدلی که در اینجا ارائه شده به جای انرژی - به تنهایی - خدمات انرژی را وارد تابع تولید کل می‌کند. برای این منظور ساختاری در نظر گرفته شده است که خدمات انرژی هم با انرژی و هم با دیگر نهاده‌ها (مثل سرمایه) تولید می‌شود. در این مدل در دو صورت بهبود کارایی انرژی مستلزم افزایش مصرف انرژی خواهد بود. اول اینکه هزینه انرژی بخش بزرگی از هزینه کل تولید خدمات انرژی باشد و ثانیاً در صورتی که تولید خدمات انرژی جزء قابل توجهی از فعالیت‌های اقتصادی را تشکیل دهد. در کشورهای نفت خیز شاهد چنین وضعیتی هستیم.

مدل نظری ارائه شده در این مقاله از چند فرض ساده کننده استفاده کرده است که می‌توانند در تحقیقات آینده تعمیم داده شوند. استفاده از تابع تولید کاب - داگلاس در این مدل، وقتی کشش جانشینی بین خدمات انرژی و سایر نهاده‌ها برابر با یک گرفته شده است، تقریباً یک حالت خاص است. از تبیین تئوریک پیگیری شده در این مقاله به این نتیجه می‌رسیم که تغییر هزینه خدمات انرژی، اثر یکسانی بر موجودی سرمایه و

## منابع

وزارت نیرو، معاونت امور برق و انرژی، ترازنامه‌های سال‌های

*Economic Review*, 69(3), 259-268.

Blanchard, O. J. & Fischer, S. (1989). "Lectures on Macroeconomics". *MIT Press*, Cambridge.

رشد اقتصادی بلندمدت دارد. بدیهی است که در درازمدت، موجودی سرمایه کلی (K)، خدمات انرژی (X) و تولید کل (Y) با نرخ مشترک  $g$  که همان نرخ طبیعی رشد جمعیت است رشد می‌کنند. بدین ترتیب در شرایط پایدار نرخ رشد خدمات انرژی از نرخ رشد اقتصاد بزرگ‌تر یا کوچک‌تر نخواهد بود. این مدل به ما می‌گوید در شرایط تعادل بلندمدت نرخ رشد خدمات انرژی مقید به نرخ رشد اقتصاد است. همچنین بهبود کارایی انرژی موجبات افزایش موجودی سرمایه، مصرف خدمات انرژی و فعالیت اقتصادی کل را به دنبال خواهد داشت. بررسی‌های تجربی در اقتصاد ایران نشان می‌دهد که الگوی معرفی شده در این مقاله بر شرایط اقتصاد ایران تطبیق می‌کند. در ایران کارایی انرژی وضعیت مطلوبی ندارد. در تولید خدمات انرژی (برق) راندمان نیروگاه‌ها به‌طور متوسط حدود ۳۸ درصد است. این بدان معناست که در تولید برق ۶۲ درصد از انرژی مربوط به تلفات تبدیل است. به این مقدار نیز باید تلفات انتقال و توزیع را اضافه کرد. در تولید خدمات انرژی (فرآورده‌های نفتی) نیز وضعیت کارایی انرژی مطلوب نیست. حدود ۴۰ درصد از نفت خام به نفت کوره تبدیل می‌شود که ارزشی کمتر از نفت خام دارد. در تولید خدمات انرژی (گاز طبیعی) وضعیت تولید در قسمت بالا دستی و به ویژه در میادین مشترک مطلوب نیست. در میادین مشترک همسایگان بیش از جمهوری اسلامی برداشت می‌نمایند. همه این عدم کارایی‌ها در تولید خدمات انرژی موجب می‌شود که هزینه واحد انرژی افزایش پیدا کند.

## ۱۰- پیشنهادها

پیشنهاد می‌شود جهت رسیدن به مسیر توسعه پایدار تولید، بهبود کارایی انرژی در دستور کار جدی دست اندرکاران برنامه‌ریزی انرژی کشور قرار گیرد تا بتوانیم از طریق استفاده مطلوب از منابع انرژی سطح تولید ملی را بهبود بخشیم. رسیدن به سطح بالاتر تولید ملی دایره مدار بهبود کارایی انرژی است و این راه از راه‌های دیگر زودتر ما را به مدار توسعه یافتگی نزدیک می‌کند.

۱۳۹۳-۱۳۸۰.

Berndt, E. R. & Wood, D. O. (1979). "Engineering and Econometric Interpretations of Energy-Capital Complementarity". *The American*

- Mass.
- Brookes, L. (1990). "The Greenhouse Effect: The Fallacies in the Energy Efficiency Solution". *Energy Policy*, 2(1), 199-201.
- Brookes, L. (1992). "Energy Efficiency and Economic Fallacies: A Reply". *Energy Policy*, 3(2), 390-392.
- Brookes, L. (1993) "Energy Efficiency Fallacies: The Debate Concluded". *Energy Policy*, 1(2), 346-347.
- Denison, E. (1985). "Trends in American Economic Growth, 1929-1982". *Brookings Institution*, Washington, D. C.
- Dumagan, J. C. & Mount, T. D. (1993). "Welfare Effects of Improving End-Use Efficiency: Theory and Application to Residential Electricity Demand". *Resource and Energy Economics*, 17(2), 179-192.
- Grubb, M. J. (1990). "Energy Efficiency and Economic Fallacies". *Energy Policy*, 2(1), 783-785.
- Howarth, R. B., Schipper, L. & Andersson, B. (1993). "The Structure and Intensity of Energy Use: Trends in Five OECD Nations". *The Energy Journal*, 14(2), 27-45.
- Inhaber, H. & Saunders, H. (1994). "Road to Nowhere: Energy Conservation Often Backfires and Leads to Increased Consumption". *The Sciences*, 34(6), 20-25.
- International Energy Agency. (1987) "Energy Conservation in IEA Countries, Paris, Organization for Economic Co-Operation and Development". *International Energy Agency*, 127-131.
- Kazi S., Rawshan A. B., Sharifah M. A. & Mokhtar, J. (2015). "Dynamics of Energy Use, Technological Innovation, Economic Growth and Trade Openness in Malaysia". *Energy*, 90, 1497-1507.
- Khazzoom, D. J. (1980). "Economic Implications of Mandated Efficiency in Standards for Household Appliances". *Energy Journal*, 1(4), 21-39.
- Manne, A. & Richels, R. (1992). "Buying Greenhouse Insurance: The Economic Costs of CO2 Emission Limits", MIT Press
- Rabia, K. & Faisal, A. (2015). "Linking Financial Development, Economic Growth and Energy Consumption in Pakistan". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 211-220.
- Sadeghi, M. & Ameli, A. (2012). "An AHP decision making model for optimal allocation of energy subsidy among socio-economic subsectors in Iran", *Energy Policy*, 45, 24-32.
- Sanstad, A. & Howarth, R. B. (1994). "Normal Markets, Market Imperfections, and Energy Efficiency". *Energy Policy*, 22(10), 811-818.
- Saunders, H. (1992). "The Khazzoom-Brookes Postulate and Neoclassical Growth". *Energy Journal*, 13(4), 131-148.
- Schipper, L. & Meyers, S. (1992). "Energy Efficiency and Human Activity". Cambridge University Press, New York.
- Scott, A. (1980). "The Economics of House Heating". *Energy Economics*, 2(1), 131-141.
- Shujie, Y., Dan, L. & Tyler, R. (2012). "Energy Efficiency and Economic Development in China". *Asian Economic Papers*, 11(2), 100-117.
- Solow, J. L. (1987). "The Capital-Energy Complementarity Debate Revisited". *American Economic Review*, 77(4), 605-614.
- Solow, R. M. (1956). "A Contribution to the Theory of Economic Growth". *Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94.
- Taiwen, F., Linyan, S. & Ying, ZH. (2009). "The Relationship between Energy Consumption Structure, Economic Structure and Energy Intensity in China". *Energy Policy*, 37(12), 5475-5483
- Takayama, A. (1985). "Mathematical Economics". Cambridge University Press, New York.
- US. Department of Commerce (1975). "Historical Statistics of the United States: Colonial Times to 1970". Government Printing Office, Washington, D.C.