Archive of SID

تحلیل عوامل مؤثر بر بهره‌وری انرژی در کارگاههای بزرگ صنعتی ایران

علیرضا امینی*
فرزانه یزدی‌پور**

در این مقاله به بررسی مهمترین عوامل کمّی مؤثر بر بهره‌وری انرژی در کارگاههای بزرگ صنعتی ایران طی دوره ۸۱ - ۱۳۷۳ پرداخته شده است. نتایج حاصله 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،

*. دکتر علیرضا امینی؛ عضو هیأت علمی دانشکده اقتصاد و حسابداری- دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی.
E.mail: aramini2005@gmail.com

**. فرزانه یزدی‌پور؛ کارشناس ارشد اقتصاد.
E. mail: amir_3t@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

بیشترین تأثیر را بر بهره‌وری انرژی داشته‌اند. بعد از آن متوسط نیروی کار به ازای هر واحد انرژی مصرفی ، هزینه های 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 به‌عنوان متغیر جانشین فناوری، تأثیر مثبت و معنی‌داری بر بهره‌وری انرژی داشته است و همچنین قیمتهای نسبی حاملهای انرژی در دوره مورد بررسی نیز تأثیر معنی‌داری بر بهره‌وری انرژی در کارگاههای بزرگ صنعتی نداشته است.

کلید واژه‌ها:

بهره‌وری، انرژی، شدت انرژی، قیمت نسبی انرژی، کارگاههای بزرگ صنعتی

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

امروزه بیشتر کشورهای جهان به بهبود بهره‌وری، به‌عنوان یکی از مهمترین منابع تأمین رشد اقتصادی توجه ویژه‌ای دارند و سرمایه‌گذاری زیادی را در زمینه ارتقای بهره‌وری انجام می‌دهند؛[1] بهبود بهره‌وری به معنی استفاده بهینه، مؤثر و کارآمد از تمامی منابع تولید اعم از نیروی کار، سرمایه و انرژی است و در کشور ما که دارای منابع غنی انرژی می‌باشد، ارتقای بهره‌وری انرژی‌های پایان‌پذیر دارای اهمیت ویژه است. از این رو توجه به معیار بهره‌وری انرژی می‌تواند راهنمایی باشد تا بتوان از طریق آن، استفاده صحیح و مؤثر از منابع انرژی را با توجه به پایان‌پذیری و آثار سوء زیست محیطی آن بکار گرفت. با توجه به اینکه در سال ۱۳۸۳ حدود ۲۰ درصد انرژی در بخش صنعت کشور مصرف شده است، ارتقای بهره‌وری انرژی در این بخش می‌تواند به ارتقای بهره‌وری انرژی کل اقتصاد کمک کند[2]. با توجه به اینکه کارگاههای بزرگ صنعتی، بخش عمده ارزش افزوده بخش صنعت را تشکیل می‌دهند [3]، در نتیجه ارتقای بهره‌وری انرژی در این کارگاهها نقش بسیار مهمی را در تأمین رشد تولید و توسعه بخش صنعت به دنبال خواهد داشت. در این ارتباط، هدف از انجام مطالعه حاضر، اندازه‌گیری بهره‌وری انرژی و تحلیل روند آن و شناسایی عوامل مؤثر بر این روند است. در این راستا، فرضیه‌های تحقیق به صورت زیر بیان شده‌اند:

۱. افزایش قیمت نسبی انرژی، تأثیر مثبت بر بهره‌وری انرژی دارد. ۲. افزایش بهره‌وری انرژی در مقایسه با بهره‌وری نیروی کار و سرمایه، تأثیر کمتری بر بهره‌وری کل عوامل دارد. ۳. پیشرفت فنی تأثیر مثبت بر بهره‌وری انرژی دارد.

---

[1]. علیرضا امینی، «اندازه‌گیری و تحلیل روند بهره وری به تفکیک بخشهای اقتصادی ایران»، ***مجله برنامه و بودجه***، سال دهم، شماره ۹۳، (۱۳۸٤)، ص ۷۷.

[2]. وزارت نیرو، تراز نامه انرژی، (۱۳۸۳)، ص ۷۰.

[3]. علیرضا امینی، «تحلیل عوامل مؤثر بر تقاضای نیروی کار در کارگاههای بزرگ صنعتی ایران»، ***مجله برنامه و بودجه***، سال هفتم، شماره ۷۸، (۱۳۸۲)، ص ۷۹.

www.SID.ir

Archive of SID

افزون بر این، در مطالعه حاضر درصدد پاسخ به این پرسشها هستیم: ۱. آیا قیمتهای نسبی انواع حاملهای انرژی بر روی بهره‌وری آن اثرات متفاوتی گذاشته است یا خیر؟ ۲. آیا بهره‌وری انواع متفاوت حاملهای انرژی متفاوت بوده است؟

در این مطالعه با استفاده از روش اقتصادسنجی، ادغام داده‌های مقطعی و سری زمانی[1] فرضیات مطرح شده آزمون می‌شوند. همچنین منظور از کارگاههای بزرگ صنعتی کارگاههایی هستند که ده نفر کارکن و بیشتر داشته باشند. در این مقاله ابتدا به بیان مبانی نظری پرداخته شده و سپس به مرور برخی از مطالعات انجام شده در داخل و خارج از کشور می‌پردازیم. همچنین پس از بررسی وضعیت بهره‌وری انرژی در کارگاههای بزرگ صنعتی به معرفی مدل و برآورد آن و تفسیر نتایج پرداخته شده است.

مبانی نظری

از آنجایی‌که بهره‌وری انرژی در زیرمجموعه شاخصهای بهره‌وری جزئی قرار می‌گیرد، لذا در ابتدا لازم است شاخصهای بهره‌وری جزئی عوامل تولید تعریف شود. در ادبیات بهره‌وری، شاخصهای بهره‌وری جزئی از تقسیم ارزش افزوده بر مقدار یک نهاده معین بدست می‌آید[2]. بنابراین، بهره‌وری انرژی عبارت است از نسبت ارزش افزوده بر مقدار انرژی مصرفی که این نسبت بیانگر متوسط ارزش افزوده ایجاد شده به ازای هر واحد انرژی مصرفی است.[3] بنابراین، مقصود از بهره‌وری انرژی در تحقیق حاضر، همان بهره‌وری متوسط انرژی بوده و این شاخص نیز، معکوس شدت انرژی است.

---

[1]. Pooling Data

[2]. علیرضا امینی، **پیشین**، ص۷۵.

[3]. برای اطلاع از چگونگی تبدیل و نحوه محاسبه انواع انرژی مصرفی برحسب میلیون بشکه معادل نفت‌خام رجوع شود به:

- McKinsey & Company. "What is Energy Productivity?", ***Research Topic: Energy Markets***, (2008).

- Uhlin, Hans-Erik. "Energy Productivity of Technological Agriculture- Lessons From the Transition of Swedish Agriculture", ***Agriculture, Ecosystems & Environment***, Vol.73, Issue 1, (22 March 1999): 63-81.

– علیرضا امینی، «اندازه‌گیری و تحلیل روند بهره‌وری به تفکیک بخش‌های اقتصادی ایران»، ***مجله برنامه و بودجه***، سال دهم، شماره ۹۳، (۱۳۸۴).

www.SID.ir

Archive of SID

برای بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری انرژی از تابع تولید که شامل سه نهاده نیروی کار، سرمایه و انرژی است، استفاده می‌شود:

$$Y = F(K,L,E) \qquad \frac{\partial Y}{\partial K}>0 \quad , \quad \frac{\partial Y}{\partial L}>0 \quad , \quad \frac{\partial Y}{\partial E}>0 \qquad (۱)$$

که درآن Y تولید؛ K سرمایه فیزیکی، L نیروی کار شاغل و E مقدار انرژی مصرفی می باشد.با فرض آنکه تابع فوق همگن از درجه اول است می‌توان نوشت:

$$AP_E \equiv \frac{Y}{E} = F(\frac{K}{E},\frac{L}{E},1) \quad , \quad \frac{\partial F}{\partial(\frac{K}{E})}>0 \quad , \quad \frac{\partial F}{\partial(\frac{L}{E})}>0 \quad (۲)$$

همانطورکه 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 (۱) نسبت به هر یک از عوامل تولید بزرگتر از صفر است؛ در رابطه (۲) نیز مشتقات جزئی نسبت به $\frac{K}{E}$ و $\frac{L}{E}$ بزرگتر از صفر می‌باشند. بنابراین؛ با افزایش $\frac{K}{E}$ و $\frac{L}{E}$ ، بهره‌وری انرژی یا $\frac{Y}{E}$ افزایش می‌یابد. به‌عبارت دیگر، با افزایش متوسط نیروی کار و سرمایه استفاده شده به ازای هر واحد انرژی مصرفی، بهره‌وری انرژی نیز افزایش می‌یابد.

عامل دیگری که می‌تواند بر بهره‌وری انرژی تأثیر بگذارد، پیشرفت فنی است. اگر پیشرفت فنی در نهاده‌ها تجسم یابد، افزایش استفاده از نهاده‌ها منجر به انتقال منحنی تولید بطرف بالا گردیده و در نتیجه، حداکثر تولید قابل حصول ارتقاء خواهد یافت. بطور کلی، تکنولوژی، مبین رابطه میان نهاده و بازده تولید است. پیشرفت تکنولوژی منجر به بهبود در شیوه‌های تولید می‌شود و این بهبود باعث افزایش بهره‌وری خواهدشد. بنابراین، سرمایه‌گذاری

www.SID.ir

Archive of SID

در تکنولوژی‌های جدید و کارآمد، موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی شده و بهره‌وری انرژی نیز افزایش می‌یابد.

متغیر دیگری که بر بهره‌وری انرژی مؤثر است، قیمت نسبی انرژی می‌باشد. برای نشان دادن اثر قیمت نسبی انرژی بر بهره‌وری انرژی از فرض بازار رقابت کامل استفاده می‌کنیم. در شرایط رقابت کامل، تولید کننده تا جایی از انرژی استفاده می‌کند که ارزش تولید نهایی انرژی برابر با قیمت انرژی باشد. افزایش بهره‌وری انرژی تنها زمانی محقق خواهد شد که قیمتهای عوامل تولید بتوانند هزینه‌های واقعی نهاده‌ها را منعکس کنند. در چنین شرایطی تولیدکنندگان در مصرف انرژی کاراتر عمل کرده و حتی می‌توانند ترکیب‌های مختلف نهاده‌ها را برای کاهش هزینه‌های تولید مورد استفاده قرار دهند. برای بدست آوردن رابطهٔ بهره‌وری انرژی با قیمت نسبی آن، فرم عمومی یک تابع تولید از نوع کاب-داگلاس را با سه عامل نیروی کار، سرمایه و انرژی در نظر می‌گیریم:

$$Y = AK^{\alpha}L^{\beta}E^{\gamma} \qquad (۳)$$

که در آن A پارامتر بهره‌وری کل عوامل و γ,α,β به ترتیب کششهای تولیدی نیروی کار، سرمایه و انرژی می‌باشد. در حالتی که بازدهی ثابت نسبت به مقیاس وجود داشته باشد،می توان نشان داد رابطه بهره وری انرژی با قیمت نسبی آن بصورت زیر است[۱]:

$$AP_E = \frac{P_E / P}{\gamma} \qquad (۴)$$

بنابراین، بهره‌وری انرژی (APE) رابطهٔ مستقیم با قیمت نسبی انرژی $\frac{P_E}{P}$ دارد.

[۱]. برای اطلاع از اثبات روابط به پیوست ۲ مراجعه شود.

www.SID.ir

Archive of SID

یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار بر بهره‌وری انرژی تغییر در ترکیب منابع انرژی مصرفی است. افزایش سهم مصرف حامل انرژیی که کارآیی بالاتری در مقایسه با سایر انرژی‌ها دارد می‌تواند منجر به افزایش کارآیی و بهبود بهره‌وری کل انرژی شود.

دستمزد واقعی نیروی کار یکی دیگر از عوامل مؤثر بر بهره‌وری انرژی است. معمولاً با افزایش دستمزدهای واقعی، انگیزه نیروی کار برای انجام کار بهتر افزایش می‌یابد و میزان تلاش، جدیت و دقت نیروی کار نیز بیشتر می‌شود. افزون بر این، افزایش دستمزد واقعی، انگیزۀ سرمایه‌گذاری در آموزش و ارتقای سطح سلامتی و بهداشت نیروی کار را افزایش می‌دهد که نتیجه اینها افزایش کارآیی نیروی کار است.با در نظر گرفتن تابع تولید (۳) و فرضهای رقابت کامل و همگن خطی، می‌توان نشان داد رابطۀ زیر بین بهره‌وری انرژی و دستمزدهای واقعی برقرار است:

$$AP_E = \frac{L}{E}.\frac{w}{\beta} \qquad (۵)$$

بنابراین، بهره‌وری انرژی با دستمزد واقعی نیروی کار (w) و نسبت نیروی کار به مقدار انرژی مصرفی ارتباط مستقیم دارد.

همچنین، هزینه واقعی استفاده از سرمایه، یکی دیگر از عوامل مؤثر بر بهره‌وری انرژی است. معمولاً با افزایش هزینه واقعی استفاده از سرمایه، سرمایه‌گذاری در طرحهایی صورت می‌گیرد که از بازدهی بالاتری برخوردار هستند. علاوه بر این، با افزایش هزینه واقعی استفاده از سرمایه، هزینه فرصت عاطل ماندن تجهیزات و ماشین آلات بیشتر می‌شود و کارفرما سعی می‌کند از امکانات سرمایه‌ای حداکثر استفاده را داشته باشد. با در نظر گرفتن تابع تولید (۳) و فروض همگنی خطی و رقابت کامل،می توان نشان داد که رابطه زیر بین بهره وری انرژی و هزینه واقعی استفاده از سرمایه برقرار است:

$$AP_E = \frac{K}{E}.\frac{r}{\alpha} \qquad (۶)$$

www.SID.ir

Archive of SID

که در آن r هزینه واقعی استفاده از سرمایه[1] است. بنابراین، بهره‌وری انرژی با هزینه واقعی استفاده از سرمایه ونسبت سرمایه به مقدار انرژی مصرفی ارتباط مستقیم دارد.

به غیر از عوامل کمی، عوامل کیفی همچون بکارگیری روشهای صحیح مدیریت مصرف انرژی و تغییر ساختار بخش صنعت و ... می‌توانند نقش مهمی را در افزایش بهره‌وری انرژی داشته باشند که در این مطالعه مورد بررسی قرار نمی‌گیرند. هدف از مطالعه حاضر، شناسایی مهمترین عوامل کمی تأثیرگذار بر بهره‌وری انرژی است تا از طریق آن بتوان بهره‌وری انرژی را افزایش داد.

در ادامهٔ بحث، به چگونگی نقش ارتقای بهره‌وری انرژی در افزایش بهره‌وری کل عوامل می‌پردازیم. همانطوری‌که پیشتر مطرح گردید، یکی از مهمترین اثرات بهبود بهره‌وری، افزایش نرخ رشد تولید است. اگر همراه با رشد استفاده از نهاده‌ها، بهره‌وری نیز افزایش یابد، رشد تولید بیشتر خواهد شد. با فرض اینکه تولید، تابعی از نیروی کار، سرمایه فیزیکی و انرژی است؛ رابطه زیر براساس روش مانده سولو نقش رشد بهره‌وری کل عوامل را در افزایش رشد تولید نشان می‌دهد[2]:

$$\hat{Y} = \eta_L . \hat{L} + \eta_K . \hat{K} + \eta_E . \hat{E} + T\hat{F}P \qquad (۷)$$

که در آن $T\hat{F}P, \hat{E}, \hat{K}, \hat{L}, \hat{Y}$ به ترتیب معرف نرخ‌های رشد تولید، اشتغال، سرمایه، انرژی و بهره‌وری کل عوامل و پارامترهای η_E, η_K, η_L به ترتیب کشش‌های تولیدی کار، سرمایه و انرژی می‌باشند. با در نظر گرفتن تابع تولید (۳) و فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس خواهیم داشت:

$$T\hat{F}P = \hat{Y} - \alpha\hat{K} - \beta\hat{L} - (1-\alpha-\beta)\hat{E}$$

[1]. Real Capital Cost

[2]. علیرضا امینی، **پیشین**، ص ۸۰.

www.SID.ir

Archive of SID

که می‌توان اثبات کرد که:

$$\hat{TFP} = \alpha.AP_{\mathrm{K}} + \beta.\hat{AP}_{\mathrm{L}} + (1-\alpha-\beta)\hat{AP}_{E} \qquad (۸)$$

یعنی رشد بهره‌وری کل عوامل $\hat{\mathrm{TFP}}$ برابر میانگین وزنی نرخهای رشد بهره‌وری سرمایه، نیروی کار و انرژی می‌باشد. در رابطهٔ فوق، هر چقدر نرخ رشد بهره‌وری انرژی بیشتر باشد، سهم ارتقای بهره‌وری انرژی در رشد بهره‌وری کل عوامل بیشتر خواهد بود. از منظر دیگر، با مفروض بودن نرخهای رشد بهره‌وری نیروی کار، سرمایه و انرژی، هر چقدر سهم انرژی در تولید بیشتر باشد، نقش بهبود بهره‌وری انرژی در رشد بهره‌وری کل عوامل بیشتر خواهد بود.

مروری بر مطالعات تجربی انجام شده در داخل و خارج از کشور

شایان ذکر است؛ با توجه به پایان‌پذیری منابع انرژی و افزایش قیمت جهانی آن، بتدریج توجه به ارتقای بهره‌وری انرژی بیشتر شده است. در این قسمت به مرور برخی از مهمترین مطالعاتی که در داخل و خارج از کشور انجام گرفته است، می‌پردازیم.

«وافی» (۱۳۸۲)[۱] به بررسی کارآیی و بهره‌وری انرژی در بخش‌های مختلف اقتصادی و تخمین کشش نهاده‌ای و قیمتی انرژی در بخشهای صنعت و حمل و نقل با روش *2SLS* طی دوره (۱۳۷۹ - ۱۳۵۰) پرداخته است. در این مطالعه پس از تخمین تابع تولید این نتیجه حاصل شده است که کشش نهاده‌ای انرژی در بخش صنعت کوچکتر از یک است و انرژی به عنوان یک نهادهٔ بی‌کشش محسوب می‌شود. همچنین با برآورد تابع تقاضای انرژی به این نتیجه رسیده است که کشش قیمتی انرژی، منفی می‌باشد، ولی مقدار عددی آن کوچک است. بنابراین، افزایش قیمت انرژی یک سیاست مؤثر به منظور کاهش مصرف انرژی نیست.

[۱]. داریوش وافی، «تحلیل روند بهره وری انرژی در بخشهای اقتصادی طی سه دهه گذشته و محاسبه کشش نهاده‌ای و قیمتی انرژی در صنعت»، ***همایش ملی انرژی ایران***، شماره چهارم، (اردیبهشت ۱۳۸۲).

www.SID.ir

Archive of SID

«یوسفی» (۱۳۸۱)[۱] به بررسی مصرف و شدت انرژی در کارگاههای بزرگ صنعتی طی دوره ۷۸-۱۳۶۸ با تأکید بر تعیین اثرات تغییرات ساختاری روی مصرف انرژی به روش تجزیه به اجزا[۲] پرداخته است؛ نتایج بدست 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، قیمت حاملهای انرژی، تغییر تکنولوژی تولید، جانشینی حاملهای انرژی و ... باشد. در طی سالهای ۷۳-۱۳۶۸ مصرف انرژی به علت سرمایه‌گذاریهای عظیم دولت در صنایع انرژی بر افزایش یافته است (اثر ساختاری). همچنین شدت انرژی طی این دوره، در نتیجه برآیند اثر ساختاری و اثر شدت انرژی (افزایش سهم صنایع جوان با تکنولوژی بالا) کاهش یافته است. در طی سالهای ۷۸-۱۳۷۴، مصرف انرژی به دلیل کمتر شدن سرمایه‌گذاریهای دولت در صنایع انرژی، نسبت به دورهٔ قبل بهبود یافته و در نتیجه؛ آن شدت انرژی نیز کاهش یافته است. افزون بر این، مشخص شده که رشد ارزش افزوده کارگاههای بزرگ صنعتی توأم با نوسازی صنایع و بکارگیری تکنولوژی‌های جدید و کارآتر، عامل اصلی تأثیرگذار بر شاخص شدت انرژی کارگاههای بزرگ صنعتی است.

«میکتا و مولدر» (۲۰۰۳)[۳] بهره‌وری انرژی را در ۵۶ کشور توسعه یافته و در حال توسعه در ده فعالیت صنعتی، مورد بررسی قرار داده‌اند. محاسبات انجام شده در مورد میانگین وزنی نرخهای رشد سالانه بهره‌وری انرژی در طی دوره زمانی ۱۹۹۰-۱۹۷۵ برای مناطق صنعتی و غیرصنعتی نشان می‌دهد که بهره‌وری انرژی در فعالیتهای مختلف صنعت تفاوتهای زیادی با یکدیگر دارند. این اختلافات اساساً نتیجهٔ فعالیتهایی است که نیازمند نیروی کار ماهر بیشتر و تکنولوژی بالاتر نسبت به دیگر فعالیتها است. نرخهای رشد بهره‌وری در هر دو مناطق؛ یعنی مناطق صنعتی و غیرصنعتی در صنایع انرژی بالا می‌باشد؛ ولی در مناطق صنعتی، بالاتر از مناطق غیرصنعتی است. همچنین نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که

---

[۱]. سیاوش یوسفی، «بررسی مصرف و شدت انرژی در بخش صنعت با تأکید بر تعیین اثرات تغییرات ساختاری بخش صنعت روی مصرف انرژی به روش Decomposition»، پژوهشکده اقتصاد دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۸۱).

[2]. Decomposition

[3]. Asami Miketa, Peter Mulder, "Energy-Productivity Convergence Across Developed and Developing Countries in 10 Manufacturing Sectors", (Desember 2003).

www.SID.ir

Archive of SID

قیمتهای انرژی نقش محدودی را در رشد بهره‌وری انرژی دارند و تغییر تکنولوژی بعنوان یک عامل مهم در رشد بهره‌وری انرژی محسوب می‌شود. از اینرو، انتقال تکنولوژی و گسترش دانش فنی در بین کشورهای مختلف دنیا اهمیت ویژه‌ای می‌یابد.

«آدنی کینجو و الومویاوا» (۱۹۹۹)[1] رابطه بین مصرف انرژی و بهبود بهره‌وری در بخش صنایع کارخانه‌ای نیجریه را مورد بررسی قرار داده‌اند. براساس نتایج این مطالعه در مورد بسیاری از کشورها، حفظ ذخیره انرژی، تغییرات در ساختار صنعت و ترکیب سوخت مصرفی صنایع، موجب افزایش کارآیی در صنایع کارخانه‌ای شده است. افزون براین، اگر اصلاحات تکنولوژیکی در بخش صنایع کارخانه‌ای صورت بگیرد،در این صورت اصلاح قیمتهای انرژی به نتایج معناداری منجر خواهد شد. نتایج بررسی حاکی از آن است که بخش صنعت این کشور دارای تکنولوژی غیرکارآی انرژی می‌باشد. در ضمن وقتی که قیمتهای انرژی، تعیین کنندهٔ هزینه‌های واقعی نهاده‌های تولید است، آنگاه تولیدکنندگان، نه تنها باید در مصرف انرژی کارآیی داشته باشند؛ بلکه باید ترکیبی از نهاده‌ها را انتخاب نمایند که دارای کمترین هزینه تولید باشد.

«رُی و دیگران» (۱۹۹۹)[2] روند بهره‌وری انرژی را برای شش صنعت انرژی‌بر کشور هند مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مطالعه کشش قیمتی تقاضا برای انرژی در دو کشور هند و کانادا مقایسه شده است. نتایج بدست آمده از تخمین مدل برای دوره ۹۳-۱۹۷۳ نشان می‌دهد به غیر از صنعت چسب‌سازی، کشش مذکور در بقیه صنایع در یک محدوده بی‌کشش قیمتی قرار دارد. همچنین، با دو برابر شدن قیمت انرژی در کشور هند، بهره‌وری کل بخش صنعت به میزان ۰/۷ 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

[1]. Adenikinju Adeola F, Alaba Olumuyiwa B, "Energy Use and Productivity Performance in the Nigerian Manufacturing Sector", ***OPEC Review***, (September 1999).
[2]. Joyashree Roy, et.all, "Productivity Trend in India's Energy Intensive Industries", (April 1999).

www.SID.ir

Archive of SID

به کاهش رفاه نیز منجر خواهدشد[1].

بطورکلی، نتایج حاصل از مطالعات انجام شده حاکی از آن است که قیمتهای انرژی نمی‌تواند نقش چندان مؤثری در رشد بهره‌وری انرژی داشته باشند. بهبود تکنولوژی، به‌عنوان یک عامل مهم در افزایش بهره‌وری انرژی شناخته شده و نقش بیشتری را در مقایسه با حرکت به سمت صنایع کمتر انرژی بر ایفا می‌کند. همچنین در برخی از کشورها همچون ژاپن تغییرات ساختاری (اثرات مدیریتی و تکنیکی) به عنوان یک عامل مهم در کاهش شدت انرژی (افزایش بهره‌وری انرژی) شناخته شده است[2].

بررسی نقش بهره‌وری انرژی در ارتقای بهره‌وری کل عوامل در کارگاههای بزرگ صنعتی ایران

یکی از فرضیه‌های این تحقیق، اشاره دارد بر اینکه بهره‌وری انرژی نسبت به بهره‌وری نیروی کار و سرمایه، اثر کمتری بر بهره‌وری کل عوامل تولید دارد. برای آزمون این فرضیه، ابتدا فرض می‌کنیم تولید، تابعی از نیروی کار، سرمایه و انرژی مصرفی است و سپس ارزش افزوده محاسبه شده در نتایج طرح آمارگیری از کارگاههای بزرگ صنعتی برمبنای دو عامل نیروی کار و سرمایه را با ارزش انرژی مصرفی در کارگاههای بزرگ صنعتی جمع می‌کنیم تا ارزش افزوده با احتساب انرژی مصرفی بدست آید. در مرحله بعد، ارزش انرژی مصرفی را به ارزش افزوده با احتساب انرژی مصرفی تقسیم می‌کنیم تا سهم انرژی مصرفی از ارزش افزوده معلوم شود. همچنین از تقسیم جبران خدمات شاغلان به ارزش افزوده با احتساب انرژی مصرفی، سهم نیروی کار از ارزش افزوده بدست می‌آید. در نهایت، سهم سرمایه از ارزش افزوده، بصورت یک منهای سهم انرژی و سهم نیروی کار از ارزش افزوده بدست می‌آید. نتایج حاصل از این محاسبات نشان می‌دهد که در سطح کل کارگاههای بزرگ صنعتی متوسط

---

[1]. برای اطلاع بیشتر در مورد سایر مطالعات انجام شده در زمینه روندهای بهره‌وری انرژی رجوع شود به:
– فرزانه یزدی‌پور، «بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری انرژی در کارگاههای بزرگ صنعتی ایران»، ***پایان‌نامه کارشناسی ارشد***، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز، دانشکده اقتصاد و حسابداری، (۱۳۸٤).

[2]. World Energy Council, "Energy Efficiency Policies and Indicators", (2000).

www.SID.ir

Archive of SID

سهم سرمایه از ارزش افزوده با رقم ۶۷/۶ درصد به عنوان بالاترین سهم و متوسط سهم انرژی از ارزش افزوده با رقم ۵/۳ درصد به‌عنوان کمترین سهم عامل تولید می‌باشد. همچنین کمترین متوسط سهم انرژی از ارزش افزوده را صنایع ماشین‌آلات و تجهیزات و بیشترین متوسط سهم را صنایع فلزات اساسی دارا می‌باشند. همانطور که ملاحظه می‌شود سهم انرژی از ارزش افزوده بسیار پایین‌تر از سهم سرمایه و نیروی کار از ارزش افزوده است؛ یعنی ضریب نرخ رشد بهره‌وری انرژی در رابطه (۸) نسبت به ضرایب نرخهای رشد بهره‌وری نیروی کار و سرمایه کوچکتر است. بنابراین، فرضیه دوم تحقیق تأیید می‌شود. به عبارت دیگر، ارتقای بهره‌وری انرژی در مقایسه با افزایش بهره‌وری نیروی کار و سرمایه، تأثیر کمتری بر رشد بهره‌وری کل عوامل داشته است.

بررسی روند بهره‌وری انرژی در کارگاههای بزرگ صنعتی

در این مطالعه، برای اندازه‌گیری بهره‌وری انرژی از نسبت ارزش افزوده به قیمت ثابت ۱۳۷۶ بر مقدار انرژی مصرفی در هر یک از فعالیتهای صنعتی به تفکیک کد دو رقمی *ISIC* استفاده شده است.

مطابق جدول (۱)، بهره‌وری انرژی در سطح کل کارگاههای بزرگ صنعتی در طی دورهٔ زمانی ۸۱-۱۳۷۰ بطور متوسط سالانه از رشد ۳/۶ درصدی برخوردار بوده است که بیانگر آن است که بطور متوسط برای تولید هر واحد محصول از انرژی کمتری استفاده شده است. شایان ذکر است که بیشترین رشد بهره‌وری انرژی در صنعت نساجی، پوشاک و چرم (با ۷ درصد در سال) اتفاق افتاده است و تنها در صنایع چوب و محصولات آن، بهره‌وری انرژی کاهش یافته است.

مطابق جدول شماره (۱)، در سال ۱۳۷۰ در بین کارگاههای بزرگ صنعتی، صنایع ماشین آلات و تجهیزات، بالاترین بهره‌وری انرژی را با رقم ۱۷۴۸/۱ میلیارد ریال به ازای هر میلیون بشکه نفت خام دارا بوده و کمترین میزان بهره‌وری انرژی را صنایع کانی غیرفلزی با رقم ۸۶/۹ میلیارد ریال داشته است که این آمار نشان‌دهندهٔ بالاترین مقدار شدت انرژی در بین صنایع می‌باشد (انرژی بری بالا). در سال ۱۳۸۱ همچنان بیشترین مقدار بهره‌وری انرژی

www.SID.ir

Archive of SID

متعلق به صنایع ماشین آلات و تجهیزات با رقم ۳۲۰۵/۵ میلیارد ریال به ازای هر میلیون بشکه است که نسبت به سال ۱۳۷۰ افزایش داشته و کمترین مقدار بهره‌وری انرژی همچنان متعلق به صنایع کانی غیرفلزی با رقم ۱۳۶/۹ میلیارد ریال به ازای هر میلیون بشکه معادل نفت خام است که در این مورد نیز نسبت به سال ۱۳۷۰ از افزایش برخوردار بوده است. افزایش بهره‌وری انرژی در صنایع بزرگ در طی این دوره نشان‌دهندهٔ حرکت در جهت مصرف بهینه انرژی و در نهایت کاهش هزینه‌های تمام شده تولید است و کاهش اینگونه هزینه‌ها به افزایش ارزش افزوده منجر شده است.

شایان ذکر است؛ افزایش بهره‌وری انرژی در سطح کل صنعت، بطور عمده ناشی از دو عامل افزایش کارآیی استفاده از انرژی و تغییر ترکیب تولیدات صنعت (افزایش سهم ارزش افزوده صنایع کمتر انرژی بر) است. در سال ۱۳۷۰ صنایع نساجی، چوب، کاغذ، شیمیایی و صنایع ماشین‌آلات، بهره‌وری انرژی بالاتر از حد متوسط داشته‌اند. مجموع سهم ارزش افزوده آنها از ۶۵/۷ درصد در سال ۱۳۷۰ به ۶۹/۲ درصد در سال ۱۳۸۱ افزایش یافته است. همانطورکه در جدول (۲) ملاحظه می‌شود، تنها، افزایش سهم ارزش افزوده صنایع شیمیایی در بین صنایع مذکور، منجر به افزایش مجموع سهم ارزش افزوده اینگونه صنایع در سال ۱۳۸۱ نسبت به سال ۱۳۷۰ شده است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش بهره‌وری انرژی در سطح کل صنعت بیشتر به دلیل افزایش بهره‌وری انرژی در تک‌تک گروه صنایع می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. بهره‌وری انرژی به قیمت ثابت ۱۳۷۶ در کارگاههای بزرگ صنعتی به تفکیک کد دو رقمی صنایع

(میلیارد ریال به ازای هر میلیون بشکه معادل نفت خام)

سال	مواد غذایی، آشامیدنی و دخانیات	نساجی، پوشاک و چرم	چوب و محصولات آن	صنایع کاغذ و صحافی	صنایع شیمیایی	صنایع کانی غیرفلزی	صنایع فلزات اساسی	صنایع ماشین‌آلات و متفرقه	کل (صنایع)
۱۳۷۰	۳۱۵/۸	۵۱۱/۵	۵۳۹/٤	٤٦۷/۱	٤۰۱/۹	۸٦/۹	۲۲۱	۱۷٤۸/۱	۳۳۹/٤
۱۳۸۱	٤۷۲/۷	۱۰۷٤/۷	٤۹٤/۳	٦۹٤/۷	۵۳۲/۳	۱۳٦/۹	۲۵۹/۲	۳۲۰۵/۵	۵۰۱/۲
متوسط نرخ رشد سالانه (درصد)	۳/۷	۷	-۰/۸	۳/۷	۲/٦	٤/۲	۱/۵	۵/۷	۳/٦

ماخذ: محاسبات پژوهشگران حاضر.

جدول ۲. سهم ارزش افزوده هر یک از صنایع در کارگاه‌های بزرگ صنعتی

(درصد)

سال	مواد غذایی، آشامیدنی و دخانیات	نساجی، پوشاک و چرم	چوب و محصولات آن	صنایع کاغذ و صحافی	صنایع شیمیایی	صنایع کانی غیرفلزی	صنایع فلزات اساسی	صنایع ماشین‌آلات و متفرقه
۱۳۷۰	۱۲	۱۲/۵	۱/۳	۲/۷	۱۲	۱۰/٤	۱۱/٦	۳۷/۲
۱۳۸۱	۱۰	۷	۰/٤	۲/۲	۲۵/۵	۸/٦	۱۱/۹	۳٤/۱

ماخذ: محاسبات پژوهشگران حاضر.

www.SID.ir

Archive of SID

معرفی مدل عوامل مؤثر بر بهره‌وری انرژی

با توجه به مبانی نظری مطرح شده در بخشهای پیشین، عوامل مؤثر بر بهره‌وری انرژی (AP_E) عبارتند از:

۱. متوسط سرمایه به ازای هر واحد انرژی مصرفی ($\frac{K}{E}$)؛

۲. متوسط نیروی کار به ازای هر واحد انرژی مصرفی ($\frac{L}{E}$)؛

۲. دستمزد واقعی نیروی کار (w)؛

۴. هزینه واقعی استفاده از سرمایه (r)؛

۵. قیمت نسبی انرژی ($\frac{P_E}{p}$).

پیشرفت تکنولوژی (*TP*)

فرم لگاریتمی قابل برآورد مدل بصورت زیر است:

مدل شماره (۱)

$$Ln(APE_{i,t}) = \beta_{1i} + \beta_2 \mathrm{Ln}(\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{E}}) + \beta_3 \mathrm{Ln}(\frac{\mathrm{K}}{\mathrm{E}}) + \beta_4 \mathrm{Ln}(\mathrm{w_{i,t}}) + \beta_5 \mathrm{Ln}(\mathrm{r_{i,t}}) + \beta_6 \mathrm{Ln}(\frac{\mathrm{P_E}}{\mathrm{P}}) + \beta_7 \mathrm{TP}$$

اندیس i بیانگر نام صنعت و t نشانگر سال است و حرف Ln جلوی متغیرها بیانگر لگاریتم طبیعی می‌باشد. براساس مبانی نظری ارائه شده در بخشهای قبل انتظار می‌رود که تمامی پارامترهای β_2, β_3, β_4, β_5, β_6 و β_7 مثبت باشند.

از آنجایی‌که بهره‌وری انرژی علاوه بر بهره‌وری عامل انرژی، متأثر از بهره‌وری سایر عوامل تولید نیز می‌باشد؛ لذا قیمتهای سایر عوامل تولید نیز در مدل لحاظ شده است.

برای در نظر گرفتن قیمت هر یک از حاملهای انرژی می‌توان قیمتهای نسبی هر یک از این حاملها را وارد مدل کرد. شکل لگاریتمی مدل به صورت زیر است:

www.SID.ir

Archive of SID

$$Ln(APE_{i,t}) = \beta_{1i} + \beta_2 \mathrm{Ln}(\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{E}}) + \beta_3 \mathrm{Ln}(\frac{\mathrm{K}}{\mathrm{E}}) + \beta_4 \mathrm{Ln}(\mathrm{w}_{\mathrm{i,t}}) + \beta_5 \mathrm{Ln}(\mathrm{r}_{\mathrm{i,t}}) + \beta_6 \mathrm{Ln}(\mathrm{PG}_{\mathrm{i,t}}) + \beta_7 \mathrm{Ln}(\mathrm{PO}_{\mathrm{i,t}}) + \beta_8 \mathrm{Ln}(\mathrm{PB}_{\mathrm{i,t}}) + \beta_9 \mathrm{TP}$$

مدل شماره (۲)

در رابطه فوق PG قیمت نسبی گاز طبیعی؛ PO قیمت نسبی فرآورده‌های نفتی و PB قیمت نسبی برق است.

در این مدل با حفظ ساختار مدل شماره یک، به جای قیمت انرژی، قیمتهای هر یک از حاملهای انرژی را در مدل وارد کرده‌ایم.هدف از برآورد این مدل پاسخ به این پرسش است که آیا قیمتهای نسبی حاملهای انرژی بر روی بهره‌وری انرژی اثرات متفاوتی گذاشته است یا خیر؟

برای در نظر گرفتن تفاوت بهره‌وری هر یک از حاملهای انرژی می‌توان سهم هر یک از این حاملها از کل انرژی مصرفی را وارد مدل کرد. در این حالت، فرم لگاریتمی مدل به صورت زیر است:

$$Ln(APE_{i,t}) = \beta_{1i} + \beta_2 \mathrm{Ln}(\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{E}}) + \beta_3 \mathrm{Ln}(\frac{\mathrm{K}}{\mathrm{E}}) + \beta_4 \mathrm{Ln}(\mathrm{w}_{\mathrm{i,t}}) + \beta_5 \mathrm{Ln}(\mathrm{r}_{\mathrm{i,t}}) + \beta_6 \mathrm{E}_{\mathrm{i,t}} + \beta_7 \mathrm{G}_{\mathrm{i,t}} + \beta_8 \mathrm{TP}$$

مدل شماره (۳)

در رابطهٔ بالا؛ E بیانگر سهم برق مصرفی از کل انرژی مصرفی و G سهم گاز طبیعی مصرفی از کل انرژی مصرفی است. در این مدل می‌توان به جای E یا G؛ سهم فرآورده‌های نفتی از کل مقدار انرژی مصرفی را قرار داد. همچنین با حفظ ساختار مدل شماره یک، سهم هر یک از حاملهای انرژی از کل مقدار انرژی مصرفی نیز به مدل اضافه شده است. با توجه به اینکه هر یک از حاملهای انرژی کارآیی متفاوتی دارند، هدف از برآورد این مدل پاسخ به این سؤال است که آیا حاملهای انرژی بر روی بهره‌وری انرژی اثرات متفاوتی گذاشته است یا خیر؟

www.SID.ir

Archive of SID

اگر جواب مثبت باشد، نشان می‌دهد که آن حامل انرژی در مقایسه با سایر حاملهای انرژی کاراتر است.

روش تخمین مدل

در این تحقیق، جهت تخمین مدل و آزمون فرضیه‌ها، از روش ادغام داده‌های مقطعی و سری زمانی استفاده شده است. با توجه به اینکه اطلاعات هشت گروه صنعت برای سالهای ۸۱-۱۳۷۰ موجود است[1]؛ با تلفیق آنها ۹۶= ۱۲×۸ مشاهده مهیا خواهد شد که به علت افزایش درجه آزادی می‌تواند منجر به برآوردهای کاراتری از پارامترها نسبت به معادلات سری زمانی و یا مقطعی شود. بطور کلی، فرم عمومی مدلهایی که در این روش در نظر گرفته می‌شود، به صورت زیر است:

$$Y_{it} = \beta_{1i,t} + \sum_{k=2}^{k} \beta_{kit} Xk_{it} + e_{it}$$

که در آن $i=1,2,..., N$ به واحد مقطعی؛ و $t=1,2, ... ,T$ به دورهٔ زمانی معینی اشاره دارد. بنابراین, Yit مقدار متغیر وابسته است برای صنعت i در دوره زمانی t ، و $\beta_{1i,t}$ نشان‌دهندهٔ عرض از مبدأ و β_{kit} پارامترهای مجهول یا ضرایب حساسیت مدل می‌باشد.؛ Xk_{it} عبارت از ارزش K امین متغیر توضیحی غیر تصادفی برای واحد مقطعی i در دورهٔ زمانی t ؛ و e_{it}، جمله تصادفی مدل است که جزء اختلال مدل است که فرض می‌شود دارای میانگین صفر و واریانس ثابت σ_e^2 باشد. شایان ذکر است که جهت تخمین مدل رگرسیون از روش حداقل مربعات معمولی روی داده‌های ادغامی نیز استفاده شده است.

نتایج تخمین مدل و تحلیل نتایج

قبل از برآورد مدل شماره (۱) لازم است متغیر جانشین پیشرفت فناوری معرفی شود؛ در این مطالعه از سه شاخص روند زمانی، نسبت هزینه‌های تحقیقات و آزمایشگاه به ارزش

[1]. برای اطلاع از چگونگی جمع آوری داده های آماری به پیوست ۱ مراجعه شود.

www.SID.ir

Archive of SID

افزوده و نسبت نیروی انسانی متخصص به کل شاغلان به عنوان متغیرهای جانشین فناوری استفاده شده است. براساس بررسی به عمل آمده مشخص شد که تنها نسبت مهندسین به شاغلان تولیدی، اثر مثبت و معنی‌داری بر بهره‌وری انرژی دارد. نتایج برآورد مدل شماره (۱)، نشان می‌دهد که ضرایب متغیرهای لگاریتم w, $(\frac{L}{E})$, $(\frac{K}{E})$ ، r و متغیر TP مثبت و از لحاظ آماری معنادار است؛ در حالیکه ضریب متغیر لگاریتم $(\frac{P_E}{P})$ مثبت؛ ولی در سطح ۵ یا ۱۰درصد معنادار نمی‌باشد. نتایج برآورد مدل پس از حذف متغیر قیمت نسبی انرژی در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳. نتایج برآورد نهایی مدل شماره۱بهره وری انرژی

متغیرهای مستقل	ضرایب	آمارهٔ t	$prob$
$\mathrm{Ln}(\frac{L}{E})$	۰/۲۵	۷/۱	۰/۰۰۰
$Ln(\frac{K}{E})$	۰/۷۵	۲۰/۳	۰/۰۰۰
$Ln(w)$	۰/۳۰	۱۵/۲	۰/۰۰۰
$Ln(r)$	۰/٦۸	٤۰/۹	۰/۰۰۰
TP	۰/۰۱	۲/٦	۰/۰۱
F-$Statistic$ F=۳۹۹٤۵/۵ $prob$=۰/۰۰۰	$Durbin$-$Watson$ = ۲/۲۵		$\overline{R}^2$ = ۰/۹۹۹

$\overline{R}^2$ که قدرت تشریح تعدیل شده مدل را نشان می‌دهد، برابر ۰/۹۹ است و نشان می‌دهد که ۹۹ درصد تغییرات در بهره‌وری انرژی (متغیر وابسته) توسط متغیرهای توضیحی ارائه شده در مدل تبیین شده است.مقدار آمارهٔ F نشان می‌دهد که معادلهٔ رگرسیون تخمین زده شده معنادار می‌باشد. همچنین برای رفع خود همبستگی مدل، از فرآیند اتورگرسیو مرتبه اول استفاده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

همانطورکه قبلاً گفته شد ضریب متغیر قیمت نسبی انرژی به لحاظ آماری معنادار نبوده و لذا از مدل حذف شده است. این نتیجه نشان می‌دهد قیمت نسبی انرژی در دوره مورد بررسی نتوانسته بر بهره‌وری انرژی، اثر معنی‌داری داشته باشد. بنابراین، فرضیه اول تحقیق مبنی بر اثر مثبت قیمت نسبی انرژی بر بهره‌وری انرژی تأیید نمی‌شود.

برای نشان دادن اثر پیشرفت تکنولوژی از نسبت مهندسان به کل شاغلان تولیدی استفاده شده است. افزایش این نسبت، نشان‌دهندهٔ پیشرفت تکنولوژی در صنعت است. تکنولوژی‌های پیشرفته‌تر که در بطن خود دانش فنی بالاتری را دارند، نیاز بیشتری به نیروی انسانی متخصص دارند. بنابراین، افزایش درصد نیروی انسانی متخصص بیانگر ارتقای سطح فناوری است. از دیدگاه دیگر، نیروی کار متخصص با تحقیق و پژوهش و نوآوری و ارائه طرحهای جدید می‌تواند به صرفه‌جویی در مصرف انرژی کمک کند. ضریب متغیر نسبت مهندسان به شاغلان تولیدی که در سطح اطمینان ۹۹ درصد معناردار است، نشان می‌دهد با فرض ثابت بودن سایر عوامل، با افزایش یک واحد درصد در این شاخص، بهره‌وری انرژی ۱ درصد افزایش می‌یابد. بنابراین، فرضیه سوم تحقیق مبنی بر آنکه پیشرفت تکنولوژی اثر مثبت بر بهره‌وری انرژی دارد، تأیید می‌شود.

ضریب متغیر $Ln(\frac{L}{E})$، طبق انتظار نظری از لحاظ آماری معنادار و مثبت است و نشان می‌دهد با فرض ثابت بودن سایر عوامل، با افزایش یک درصد در نسبت نیروی کار به مقدار انرژی مصرفی، بهره‌وری انرژی ۰/۲۵ درصد افزایش می‌یابد.

ضریب متغیر $Ln(\frac{K}{E})$ نیز طبق انتظار از لحاظ آماری معنادار و مثبت است و نشان می‌دهد با فرض ثابت بودن سایر عوامل، با افزایش یک درصد در نسبت سرمایه به مقدار انرژی مصرفی، بهره‌وری انرژی ۰/۷۵ درصد افزایش می‌یابد.بالاتر بودن ضریب نسبت سرمایه به مقدار انرژی مصرفی در مقایسه با ضریب نسبت نیروی کار به مقدار انرژی مصرفی، نشان می‌دهد که افزایش نسبت $\frac{K}{E}$ تأثیر بیشتر روی بهره‌وری انرژی دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

ضریب متغیر $Ln(w)$ به لحاظ آماری معنادار و مثبت است و نشان می‌دهد با فرض ثابت بودن سایر عوامل، با افزایش یک درصد در دستمزد واقعی، بهره‌وری انرژی ۰/۳ درصد افزایش می‌یابد.

ضریب متغیر $Ln(r)$ به لحاظ آماری معنادار و مثبت است و نشان می‌دهد که با فرض ثابت بودن سایر عوامل، با افزایش یک درصد در هزینه واقعی استفاده از سرمایه، بهره‌وری انرژی ۰/۶۸ درصد افزایش می‌یابد. همانطورکه ملاحظه می‌شود ضریب متغیر $Ln(r)$ از ضریب متغیر $Ln(w)$ بزرگتر است. بنابراین، تأثیرگذاری قیمت واقعی سرمایه بر بهره‌وری انرژی بیشتر است و افزایش دستمزد واقعی منجر به افزایش انگیزه نیروی کار ، ارتقای سطح سلامت و مهارت می‌شود که از یکسو افزایش تولید را در بر دارد و در نتیجه بهره‌وری انرژی افزایش می‌یابد و از سوی دیگر، افزایش بهره‌وری نیروی کار خواهدشد. همچنین افزایش هزینه واقعی سرمایه منجر به انگیزه بیشتر در کارفرما جهت استفاده مؤثر و مفید از ظرفیتهای تولید می‌شود که از یکسو منجر به افزایش تولید و در نتیجه افزایش بهره‌وری انرژی شده و از سوی دیگر؛ افزایش بهره‌وری سرمایه را به همراه خواهد داشت.

نتایج برآورد مرحله اول مدل شماره (۲) نشان می‌دهد که ضرایب متغیرهای جانشین پیشرفت تکنولوژی به لحاظ آماری معنادار نبوده و باید از مدل حذف شوند. ضرایب متغیرهای $Ln(\frac{K}{E})$, $Ln(\frac{L}{E})$ ، $Ln(w)$ و $Ln(r)$ به لحاظ آماری معنادار و مثبت است؛ درحالیکه ضرایب متغیرهای $Ln(PO),\ Ln(PG),\ Ln(PB)$ در سطح ۵ درصد معنادار نیست. با حذف این سه متغیر به فرم نهایی مدل شمارهٔ (۲) می‌رسیم و این، بدان معناست که قیمتهای نسبی انرژی چه به صورت کلی و چه به صورت تفکیکی، نتوانسته‌اند تأثیر معناداری بر بهره‌وری انرژی داشته باشند.

نتایج برآورد مرحله اول مدل شماره (۳) نشان می‌دهد ضرایب متغیرهای $Ln(\frac{P_E}{P})$ و G و متغیرهای جانشین فناوری به لحاظ آماری معنادار نیستند و باید از مدل حذف شوند. همچنین می‌توان به جای متغیر سهم گاز طبیعی، متغیر سهم فرآورده‌های نفتی (p) را به مدل نیز اضافه کرد که در آن صورت نیز ضریب متغیر (p) به لحاظ آماری معنادار نیست و

www.SID.ir

Archive of SID

در نتیجه از مدل حذف می‌شود. در بین سهم انرژی‌های مصرفی، تنها ضریب متغیر سهم برق مصرفی *(E)*، به لحاظ آماری معنادار و مثبت است و بدان معنا است که با افزایش یک واحد درصد در سهم برق مصرفی از کل مقدار انرژی مصرفی، بهره‌وری انرژی ۰/۳ درصد افزایش می‌یابد. بنابراین، فراهم آوردن بسترهای مناسب برای افزایش سهم برق از کل انرژی مصرفی می‌تواند به افزایش بهره‌وری انرژی کمک کند. نتایج نهایی این تخمین در جدول شمارهٔ (۴) ارائه شده است:

جدول ۴. نتایج برآورد نهایی مدل شماره۳ بهره‌وری انرژی

متغیرهای مستقل	ضرایب	آمار t	$Prob$
$Ln(\frac{L}{E})$	۰/۲۹	۱۱	۰/۰۰۰
$Ln(\frac{K}{E})$	۰/٦۸	۲۸/۸	۰/۰۰۰
$Ln(r)$	۰/٦۷	٤۱/٦	۰/۰۰۰
$Ln(w)$	۰/۳٤	۱۳/۸	۰/۰۰۰
E	۰/۰۰۳	۲/٥	۰/۰۱
F-Statistic= 23075	*Durbin- Watson = 1.67*		$\overline{R}^2$ =۰/۹۹

مقدار آماره $\overline{R}^2$ بیانگر آنست که ۹۹ درصد تغییرات متغیر وابسته توسط متغیرهای توضیحی در مدل تبیین شده‌اند. مقدار آماره F در مدل نیز بیانگر آنست که معادله رگرسیون به لحاظ آماری معنادار است. همچنین برای رفع خود همبستگی مدل از فرآیند اتورگرسیو مرتبه اول استفاده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، ضرایب متغیرهای $Ln(\frac{L}{E})$, $Ln(\frac{K}{E})$, $Ln(w)$, $Ln(r)$ و E به لحاظ آماری معنادار و مثبت است.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد بهره‌وری انرژی در سطح کل کارگاههای بزرگ صنعتی کشور طی دوره ۸۱-۱۳۷۰ بطور متوسط سالانه ۳/۶ درصد افزایش یافته است. بالاترین سطح بهره‌وری انرژی مربوط به صنایع ماشین آلات و تجهیزات و پایین‌ترین آن به صنایع کانی غیرفلزی اختصاص دارد. به استثنای صنایع چوب، بهره‌وری انرژی در سایر صنایع، روندی افزایشی داشته است و بالاترین نرخ رشد به صنایع نساجی، پوشاک و چرم تعلق داشته است. بنابراین، روند شاخص بهره‌وری انرژی نشان می‌دهد که حرکت مطلوبی در جهت استفاده بهینه از انرژی در کارگاههای بزرگ صنعتی کشور در حال تکوین و شکل‌گیری است (به استثنای صنایع چوب و محصولات آن). در بخش دیگری از این مطالعه، عوامل مؤثر بر بهره‌وری انرژی شناسایی و تحلیل گردید و نتایج زیر از آن حاصل شده است:

۱. نتایج برآوردها نشان می‌دهد قیمت نسبی انرژی نه به صورت کلی و نه بصورت تفکیکی (برحسب انواع حاملهای انرژی) اثر معنی‌داری بر بهره‌وری انرژی ندارد و بیانگر آن است که افزایش قیمت نسبی انرژی در شرایط فعلی نمی‌تواند به افزایش بهره‌وری انرژی کمک کند.

۲. مثبت و معنادار بودن ضرایب لگاریتم نسبتهای سرمایه به مقدار انرژی مصرفی $(\frac{K}{E})$ و نیروی کار به مقدار انرژی مصرفی $(\frac{L}{E})$، نشان می‌دهد که با افزایش نسبت سرمایه و نیروی کار به مقدار انرژی مصرفی در کارگاههای بزرگ صنعتی، بهره‌وری انرژی افزایش می‌یابد و همچنین بالاتر بودن ضریب نسبت سرمایه به مقدار انرژی مصرفی در مقایسه با ضریب نسبت نیروی کار به مقدار انرژی مصرفی نشان می‌دهد که افزایش نسبت $\frac{K}{E}$ تأثیر بیشتر روی بهره‌وری انرژی دارد.

۳. مثبت و معنادار بودن ضرایب لگاریتم دستمزد واقعی *(w)* و هزینه واقعی استفاده از سرمایه *(r)* نشان می‌دهد که با افزایش دستمزد واقعی و هزینه واقعی سرمایه، بهره‌وری انرژی افزایش می‌یابد. همچنین بالاتر بودن ضریب هزینه واقعی سرمایه در مقایسه با دستمزد واقعی نیروی کار، نشان‌دهندهٔ تأثیر بیشتر هزینه واقعی سرمایه بر روی بهره‌وری انرژی است.

www.SID.ir

Archive of SID

۴. نسبت مهندسان به کل شاغلان تولیدی به عنوان متغیر جانشین پیشرفت تکنولوژی اثر مثبت و معنی‌داری بر بهره‌وری انرژی دارد. بنابراین، ارتقای سطح فناوری می‌تواند به ارتقای بهره‌وری انرژی کمک کند.

۵. افزایش سهم برق مصرفی از کل انرژی مصرفی اثر مثبت و معنی‌داری بر بهره‌وری انرژی دارد و بیانگر آن است که انرژی برق در مقایسه با سایر انرژی‌ها، انرژی کارآتری محسوب می‌شود.

با توجه به نتایج تحقیق حاضر، پیشنهادات زیر در جهت ارتقای بهره‌وری انرژی توصیه می‌شود:

۱. دولت از صنایعی که به ازای هر واحد سرمایه، انرژی کمتری مصرف می‌کنند حمایت کند؛ حمایت دولت می‌تواند در قالب دادن یارانه به تولید اینگونه کالاها و یا اعطای یارانه سرمایه‌گذاری در این صنایع باشد. همچنین کاهش تعرفه برای واردات ماشین آلات و تجهیزات سرمایه‌ای کمتر انرژی‌بر می‌تواند در جهت کاهش انرژی مصرفی به ازای هر واحد سرمایه و به تبع آن افزایش بهره‌وری انرژی مؤثر واقع شود. افزون بر این، تشویق و حمایت دولت از کارفرمایان در جهت تعویض و نوسازی تجهیزات فرسوده و غیرکارآی مصرف‌کننده انرژی و بهبود تکنولوژی مورد استفاده آنها، می‌تواند منجر به کاهش مصرف انرژی به ازای هر واحد سرمایه شود که در نهایت افزایش بهره‌وری انرژی را در پی دارد.

۲. حمایت دولت از صنایعی که به ازای هر واحد نیروی کار، انرژی کمتری مصرف می‌کنند نیز می‌تواند به ارتقای بهره‌وری انرژی کمک کند. مانند مورد فوق این حمایتها می‌تواند در قالب سیاستهای اعطای یارانه به تولید اینگونه کالاها و یا اعطای یارانه سرمایه‌گذاری در اینگونه صنایع باشد.

۳. افزایش دستمزد واقعی می‌تواند سبب تلاش بیشتر و ایجاد انگیزه بیشتر نیروی کار در جهت نوآوری، خلاقیت و همچنین سرمایه‌گذاری در زمینه آموزش و سلامتی و بهداشت شود، که از یک طرف منجر به استفاده بهتر از امکانات سرمایه‌ای می‌شود و نتیجهٔ آن رشد تولید و افزایش بهره‌وری انرژی است و از منظر دیگر؛ منجر به افزایش بهره‌وری نیروی کار و سرمایه شده و باعث می‌شود که بهره‌وری کل عوامل نیز افزایش یابد.

www.SID.ir

Archive of SID

۴. با توجه به عدم تأثیرگذاری قیمتهای نسبی انرژی در دوره مورد بررسی، توصیه می‌شود به راهکارهای غیرقیمتی برای افزایش بهره‌وری توجه بیشتری شود. برخی از این نوع راهکارها عبارتند از: تغییرات فنی در ساختار تولید و افزایش آگاهی تولید کنندگان از طریق بهبود سیستم اطلاع‌رسانی، آموزشی و اجرایی در مورد راههای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و منافع حاصل از آن.

۵. به منظور فراهم شدن زمینه‌های ارتقای فناوری توصیه می‌شود دولت به استخدام نیروی کار متخصص در صنایع، یارانه دهد تا سهم نیروی انسانی متخصص در کل اشتغال افزایش یابد و بسترهای لازم برای تحقیق و پژوهش فراهم آورده شود.

توصیه می‌شود در مورد صنایعی که امکان جایگزینی برق در انرژی مصرفی آنها وجود دارد و در مورد تأمین برق نیز مشکلاتی ندارند؛ موانع موجود برای جایگزینی انرژی برق برطرف شود و از توسعه اینگونه صنایع نیز حمایت گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

پی‌نوشتها:

۱. امینی، علیرضا. ***اندازه‌گیری بهره‌وری و تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر آن در کارگاههای بزرگ صنعتی استان هرمزگان در مقایسه با کل کشور***. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان هرمزگان، (۱۳۷۹).

۲. امینی، علیرضا. «تحلیل عوامل مؤثر بر تقاضای نیروی کار در کارگاه‌های بزرگ صنعتی ایران». ***مجله برنامه و بودجه***، سال هفتم، شماره ۷۸، (۱۳۸۲).

۳. امینی، علیرضا. «اندازه‌گیری و تحلیل روند بهره‌وری به تفکیک بخش‌های اقتصادی ایران». ***مجله برنامه و بودجه***، سال دهم، شماره ۹۳، (۱۳۸۴).

۴. بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، حسابهای ملی ایران، اداره حسابهای اقتصادی.

۵. زمانی، مهدی. «بررسی ارتباط تغییرات مصرف انرژی و رشد بهره‌وری در بخش صنعت ایران». ***پایان‌نامه کارشناسی ارشد***، مؤسسه مطالعات انرژی، (۱۳۸۱).

۶. مرکز آمار ایران، نتایج آمارگیری از کارگاههای بزرگ صنعتی کشور در سالهای ۸۱-۱۳۷۰.

۷. وافی، داریوش. «تحلیل روند بهره‌وری انرژی در بخشهای مختلف اقتصادی طی سه دهه گذشته و محاسبه کشش نهاده‌ای و قیمتی انرژی در صنعت». همایش ملی انرژی ایران، شماره چهارم، (۱۳۸۲).

۸. وزارت نیرو، ترازنامه انرژی، (۱۳۸۴-۱۳۸۱).

۹. یوسفی، سیاوش. «بررسی مصرف و شدت انرژی در بخش صنعت با تأکید بر تعیین اثرات تغییرات ساختاری در بخش صنعت روی مصرف انرژی به روش Decomposition». پژوهشکده اقتصاد دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۸۱).

۱۰. یزدی‌پور، فرزانه. «بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری انرژی در کارگاههای بزرگ صنعتی ایران». ***پایان‌نامه کارشناسی ارشد***، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، دانشکده اقتصاد و حسابداری، (۱۳۸۴).

11. Adenikinju, Adeola F. Olumuyiawa, Alaba B. "Energy Use and Productivity Performance in the Nigerian Manufacturing Sector"., ***OPEC Review***, (September1999).

12. Gujarait, D. N. ***Basic Econometrics***. Chapter 16, Part Three, 2003.

13. Miketa, Asami. Mulder, Peter. "Energy-Productivity Convergence Across Developed and Developing Countries in 10 Manufacturing Sectors"., International Institute for Applied System Analysis Schlossplatz 1, A2361 Luxemburg, Austria, Interim Report, IR-03-068. (December 2003).

14. McKinsey & Company. "What is Energy Productivity?"., ***Research Topic: Energy Markets***,(2008).

15. Roy, Joyashree. et. all., "Productivity Trends in india′s Energy Intensive Industries"., ***Energy Journal***, Vol. 20, No. 3, (April 1999): 33-61.

16. Uhlin, Hans-Erik. "Energy Productivity of Technological Agriculture- Lessons From the Transition of Swedish Agriculture"., ***Agriculture, Ecosystems & Environment***, Vol.73, Issue 1, (22 March 1999): 63-81.

www.SID.ir

Archive of SID

17. World Energy Council. ***Energy Efficiency Policies and Indicators: A Study of Energy Efficiency Indicators for Industry in APEC Economies***. Published by: Asia Pacific Energy Research Centre, Institute of Energy Economics, Japan, Tokyo, March 2000.

www.SID.ir

Archive of SID

پیوست‌ها:

پیوست ۱. داده‌های آماری

داده‌های آماری مورد نیاز این مطالعه بطور عمده از مرکز آمار ایران و بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران جمع‌آوری شده است.آمارهای زیر از نتایج آمارگیری مرکز آمار ایران از کارگاههای بزرگ صنعتی کشور طی سالهای ۱۳۷۰-۱۳۸۱استخراج و یا محاسبه شده است:

۱. آمارهای ارزش افزوده کارگاههای بزرگ صنعتی(بر حسب کد دو رقمی *ISIC)* به قیمت جاری؛
۲. مقدار انرژی مصرفی برحسب انواع آن و ارزش آن به تفکیک کد دو رقمی *ISIC*؛
۳. تعداد شاغلان (مزد و حقوق بگیران) و جبران خدمات شاغلان به تفکیک کد دو رقمی *ISIC*؛
۴. کل شاغلان تولیدی برحسب سطح مهارت و فعالیت به تفکیک کد دو رقمی *ISIC*؛
۵. ارزش سرمایه گذاری ناخالص به تفکیک کد دو رقمی *ISIC*

آمارهای زیر نیز از نتایج حسابهای ملی بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران محاسبه شده است:

۱. شاخص تعدیل‌کنندهٔ سرمایه‌گذاری در بخش صنعت؛
۲. شاخص تعدیل‌کنندهٔ ارزش افزوده کارگاههای صنعتی؛

با استفاده از آمارهای فوق،محاسبات زیر در مورد متغیرهای مورد نیاز انجام شده است:

۱. ارزش افزوده به قیمت ثابت سال ۱۳۷۶ از تقسیم ارزش افزوده به قیمت جاری (به تفکیک کد دو رقمی *ISIC*) بر شاخص تعدیل کننده ارزش افزوده صنعت مربوطه بدست آمده است.

www.SID.ir

Archive of SID

۲. قیمت نسبی انرژی از تقسیم متوسط قیمت انرژی بر شاخص تعدیل‌کنندهٔ ارزش افزوده بخش صنعت بدست می‌آید. قیمت نسبی هر یک از حاملهای انرژی نیز از تقسیم متوسط قیمت آن حامل بر شاخص تعدیل‌کنندهٔ ارزش افزوده بخش صنعت بدست آمده است.

۳. هزینه‌های واقعی استفاده از نیروی کار در هر صنعت، از تقسیم جبران خدمات سرانه به قیمت جاری بر شاخص تعدیل‌کنندهٔ ارزش افزوده بدست آمده است.

۴. هزینهٔ واقعی اجاره سرمایه، از تقسیم پرداختی به صاحبان سرمایه بر ارزش موجودی سرمایه به قیمت ثابت ۱۳۷۶ بدست آمده است. برای محاسبه پرداختی به صاحبان سرمایه، ابتدا سهم جبران خدمات کارکنان از ارزش افزوده محاسبه و سپس سهم پرداختی به صاحبان سرمایه معادل یک منهای سهم نیروی کار از تولید در نظر گرفته می‌شود و سپس از ضرب آن، در ارزش افزوده می‌توان پرداختی به صاحبان سرمایه را بدست آورد.

۵. برای بدست آوردن موجودی سرمایه به قیمت ثابت، از فرمول $K_t = (1-p)K_{t-1} + I_t^g$ استفاده شده است که در آن K_t موجودی سرمایه؛ p نرخ استهلاک هر صنعت؛ K_{t-1} موجودی سرمایه سال قبل و I_t^g سرمایه‌گذاری ناخالص می‌باشد. در ضمن نرخهای استهلاک از مطالعه امینی(۱۳۷۹) و موجودی سرمایه سال پایه؛ یعنی سال ۱۳۵۰، از وزارت امور اقتصادی و دارایی (اداره کل آمار صنعتی ایران) اخذ شده است.

۶. نسبت نیروی کار متخصص به کل شاغلان تولیدی از تقسیم شاغلان با مدرک مهندسی به کل شاغلان تولیدی بدست می‌آید.

۷. سهم هر یک از حامل های انرژی مصرفی، از تقسیم مقدار مصرف هر یک از حاملهای انرژی به کل مقدار انرژی مصرفی بدست می‌آید.[۱]

[۱]. فرزانه یزدی‌پور، «بررسی عوامل مؤثر بر بهره‌وری انرژی در کارگاههای بزرگ صنعتی ایران»، ***پایان‌نامه کارشناسی ارشد***، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز، دانشکده اقتصاد و حسابداری، (۱۳۸٤).

www.SID.ir

Archive of SID

پیوست۲. اثبات برخی از روابط بهره وری انرژی

برای بدست آوردن رابطه بهره‌وری انرژی با قیمت نسبی انرژی، فرم عمومی یک تابع تولید از نوع کاب-داگلاس را با در نظر گرفتن سه عامل نیروی کار، سرمایه و انرژی در نظر می‌گیریم:

$$Y = AK^{\alpha}L^{\beta}E^{\gamma} \qquad (۱)$$

که در آن A پارامتر بهره‌وری و γ,α,β به ترتیب کششهای تولیدی کار، سرمایه و انرژی هستند، در حالتی که بازدهی ثابت نسبت به مقیاس وجود دارد:

$$\alpha + \beta + \gamma = 1$$

اگر طرفین رابطه ۱ را بر E تقسیم کنیم بهره‌وری جزئی عامل انرژی بدست می‌آید، بهره‌وری متوسط و نهایی انرژی برابر است با:

$$APE = \frac{Y}{E} = AK^{\alpha}L^{\beta}E^{\gamma-1} \qquad (۲)$$

$$MP_E = \frac{\partial Y}{\partial E} = A\gamma K^{\alpha}.L^{\beta}.E^{\gamma-1} \qquad (۳)$$

از رابطه (۲) و (۳) می‌توان رابطه زیر را بدست آورد:

$$AP_E = \frac{MP_E}{\gamma} = \frac{P_E / P}{\gamma} \qquad (۴)$$

www.SID.ir

Archive of SID

بنابراین، طبق رابطهٔ فوق، بهره‌وری انرژی با قیمت نسبی آن رابطه مستقیم دارد.به عبارت دیگر،افزایش قیمت نسبی(واقعی) انرژی می‌تواند سبب ایجاد انگیزه صرفه‌جویی در مصرف انرژی و استفاده بهینه از آن شود.

یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار بر بهره‌وری انرژی، دستمزد واقعی نیروی کار است. برای نشان دادن رابطه دستمزد واقعی با بهره‌وری انرژی، با در نظر گرفتن تابع تولید (۱) و فرض همگن خطی، بهره‌وری متوسط و نهایی نیروی کار برابر است با:

$$AP_L = \frac{Y}{L} = AK^{\alpha} L^{\beta-1} E^{\gamma} \qquad (۵)$$

$$MP_L = \frac{\partial Y}{\partial L} = A.\beta K^{\alpha}.L^{\beta-1.} E^{\gamma} \qquad (۶)$$

شایان ذکر است، در شرایط رقابت کامل به عامل کار به اندازهٔ ارزش تولید نهایی آن پرداخته می‌شود، یعنی:

$$P.MP_L = W \Rightarrow A\beta K^{\alpha}.L^{\beta-1.} E^{\gamma} = \frac{W}{P} \Rightarrow \beta.AP_L = \frac{W}{P} \Rightarrow AP_L = \frac{w}{\beta} \qquad (۷)$$

که در آن w یا $\frac{W}{P}$ دستمزد واقعی نیروی کار است. بنابراین طبق رابطه فوق، بهره‌وری نیروی کار با دستمزد واقعی ارتباط مستقیم دارد.

با مقایسه رابطه (۲) و (۵) می‌توان نوشت:

$$AP_L = AP_E.\frac{E}{L} \qquad (۸)$$

www.SID.ir

Archive of SID

با جایگزینی رابطه (۸) در رابطه (۷) خواهیم داشت:

$$AP_E.\frac{E}{L}=\frac{w}{\beta}\Rightarrow AP_E=\frac{L}{E}.\frac{w}{\beta} \qquad (۹)$$

بنابراین طبق رابطهٔ فوق، بهره‌وری انرژی با نسبت نیروی کار به مقدار انرژی مصرفی و دستمزد واقعی نیروی کار ارتباط مستقیم دارد.

همچنین، یکی دیگر از عوامل مؤثر بر بهره‌وری انرژی، هزینهٔ واقعی استفاده از سرمایه است. برای نشان دادن رابطهٔ هزینه واقعی استفاده از سرمایه و بهره‌وری انرژی، تابع تولید (۱) را با فرض همگن خطی در نظر می‌گیریم و بهره‌وری متوسط و نهایی سرمایه به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$AP_{\mathrm{k}}=\frac{Y}{K}=AK^{\alpha-1}L^{\beta}.E^{\gamma} \qquad (۱۰)$$

$$MP_k=\frac{\partial Y}{\partial K}=A\alpha K^{\alpha-1}L^{\beta}.E^{\gamma} \qquad (۱۱)$$

با فرض شرایط رقابت کامل، به هر واحد سرمایه به اندازه ارزش تولید نهایی آن پرداخت می‌شود، یعنی:

$$P.MP_K=R\Rightarrow A\alpha K^{\alpha-1}.L^{\beta}.E^{\gamma}=r\Rightarrow \alpha.AP_K=r\Rightarrow AP_K=\frac{r}{\alpha} \qquad (۱۲)$$

که در آن R هزینه اسمی و r هزینه واقعی اجاره سرمایه است. طبق رابطه فوق، هزینه واقعی استفاده از سرمایه با بهره‌وری سرمایه ارتباط مستقیم دارد.با مقایسه رابطه (۲) و (۱۰) می‌توان نوشت:

www.SID.ir

Archive of SID

$$AP_K = AP_E \cdot \frac{E}{K} \qquad (۱۳)$$

با جایگزینی رابطه(۱۳) در رابطه (۱۲) خواهیم داشت:

$$AP_E \cdot \frac{E}{K} = \frac{r}{\alpha} \Rightarrow AP_E = \frac{K}{E} \cdot \frac{r}{\alpha} \qquad (۱۴)$$

همانطور که ملاحظه می‌شود طبق رابطهٔ فوق، بهره‌وری انرژی با نسبت سرمایه به مقدار انرژی مصرفی و هزینه واقعی استفاده از سرمایه ارتباط مستقیم دارد.

در ادامهٔ بحث به چگونگی ارتباط بهره‌وری انرژی با بهره‌وری کل عوامل می‌پردازیم. همانطور که پیشتر مطرح شد یکی از مهمترین اثرات بهبود بهره‌وری، افزایش نرخ رشد تولید است که اگر همراه با رشد استفاده از نهاده‌ها بهره‌وری نیز افزایش یابد، رشد تولید بیشتر خواهد شد. با فرض اینکه تولید تابعی از نیروی کار، سرمایه فیزیکی و انرژی باشد؛ رابطه زیر براساس روش مانده سولو نقش رشد بهره‌وری کل عوامل را در افزایش رشد تولید نشان می‌دهد.[۱]

$$\hat{Y} = \eta_L . \hat{L} + \eta_K . \hat{K} + \eta_E . \hat{E} + T\hat{F}P \qquad (۱۵)$$

که در آن $T\hat{F}P, \hat{E}, \hat{K}, \hat{L}, \hat{Y}$ به ترتیب معرف نرخهای رشد تولید، اشتغال، سرمایه، انرژی و بهره‌وری کل عوامل و پارامترهای η_E, η_K, η_L به ترتیب کشهای تولیدی کار و سرمایه و انرژی هستند. با در نظر گرفتن تابع تولید (۱) و فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس خواهیم داشت:

[۱]. علیرضا امینی، «اندازه‌گیری و تحلیل روند بهره‌وری به تفکیک بخشهای اقتصادی ایران»، مجله برنامه و بودجه، شماره ۹۳، (۱۳۸٤).

www.SID.ir

Archive of SID

$$\hat{TFP} = \hat{Y} - \alpha\hat{K} - \beta\hat{L} - (1-\alpha-\beta)\hat{E} \qquad (۱۶)$$

می‌توان بصورت زیر نشان داد که نرخ رشد بهره‌وری کل عوامل با میانگین موزون نرخهای رشد بهره‌وری سرمایه، نیروی کار و انرژی برابر است:

$$\begin{aligned} \hat{TFP} &= \alpha.\hat{AP}_{\mathrm{K}} + \beta.\hat{AP}_{\mathrm{L}} + (1-\alpha-\beta)\hat{AP}_{E} \qquad (۱۷) \\ &= \alpha(\hat{\mathrm{Y}} - \hat{\mathrm{K}}) + \beta(\hat{\mathrm{Y}} - \hat{L}) + (1-\alpha-\beta)(\hat{\mathrm{Y}} - \hat{\mathrm{E}}) \\ &= \alpha\hat{\mathrm{Y}} - \alpha\hat{\mathrm{K}} + \beta\hat{\mathrm{Y}} - \beta\hat{L} + \hat{\mathrm{Y}} - \hat{\mathrm{E}} - \alpha\hat{\mathrm{Y}} + \alpha\hat{\mathrm{E}} - \beta\hat{\mathrm{Y}} + \beta\hat{\mathrm{E}} \\ \hat{TFP} &= \hat{\mathrm{Y}} - \alpha\hat{\mathrm{K}} - \beta\hat{L} - (1-\alpha-\beta)\hat{\mathrm{E}} \end{aligned}$$

که رابطهٔ فوق همان رابطه (۱۶) است. بنابراین، رابطه (۱۶) و (۱۷) معادل یکدیگر هستند.

www.SID.ir