

ارزیابی پارامتریک کارایی مصرف برق و تجزیه شدت مصرف برق در بخش صنعت ایران

علی نوروزی*^۱، محمدنبی شهیکی تاش^۲

۱. کارشناس ارشد اقتصاد دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲. دانشیار گروه اقتصاد دانشگاه سیستان و بلوچستان

دریافت ۹۴/۸/۱۵ پذیرش ۹۴/۱۲/۲۵

The Parametric Assessment of the Efficiency of Electricity Consumption and Decomposition of Electricity Consumption Intensity in Iranian Industrial Sector

Ali Norouzi*¹, Mohammad NabiShahiki Tash²

1. M.A. of Economics, University of Sistan and Baluchestan

2. Associate Professor of Economics, University of Sistan and Baluchestan

Received: 24/ November /2015

Accepted: 15/March/2016

Abstract

The objective of this research is to decompose electricity intensity based on the parametric approach (translog cost function) as well as to evaluate the relationship between technology change and electricity intensity in the manufacturing industries during 2005-2012. The results of calculation of electricity intensity imply that 18 industries have electricity intensity values of less than or equal to the average value of industrial sector (0.40 percent) and its range is from 0.33 to 0.40 percent. In this group, "manufacture of motor vehicles" with relative production share of 33.81% and "manufacture of basic metal" with a relative share of electricity consumption of 46.09%, have the highest share of electricity production and electricity consumption, respectively. Investigation of annual trend of technology changes and electricity intensity changes of whole industry implies that both indices have had an increasing trend during the studied period and regarding the positive and large substitution effect, the technology progress (technology effect) is not considered as an important factor in determination of electricity intensity. Decomposition of electricity intensity confirms that the technology and budget effects lead to increase the efficiency of electricity consumption and the substitution and production effects lead to decline the efficiency of the consumed electricity input of the industry.

Key Words: Electricity Intensity, Technology, Industry.

JEL: Q4, O3, L6.

چکیده

هدف از این پژوهش تجزیه شدت مصرف برق براساس رهیافت پارامتریک (تابع هزینه ترانسلوگ) و بررسی ارتباط تغییر فناوری و شدت مصرف برق در صنایع کارخانه‌ای در سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۱ است. نتایج محاسبه شدت مصرف برق حاکی از آن است که ۱۸ صنعت دارای مقادیر شدت مصرف برق کمتر و برابر با مقدار متوسط بخش صنعت (۰/۴۰ درصد) بوده و شدت مصرف برق مرتبط با این صنایع در دامنه ۰/۳۳ تا ۰/۴۰ درصد قرار دارد. در این گروه، "صنعت تولید وسایل نقلیه و موتوری" با سهم تولید نسبی ۳۳/۸۱ درصد و "صنعت تولید فلزات اساسی" با سهم نسبی مصرف برق ۴۶/۰۹ درصد، به ترتیب بیشترین سهم تولید و مصرف برق صنعت را در اختیار دارند. بررسی روند سالانه تغییرات فناوری و تغییرات شدت مصرف برق کل صنعت، حاکی از آن است که هر دو شاخص در طول دوره روندی افزایشی داشته و با توجه به اثر مثبت و بزرگ جانشینی، رشد فناوری (اثر فناوری) فاکتوری مهم در تعیین شدت مصرف برق به شمار نمی‌رود. تجزیه شدت مصرف برق، موید آن است که اثر فناوری و بودجه‌ای موجب افزایش کارایی مصرف برق و اثر جانشینی و تولیدی سبب کاهش کارایی نهاده مصرفی صنعت می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: شدت مصرف برق، فناوری، صنعت.

طبقه‌بندی JEL: Q4, O3, L6.

۱. مقدمه

به منظور بررسی و تحلیل کارایی مصرف انرژی و به‌طور مشخص نهاده برق، از شاخص‌های متعددی می‌توان استفاده کرد. بهره‌وری به‌کارگیری نهاده برق و شدت برق از جمله شاخص‌های معتبر در بررسی کارایی مصرف انرژی است. در ادبیات اقتصادی در حوزه انرژی، میزان مصرف نهاده برق به ازای هر واحد از تولید کالاها و خدمات را شدت مصرف برق و یا به‌طور خلاصه شدت برق می‌نامند. بر این اساس با توجه به شاخص شدت انرژی، تغییرات در شدت برق را می‌توان از دو منظر سطح تولید و میزان مصرف حامل انرژی برق، بررسی و تحلیل کرد. حجم و مقدار به‌کارگیری هر نهاده در پروسه تولید، بستگی به قیمت نهاده موردنظر، مقدار و قیمت دیگر نهاده‌ها، فناوری تولید کارخانه و سطح تولید دارد. آنچه که بر مقدار مصرف حامل‌های انرژی و در نهایت شدت حامل‌های انرژی مؤثر است را می‌توان به عواملی همچون فناوری تولید، قیمت و سطح مصرف نهاده‌های تولید و سطح تولید تفکیک کرد.

نهاده انرژی و به‌طور مشخص حامل انرژی برق، به منظور راه‌اندازی ابزارآلات و تجهیزات کارخانه‌ای به‌کار می‌رود و به‌همین دلیل، مقدار مصرف حامل انرژی برق به سطح فناوری تجهیزات و نوع تجهیزات به‌کار رفته بستگی دارد. بر این اساس، تجهیزات انرژی‌بری که نیازمند به مصرف برق بالایی هستند، به‌همان میزان شدت برق و میزان مصرف برق نسبت به سطح تولید افزایش پیدا می‌کند و کارایی برق کاهش می‌یابد. میزان مصرف نهاده برق در هر یک از صنایع کارخانه‌ای، بسته به ساختار کارخانه، تجهیزات صنعتی و نوع فناوری تولیدی که در فرایند تولید به‌کار گرفته شده، متفاوت بوده و دارای سهم متفاوتی از برق مصرفی کل صنعت است. به‌عبارتی، آنچه در مبحث کارایی حامل انرژی برق اهمیت دارد، نوع ساختار و فناوری تولید است.

بهبود کارایی در مصرف برق (تقاضای بخش صنعتی برق) و کاهش شدت برق مصرفی صنایع، با تحلیل و بررسی تک‌تک اجزای شدت برق باکیفیت و دقت بالاتری صورت می‌گیرد و شناخت اثرات متغیرهایی همچون فناوری تولید، مقیاس و سطح تولید بر شدت انرژی، موجب تسریع در رسیدن به هدف بهبود کارایی انرژی شده و به نوعی راهنمای مؤثری

برای مدیران اجرایی صنایع در برنامه‌ریزی‌های میان‌مدت و بلندمدت ارتقای کارایی انرژی به شمار می‌رود. در حقیقت، بررسی شدت مصرف حامل‌های انرژی و درنهایت ارزیابی کارایی در مصرف نهاده انرژی، این امکان را فراهم می‌کند که در اقتصاد وابسته به نفت و فراورده‌های نفتی، که منابع انرژی به وفور یافت می‌شود، نسبت مصرف حامل‌های انرژی به سطح تولیدات صنعتی را تحلیل کرد. لازم به ذکر است با وجود یارانه‌ای که دولت به مصرف نهاده انرژی در کلیه بخش‌های اقتصاد ایران و به‌طور مشخص بخش صنعت (حمایت از تولیدات صنعتی و کاهش هزینه واحد تولید به‌منظور افزایش قدرت رقابتی) اختصاص می‌دهد، قیمت نهاده انرژی در مقایسه با سایر نهاده‌ها از جمله مواد اولیه، بسیار پایین بوده و این مسئله موجب وابستگی ساختاری بسیاری از صنایع به مصرف نهاده انرژی می‌شود. لذا انتظار بر آن است که مصرف انرژی در سطح بالایی قرار داشته و مهم‌تر از آن، روند تغییرات فناوری و ساختار به‌کارگیری تجهیزات جدید صنعتی، انرژی‌بر باشند.

سؤال اصلی تحقیق این است که با توجه به افزایش روزافزون فناوری تجهیزات و بهره‌گیری از تکنیک‌های پیشرفته بهره‌برداری از نهاده‌های تولید و همچنین تحقیق و توسعه، تغییرات فناوری تا چه میزان بر شدت (کارایی) مصرف برق صنایع کارخانه‌ای ایران مؤثر است. به مفهوم دیگر، در اقتصاد ایران که منابع انرژی به وفور یافت می‌شوند، آیا فناوری به‌عنوان فاکتوری مهم در تعیین روند نسبت مصرف برق به تولید (شدت مصرف برق) صنایع کارخانه‌ای به‌شمار می‌رود یا خیر؟

ساختار کلی این تحقیق بدین صورت است که پس از بخش نخست و مقدمه، در بخش دوم، پیشینه تحقیق در زمینه بررسی شاخص شدت انرژی و حامل‌های انرژی ارائه می‌شود. در بخش سوم، روش تحقیق و به‌طور مشخص نحوه محاسبه شاخص‌های شدت برق، تغییرات فناوری و تورش فناوری تشریح می‌شود. در بخش چهارم، نتایج تخمین پارامترها و محاسبه انواع شاخص‌های شدت برق، تغییرات فناوری و همچنین تجزیه شدت برق به چهار اثر بودجه‌ای، جانشینی، تولیدی و فناوری، ذکر شده و ارتباط میان رشد فناوری و شاخص شدت برق مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. در بخش انتهایی نیز جمع‌بندی نتایج تحقیق بیان می‌شود.

۲. پیشینه تحقیق

از میان پژوهش‌های داخلی صورت گرفته در بحث شدت انرژی (حامل‌های انرژی) و محاسبه این شاخص با رویکرد پارامتریک و تابع هزینه ترانسلوگ، تنها یک پژوهش توسط شهیکی و نوروزی (۱۳۹۳) انجام شده که شدت گاز طبیعی در صنایع با سهم مصرف بالای انرژی (صنایع انرژی‌بر) را بررسی کرده است. بر این اساس، تاکنون مطالعه‌ای در خصوص بررسی شدت (کارایی) حامل انرژی برق بخش صنعت انجام نشده است. از دیگر مشخصه‌های تحقیق حاضر، بررسی شدت برق و تجزیه شدت برق براساس رویکرد پارامتریک و تابع هزینه است که تحقیقی در این زمینه انجام نشده است.

۲-۱. مطالعات داخلی

گلی و اشرفی (۱۳۸۹) مقادیر شدت انرژی و تجزیه شاخص شدت انرژی در چهار بخش صنعت، کشاورزی، حمل‌ونقل و خدمات محاسبه کرده و بدین منظور از شاخص ایده‌آل فیشر بهره گرفته‌اند. براساس نتایج تحقیق مذکور، بخش کشاورزی کمترین میزان شدت انرژی و بخش حمل‌ونقل با اختلاف بسیار زیادی نسبت به سایر بخش‌ها، بالاترین مقدار شدت انرژی را دارا هستند. همچنین در بخش صنعت، شدت انرژی همواره در دامنه مقادیر ۱ تا ۲ بوده است.

صادقی و سجودی (۱۳۹۰) رابطه شدت انرژی با فاکتورهای مختلف در بخش صنعت را بررسی و شاخص شدت انرژی را بر متغیرهایی همچون اندازه بنگاه، شدت سرمایه فیزیکی، مخارج تحقیق و توسعه، نوع مالکیت بنگاه، دستمزد، رگرس کرده‌اند. براساس نتایج تحقیق آنان، متغیرهای شدت سرمایه فیزیکی و دستمزد، رابطه مثبتی با شدت انرژی دارند. درمیان متغیرهایی که اثر منفی بر شدت انرژی دارند، متغیر تحقیق و توسعه بزرگ‌ترین ضریب منفی را با مقدار ضریب ۰/۴۳- داراست.

جهانگرد و تجلی (۱۳۹۰) با بهره‌گیری از شاخص لاسپیرز^۱ و شاخص میانگین حسابی دیویژیا^۲ شدت انرژی بری صنایع کارخانه‌ای ایران در سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۷۴ را تحلیل کرده‌اند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که در کل صنعت، اثر

شدتی در مقایسه با اثر ساختاری سهم بالاتری را در مقادیر شدت انرژی دارا بوده و عواملی همانند تغییر فناوری تولید، اصلاح قیمت‌های انرژی، جانشینی حامل‌های انرژی و تغییر کارایی انرژی نقش مؤثری در تعیین شدت انرژی دارند.

شهیکی و نوروزی (۱۳۹۳) به تحلیل پارامتریک ساختار انرژی و سنجش عوامل مؤثر بر شدت کوتاه‌مدت و بلندمدت گاز طبیعی صنایع انرژی‌بر ایران پرداخته‌اند. یافته‌ها حاکی از آن است که شدت مصرف گاز طبیعی در دوره کوتاه‌مدت و بلندمدت به ترتیب برابر با ۰/۱۴۹۳ و ۰/۱۱۴۴ درصد است و صنایع انرژی‌بر در مصرف گاز طبیعی تقریباً کارا عمل نموده‌اند. ارزیابی روند شدت گاز طبیعی، نشان‌دهنده کاهش شدت گاز طبیعی در کوتاه‌مدت و بلندمدت است.

فرج‌زاده (۱۳۹۴) به تجزیه شدت انرژی اقتصاد ایران به دو بخش تغییر کارایی و تغییر ساختاری پرداخته است. براساس تحقیق وی، تجزیه شدت انرژی نشان می‌دهد که افزایش شدت انرژی ناشی از تغییر کارایی است و متغیرهایی مانند: تولید ناخالص ملی، سرمایه سرانه نیروی کار و شهرنشینی نیز از متغیرهای اثرگذار بر شدت انرژی هستند.

فریدزاد (۱۳۹۴)، تجزیه شدت انرژی در صنایع انرژی‌بر ایران با استفاده از روش شاخص لگاریتم میانگین دیویژیا، در قالب آثار تولیدی ساختاری و شدت انرژی را تحلیل کرده است. با توجه به نتایج تحقیق وی، در صنایع انرژی‌بر، شدت انرژی روبه افزایش بوده و تجزیه شدت انرژی دلالت بر آن دارد و اثر شدت انرژی و اثر تولیدی بیشترین سهم را در تفسیر شاخص شدت انرژی دارند.

۲-۲. مطالعات خارجی

ما و همکاران^۳ (۲۰۰۸)، ساختار هزینه صنایع کشور چین را تحلیل کرده و با کمک تابع هزینه ترانسلوگ شدت انرژی و به‌طور مشخص کشش درون نهاده‌ای انرژی در دوره ۲۰۰۴-۱۹۹۵ را بررسی کرده‌اند. تغییرات شدت انرژی در دوره مذکور، مقداری مثبت و برابر با ۷/۲۷ درصد به‌دست آمده است. از میان ۴ جزء اصلی اثرگذار بر شدت انرژی، فناوری تولید بیشترین اثر را بر شدت انرژی دارد و اثرات جانشینی، تولیدی و فناوری به‌ترتیب (به‌طور متوسط) موجب رشد ۰/۴۳،

1. Laspeyres Index

2. Divisia

3. Ma et al.

توابع هزینه است که قابلیت بررسی و محاسبه شاخص‌های مدنظر را دارا باشند. برای بررسی عوامل مؤثر بر شاخص تغییرات فناوری، نیاز به بررسی ارتباط شاخص فناوری با سطح تولید، قیمت نهاده‌ها و خود فناوری است. از سوی دیگر، جهت تجزیه شدت برق صنایع و تحلیل کلیه اجزای شدت برق، لازم است تا ارتباط مصرف نهاده برق با سطح تولید، فناوری تولید، قیمت نهاده‌ها و در آخر قیمت برق بررسی شود.

در میان انواع توابع انعطاف‌پذیر، ساختار و فرم تابع هزینه ترانسلوگ به‌گونه‌ای است که روابط متقابل فناوری با سطح تولید و نهاده‌ها (جهت محاسبه تغییرات فناوری)، روابط متقابل نهاده برق با سطح تولید و دیگر نهاده‌ها (جهت محاسبه تغییرات شدت برق) را در خود گنجانده است. بدین ترتیب مناسب‌ترین فرم تابع، که هم‌جهت با هدف تحقیق باشد، تابع هزینه ترانسلوگ است (کریستنسن، جورجنسان و لاثو^۵، ۱۹۷۳).

فرم کلی تابع هزینه صنایع به صورت زیر است:

$$TC = f(Q, P_L, P_K, P_M, P_E, P_O, T) \quad (1)$$

در رابطه (۱) هزینه تولید به ترتیب تابعی از سطح تولید (Q)، قیمت نیروی کار (P_L)، قیمت سرمایه (P_K)، قیمت مواد اولیه (P_M)، قیمت برق (P_E)، قیمت سایر اجزای انرژی (P_O) و فناوری تولید (T) است. با در نظر گرفتن هدف اصلی پژوهش مبنی بر بررسی شدت برق صنایع، نهاده انرژی به ۲ گروه، نهاده برق و سایر اجزای انرژی تفکیک شده است.

برنت و خالد^۶ (۱۹۷۹) با به‌کارگیری یک تابع هزینه باکس-کاکس^۷ نشان دادند که تابع ترانسلوگ در حقیقت حالت خاصی از تابع باکس-کاکس است. "فرم کلی تابع هزینه باکس-کاکس به شرح زیر است:

$$C = [1 + \gamma G(p)] \frac{1}{\gamma} \left[\prod_{k=1}^K Q_k^{\beta_k(Q,P)} \right] \quad (2)$$

$$a) G(P) = \alpha_0 + \sum_{k=1}^K \alpha_k P_k(\gamma) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \delta_{ij} P_i(\gamma) P_j(\gamma) \quad (3)$$

۲/۵۱ و ۲۳/۶۸ درصدی شده و اثر بودجه‌ای سبب کاهش ۱۹/۱۳ درصدی شدت انرژی شده است.

ما و همکاران^۱ (۲۰۰۹) در پژوهش خود از رهیافت تابع هزینه ترانسلوگ بهره گرفته و عوامل مؤثر بر شدت انرژی را در دوره ۲۰۰۴-۱۹۹۵ بررسی کرده‌اند. نتایج تحقیق بیانگر افزایش ۶/۹ درصدی شدت انرژی در کشور چین بوده و اثر بودجه‌ای و فناوری، بزرگ‌ترین اثرات را بر روی شدت انرژی داشته‌اند. اثر بودجه‌ای موجب کاهش شدت انرژی به‌میزان ۱۰/۱ درصد و تغییرات فناوری تولید به‌طور متوسط، افزایش ۱۹/۶ درصدی شدت انرژی را به دنبال داشته است.

ژا و همکاران^۲ (۲۰۱۲) شدت انرژی در صنعت برق کشور چین را در دوره ۲۰۰۷-۱۹۸۵ بررسی کردند. آن‌ها با بهره‌گیری از تابع هزینه ترانسلوگ تجمعی^۳ و تجزیه شدت انرژی به سه اثر: بودجه‌ای، جانشینی و فناوری شدت انرژی را مطالعه کرده‌اند. براساس نتایج تحقیق آنان، اثر بودجه‌ای تاثیر مثبت و اثر فناوری همواره اثری منفی و کاهش‌ی بر شدت انرژی داشته‌اند.

اوکاجیما^۴ و اوکاجیما^۴ (۲۰۱۳) به تجزیه شاخص شدت انرژی در کشور ژاپن پرداخته‌اند و از راهکار شاخص ایده‌آل فیشر برای تجزیه شدت انرژی در دوره ۲۰۰۴-۱۹۷۰ بهره برده‌اند. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که شدت انرژی، اثر ساختاری و اثر شدتی از سال ۱۹۹۰-۱۹۷۰ کاهش پیدا کرده و کاهش دو متغیر شدت انرژی و اثر شدتی با آهنگ بالاتری نسبت به اثر ساختاری صورت گرفته است. در سال‌های ۲۰۰۴-۱۹۹۰، روند اثر شدتی و شدت انرژی رو به افزایش بوده و با وجود روند نزولی اثر ساختاری، مقدار شدت انرژی، کمی افزایش یافته است.

۳. روش تحقیق

۳-۱. تابع هزینه ترانسلوگ

هدف از این پژوهش، بررسی فناوری تولید و تجزیه شاخص شدت برق براساس رهیافت پارامتریک و راهکار تابع هزینه است و با توجه به اهداف تحقیق، نیاز به بهره‌گیری نوعی از

5. Christensen, Jorgenson and Lau

6. Berndt and Khaled

7. Box-Cox Cost Function

1. Ma et al.

2. Zha et al

3. Translog Aggregate Cost Function

4. Okajima

نسبت به γ ، زمانی که به سمت صفر میل می‌کند تابع هزینه ترانسلوگ به‌دست خواهد آمد:

$$\begin{aligned} \text{Ln}C = & \alpha_0 + \alpha_q \text{Ln}Q + \frac{1}{2} \alpha_{qq} (\text{Ln}Q)^2 \\ & + \sum_{i=1}^n \alpha_i \text{Ln}P_i \\ & + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \beta_{ij} \text{Ln}P_i \text{Ln}P_j \\ & + \sum_{i=1}^n \beta_{iq} \text{Ln}P_i \text{Ln}Q + u \end{aligned} \quad (12)$$

از راهکار سیستم معادلات به‌منظور تخمین پارامترهای تابع هزینه ترانسلوگ استفاده می‌شود (دستی و همکاران، ۱۳۸۸). سیستم معادلات شامل تابع هزینه ترانسلوگ و ۵ تابع سهم تقاضای عوامل تولید نیروی کار، سرمایه، مواد اولیه، برق و سایر اجزای انرژی بوده و به شرح زیر است:

$$\begin{aligned} \text{Ln}C = & \alpha_0 + \alpha_q \text{Ln}Q + \frac{1}{2} \alpha_{qq} (\text{Ln}Q)^2 \\ & + \sum_{i=1}^5 \alpha_i \text{Ln}P_i \\ & + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 \beta_{ij} \text{Ln}P_i \text{Ln}P_j \\ & + \sum_{i=1}^5 \beta_{iq} \text{Ln}P_i \text{Ln}Q \\ & + \gamma_t T + \frac{1}{2} \gamma_{tt} T^2 \\ & + \sum_{i=1}^5 \gamma_{it} \text{Ln}P_i T \\ & + \gamma_{qt} \text{Ln}Q T + u \end{aligned} \quad (13)$$

توابع سهم هزینه از تابع ترانسلوگ استخراج می‌شود. با توجه به لم شفارد، از تابع ترانسلوگ نسبت به قیمت نهاده‌ها مشتق گرفته می‌شود (شفرد^۱، ۱۹۷۰: ۱۵۶-۳۲). فرم کلی توابع سهم هزینه نهاده به صورت زیر است (یاوری و دشتی، ۱۳۸۸: ۹).

$$\begin{aligned} S_i = & \frac{\partial \text{Ln}TC}{\partial \text{Ln}P_i} = \frac{\partial TC}{\partial P_i} \cdot \frac{P_i}{TC} = \frac{P_i X_i}{TC} \\ S_i = & \alpha_i + \sum_{j=1}^5 \beta_{ij} \text{Ln}P_j + \beta_{iq} \text{Ln}Q + \gamma_{it} T \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \text{b) } \beta_K(Q, P) = & \beta_K + \sum_{i=1}^K \frac{\theta_{ki}}{2} \text{Ln}Q_i \\ & + \sum_{i=1}^N \phi_{ki} \text{Ln}P_i \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{c) } P_i(\gamma) = \frac{(P_i^{\frac{\gamma}{2}} - 1)}{(\frac{\gamma}{2})} \quad (5)$$

در روابط فوق، N تعداد نهاده، K تعداد محصول، P بردار قیمت نهاده‌ها و Q بردار مقادیر محصول است.

شرط تقارن برای تابع هزینه تعمیم‌یافته باکس-کاکس به صورت زیر خواهد بود:

$$\delta_{ij} = \delta_{ji} \quad , \quad \theta_{IK} = \theta_{KI} \quad (6)$$

زمانی تابع، همگن از درجه یک در قیمت نهاده‌ها خواهد بود که شروط زیر برقرار باشد:

$$\text{(a) } \alpha_i = 1 + \gamma \alpha_0 \quad (7)$$

$$\text{(b) } \sum_{j=1}^N \delta_{ij} = \frac{\gamma}{2} \alpha_i \quad (8)$$

$$\text{(c) } \sum_{i=1}^N \phi_{Ki} = 0 \quad (9)$$

با اعمال شرط همگنی بر تابع هزینه تعمیم یافته باکس-کاکس، رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$C = \left[\frac{2}{\gamma} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \delta_{ij} P_i^{\frac{\gamma}{2}} P_j^{\frac{\gamma}{2}} \right]^{\frac{1}{\gamma}} \quad (10)$$

برای به‌دست آوردن تابع هزینه ترانسلوگ، محدودیت زیر بر رابطه نهایی تابع باکس-کاکس (رابطه فوق) اعمال می‌شود:

$$G(P) = \frac{\left[\frac{C}{\sum_K Q_K^{\beta_K(Q,P)}} \right]^{\gamma}}{\gamma} - 1 \quad (11)$$

با مشتق‌گیری از رابطه نهایی تابع هزینه باکس-کاکس

اجزای اثرگذار بر شدت برق صنایع، به چهار بخش، اثر بودجه‌ای، اثر جانشینی، اثر تولیدی و اثر فناوری قابل تفکیک است.

اثر بودجه‌ای (e_E): تغییرات شدت برق را با توجه به تغییر در قیمت برق با فرض ثبات در مقدار سهم نهاده برق از کل هزینه تولید بنگاه (صنعت) محاسبه می‌کند. به عبارتی، چنانچه فرض ثبات بودجه برق یا سهم هزینه نهاده برق برقرار باشد، تغییر قیمت برق، چه اثری بر روی شدت برق یا نسبت مقدار مصرف برق به سطح تولید دارد؟

اثر جانشینی ($e_{EE} + e_{EL} + e_{EK} + e_{EM} + e_{EO}$): مجموع مقادیر اثرات تغییر قیمت عوامل با فرض تغییر در سهم هزینه نهاده برق (بودجه برق از کل هزینه تولید) بر مقادیر شدت برق، برابر با اثرات جانشینی است.

اثر تولیدی (e_{EQ}): اگر مقدار سطح تولید و مقیاس تولید بنگاه تغییر کند، مقادیر به‌کارگیری از نهاده‌های تولید و به‌طور مشخص مقدار به‌کارگیری از نهاده برق، تغییر می‌کند. عبارت e_{EQ} در رابطه شدت برق، اثر تغییر مقدار تولید بر مقدار شدت برق صنایع را محاسبه می‌کند.

اثر فناوری (e_{ET}): چنانچه مقادیر فناوری تولید در تابع هزینه تولید خنثی نباشد و تغییرات فناوری موجب تورش نهاده‌های تولید شود، تغییرات شدت برق ناشی از فناوری تولید، با فاکتور e_{ET} اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به اثر فناوری، تورش مقدار برق، موجب تغییر در مقدار برق و به‌دنبال آن، تغییر شدت برق می‌شود.

برای محاسبه برآیند (مجموع) تغییرات شدت برق ناشی از مجموعه عوامل مؤثر بر این شاخص در طی زمان، از رابطه زیر استفاده می‌شود (ولش و اوکسن^۳، ۲۰۰۵: ۲۷):

$$\frac{\Delta e}{e} = \sum_{i=1}^8 \frac{\Delta e_i}{e_i} \cdot \frac{e_i}{e} \quad (18)$$

$i = E, EE, EL, EK, EM, EO, EQ, ET$

۳-۳. تغییرات فناوری

عوامل مؤثر بر تغییرات فناوری، در نهایت بر روند تغییرات هزینه تولید در طی زمان، اثرگذار هستند. به عبارت دیگر، اگر تغییرات فناوری مثبت باشد، هزینه تولید صنعت کاهش می‌یابد و اگر تغییرات فناوری صنعت، منفی محاسبه و صنعت

در رابطه فوق، S_i سهم هزینه نهاده از هزینه کل، P_i قیمت نهاده و X_i مقدار نهاده است.

برای تامین شرط تابع هزینه نرمال و خوش‌رفتار، دو شرط تقارن و همگنی از درجه یک در قیمت نهاده‌ها، بر تابع هزینه اعمال می‌شود. شرط تقارن و همگنی به شرح زیر است (کریستنسن و گرین^۱، ۱۹۷۶: ۸۴):

$$\sum_{i=1}^5 \alpha_i = 1, \sum_{i=1}^5 \beta_{iQ} = 0, \sum_{i=1}^5 \gamma_{iT} = 0 \quad (15)$$

$$\sum_{j=1}^5 \beta_{ij} = 0 \quad i, j = L, K, M, E, O$$

$$\beta_{ij} = \beta_{ji} \quad i, j = L, K, M, E, O \quad (16)$$

۳-۲. شدت برق

با تقسیم رابطه سهم هزینه نهاده برق بر سطح تولید بنگاه (صنعت) می‌توان شدت برق را محاسبه کرد. رابطه شدت برق به شرح زیر است (ما و همکاران^۲، ۲۰۰۹: ۳۷):

$$e = \frac{E}{Q} = \left(\frac{P_Q}{P_E} \right) S_E$$

$$= \frac{P_Q}{P_E} \left(\alpha_E + \beta_{EE} \ln P_E + \beta_{EL} \ln P_L + \beta_{EK} \ln P_K + \beta_{EM} \ln P_M + \beta_{EO} \ln P_O + \beta_{EQ} \ln Q + \gamma_{ET} T \right)$$

$$= \left[\frac{P_Q}{P_E} \alpha_E \right] + \left[\frac{P_Q}{P_E} \beta_{EE} \ln P_E \right] + \left[\frac{P_Q}{P_E} \beta_{EL} \ln P_L \right] + \left[\frac{P_Q}{P_E} \beta_{EK} \ln P_K \right] + \left[\frac{P_Q}{P_E} \beta_{EM} \ln P_M \right] + \left[\frac{P_Q}{P_E} \beta_{EO} \ln P_{GO} \right] + \left[\frac{P_Q}{P_E} \beta_{EQ} \ln Q \right] + \left[\frac{P_Q}{P_E} \gamma_{ET} T \right] \quad (17)$$

$$= e_E + e_{EE} + e_{EL} + e_{EK} + e_{EM} + e_{EO} + e_{EQ} + e_{ET}$$

1. Christensen and Greene
2. Ma et al

3. Welsch and Ochs

۴. داده‌ها و نتایج تحقیق

۴-۱. داده‌ها و تخمین پارامتر

بخش اقتصادی موردنظر در این تحقیق، بخش صنعت (کلیه صنایع فعال در بخش صنعت) است. براساس طبقه‌بندی بین‌المللی کالاها و خدمات، صنایع ایران، به ۲۳ صنعت براساس کد ۲ رقمی تقسیم می‌شود و بررسی تمامی شاخص‌ها برپایه داده‌های صنایع با کد ۲ رقمی صورت گرفته است. داده‌های به کار رفته در این پژوهش شامل مجموعه داده‌های هزینه تولید، سطح تولید، قیمت و هزینه به کارگیری نهاده‌های نیروی کار، سرمایه، مواد اولیه، برق و سایر اجزای انرژی و همچنین داده‌های فناوری تولید کلیه صنایع کد ۲ رقمی طبقه‌بندی کالاها و خدمات در دوره ۹۱-۱۳۸۴ است. کلیه این اطلاعات از مرکز آمار ایران (۱۳۹۴) و مطالعه خداداد کاشی (۱۳۸۹) گردآوری شده و تمامی داده‌های به کار رفته در این پژوهش برحسب قیمت واقعی است و بر این اساس کلیه شاخص‌های محاسبه شده برحسب ارقام حقیقی است.

هزینه کل برابر با مجموع هزینه‌های اختصاص یافته به استخدام نیروی کار و هزینه مواد اولیه، سرمایه و انرژی (حامل انرژی برق و سایر اجزای انرژی) است.

تولیدات صنایع از یکدیگر متفاوت است (تولیدات صنایع موردبررسی ناهمگن است) و به همین جهت از ارزش تولیدات صنایع در تابع هزینه استفاده شده است (ارزش تولید حقیقی).

هزینه واحد نیروی کار (قیمت نیروی کار) برابر است با حقوق و مزایایی که به طور متوسط به نیروی کار پرداخت می‌شود. برای محاسبه هزینه واحد نیروی کار (هزینه متوسط دستمزد پرداختی به نیروی کار) باید کل هزینه‌های دستمزد و مزایای پرداختی صنعت بابت نیروی کار را بر تعداد کل نیروی کار شاغل در طول یک سال تقسیم کرد.

کالاهای سرمایه‌ای در یک دوره مالی خریداری می‌شوند و خدمات این کالاها در طی چندین دوره مورد استفاده قرار می‌گیرد. رابطه هزینه متوسط سالانه سرمایه (قیمت سرمایه) به فرم زیر است:

$$P_K = K(r + d + \dot{P}_I) \quad (21)$$

متغیرهای رابطه (۲۱) شامل (r) نرخ بهره بلندمدت بانکی، (d) نرخ استهلاک سالانه کالاهای سرمایه‌ای، (\dot{P}_I)

دچار افت فناوری^۱ شود، هزینه تولید بنگاه در طی زمان افزایش پیدا می‌کند (لی^۲، ۲۰۰۹: ۱۱۵-۵۴).

با توجه به رهیافت پارامتریک و محاسبه تغییرات فناوری براساس راهکار تابع هزینه، نرخ تغییرات فناوری تولید به صورت نسبت درصد تغییر در هزینه تولید به تغییر در متغیر روند زمانی قابل بیان است (خداداد کاشی، ۱۳۸۹: ۳۷۰-۸۲). با توجه به تابع هزینه ترانسلوگ، نرخ تغییر فناوری به فرم زیر است (آکمیک^۳، ۲۰۰۹: ۳۷):

$$\begin{aligned} ITC &= \frac{-\partial \ln TC}{\partial T} \\ &= -\left(\gamma_T + \gamma_{TT}T + \sum_{i=1}^5 \gamma_{iT} \ln P_i + \gamma_{QT} \ln Q \right), \end{aligned} \quad (19)$$

$i = L, K, M, E, O$

مقادیر منفی کل رابطه فناوری تولید (با اعمال ضریب منفی در رابطه) بیانگر افزایش در هزینه تولید بنگاه در طی زمان (جابه‌جایی منحنی هزینه رو به بالا) و مقادیر مثبت رابطه فناوری تولید (با اعمال ضریب منفی در رابطه) بیانگر کاهش در هزینه تولید بنگاه در طی زمان (جابه‌جایی منحنی هزینه متوسط رو به پایین) است (هیکس^۴، ۱۹۳۲: ۱۲).

تورش فناوری نهاده به صورت تغییرات در سهم هزینه نهاده از کل هزینه تولید، به دلیل تغییرات فناوری تعبیر می‌شود.

چنانچه فناوری اثری تورش‌دار بر روی ترکیب عوامل تولید داشته باشد و موجب تغییر ترکیب بهینه عوامل تولید شود، در نتیجه موجب تغییر نرخ نهایی جانشینی نهاده‌های تولید می‌شود. چنانچه فناوری تولید خنثی نباشد (رد فرضیه فناوری خنثی هیکس)، تغییر در فناوری، موجب تورش در سهم نهاده‌ها می‌شود (استیر^۵، ۱۹۸۰: ۵).

رابطه تورش فناوری:

$$B_i = \frac{\partial S_i}{\partial T} \frac{1}{S_i} = \frac{\beta_{iT}}{S_i}, \quad i = L, K, M, E, O \quad (20)$$

1. Technology Deterioration
2. Li
3. Akkemik
4. Hicks
5. Stier

است که با توجه به دسترسی داده‌های ۸ سال از ۲۳ صنعت کد ۲رقمی ISIC، روش برآورد سیستمی رگرسیون‌های به ظاهر نامرتب، در حالت دسترسی به داده‌های پانل متوازن، رگرسیون‌های به ظاهر نامرتب تکراری (ISUR)^۳ است.

برای گزینش اینکه کدامیک از مدل‌های اقتصادسنجی پانل و یا پولینگ^۴ برای تخمین پارامترهای سیستم معادلات مناسب‌تر و کاراتر است، از آزمون سنجی F لیمر بهره گرفته شده است (زرانژاد و انواری، ۱۳۸۴: ۲).

براساس این آزمون، مدل پانل مناسب‌تر است. از سوی دیگر برای بررسی مدل از منظر اثرات ثابت^۵ و اثرات تصادفی^۶ از آزمون هاسمن استفاده شده و نتایج حاکی از آن است که باید از روش اثرات ثابت به منظور تخمین مدل استفاده کرد. نتایج تخمین پارامترهای معادله اصلی سیستم معادلات، تابع هزینه ترانسلوگ در جدول شماره (۱) گزارش شده است. برای تخمین پارامترهای کارا برای تابع هزینه ترانسلوگ و معادلات سهم هزینه نیروی کار، مواد اولیه، برق و سایر اجزای انرژی^۷ (به منظور محاسبه و برآورد شاخص‌های شدت برق، تورش فناوری نهاده و تغییرات فناوری صنایع) با توجه به داده‌های پانل و دسترسی به داده‌های ۸ سال از ۲۳ صنعت، از راهکار پانل متوازن (دوره زمانی ۸ سال و تعداد ۲۳ مقطع) و روش رگرسیون‌های به ظاهر نامرتب تکراری (ISUR) استفاده شده است.

پارامترهای جدول (۱)، براساس دو روش مستقیم و غیرمستقیم به دست آمده‌اند. برای تخمین پارامترها به صورت مستقیم (روش رگرسیون‌های به ظاهر نامرتب تکراری) و جلوگیری از صفر شدن ماتریس وارینانس-کوواریانس اجزاء اخلاص، معادله سهم هزینه سرمایه حذف شده است (بهترین برآورد پارامترها در سیستم معادلات با حذف معادله سهم هزینه نهاده سرمایه به دست آمده است). پارامترهای سهم هزینه سرمایه به روش غیرمستقیم و با شرط همگنی محاسبه شده‌اند.

عایدی تناسبی (نرخ عایدی) سرمایه و (K) موجودی سرمایه. شاخص قیمت انواع حامل‌های انرژی، از تقسیم کل هزینه‌های صرف شده برای منابع سوختی و حامل‌های انرژی بر مقدار فیزیکی این منابع به دست می‌آید. هر یک از مقادیر فیزیکی حامل‌های انرژی و سوخت برحسب واحدهای مختلف بیان می‌شوند، لذا برای به دست آوردن کل مقادیر فیزیکی حامل‌های انرژی باید هر یک از این واحدها را برحسب واحدی یکتا بیان کرد. قیمت مواد اولیه برابر است با هزینه متوسط مجموعه مواد اولیه به کار رفته در جریان تولیدی در طول یک سال برای محاسبه شاخص قیمت مواد اولیه، باید کل هزینه‌هایی که بنگاه صرف خرید مواد اولیه کرده را بر مقدار فیزیکی مواد اولیه تقسیم کرد.

در این پژوهش برای برآورد پارامترهای کارا، از راهکار سیستم معادلات متشکل از یک تابع هزینه ترانسلوگ و پنج تابع سهم هزینه نهاده (پنج تابع سهم هزینه از تابع هزینه ترانسلوگ مشتق و استخراج شده‌اند) استفاده شده است. جهت افزایش کارایی تخمین پارامترها، معادله تابع هزینه ترانسلوگ و معادلات سهم هزینه نهاده‌ها، به روش رگرسیون‌های به ظاهر نامرتب^۱ تخمین زده می‌شوند؛ زیرا اولاً؛ هر یک معادلات سهم هزینه دارای پارامترهای یکسانی با معادله هزینه هستند، ثانیاً؛ معادلات سهم هزینه نهاده‌ها از معادله تابع هزینه استخراج شده‌اند و اجزاء اخلاص معادلات سهم هزینه با جزء اخلاص تابع هزینه در ارتباط می‌باشند.

فرم ماتریسی سیستم معادلات به صورت الگوی سیستمی به ظاهر غیرمرتبط است و فرم ساختاری آن به گونه‌ای است که در هر معادله ساختاری تنها یک متغیر وابسته ظاهر می‌شود و نوع ضرایب ساختاری در حالت ماتریسی به صورت قطری بوده و به همین دلیل به نظر می‌رسد که هر یک از معادلات ساختاری، مستقل از یکدیگر هستند، درحالی‌که به دلیل استخراج معادلات سهم هزینه نهاده از معادله تابع هزینه، اجزاء اخلاص این معادلات با هم در ارتباط هستند (زرنر^۲، ۱۹۶۲: ۵۸). ویژگی سیستم معادله طراحی شده بر این اساس به گونه‌ای است که در هر معادله تنها یک متغیر درونزا ظاهر می‌شود و در واقع یک الگو در اختیار نداریم، بلکه مجموعه‌ای از معادلات به ظاهر نامرتب داریم. لازم به ذکر

3. Iterative Seemingly Unrelated Regressions

4. Pooling

5. Fixed Effect

6. Random Effect

۷. به منظور عدم هم‌خطی در سیستم معادلات، معادله سهم هزینه

سرمایه حذف شده و پارامترهای این تابع از روش غیرمستقیم

(شرط همگنی) محاسبه می‌شود.

1. Seemingly Unrelated Regressions

2. Zellner

جدول ۱. نتایج تخمین پارامترها

انحراف معیار	آماره t	برآورد	پارامتر	انحراف معیار	آماره t	برآورد	پارامتر
۰/۰۰۰۸	۰/۷۰۶۶	۰/۰۰۰۶	β_{MO}	۴/۶۶۷۷	-۰/۲۲۵۸	۱/۰۵۴۴	α_0
-	-	-۰/۰۰۱۳	β_{MK}^*	۰/۲۷۲۵	۳/۶۸۸۳	۱/۰۰۵۳	α_Q
۰/۰۰۳۲	۰/۸۷۳۸	۰/۰۰۲۸	β_{EO}	۰/۰۱۰۶	-۰/۱۸۶۳	۰/۰۰۲۰	α_{QQ}
-	-	-۰/۰۰۰۴	β_{EK}^*	۰/۲۱۵۱	۳/۶۷۱۹	۰/۷۹۰۰	α_L
-	-	-۰/۰۰۰۴	β_{OK}^*	۰/۱۵۹۹	-۳/۱۰۸۳	-۰/۴۹۷۲	α_M
۰/۰۰۶۸	-۴/۶۸۴۰	-۰/۰۳۲۱	β_{LQ}	۰/۱۱۹۶	-۰/۸۶۵۱	-۰/۱۰۳۵	α_E
۰/۰۰۵۶	۲/۲۷۶۸	۰/۰۱۲۸	β_{MQ}	۰/۰۹۴۴	۲/۲۴۲۰	۰/۲۱۱۸	α_O
۰/۰۰۳۴	۲/۲۲۸۰	۰/۰۰۷۸	β_{EQ}	-	-	۰/۵۹۹۰	α_K^*
۰/۰۰۲۴	-۱/۰۱۹۰	-۰/۰۰۲۵	β_{OQ}	۰/۰۰۷۸	۳/۳۰۹۴	۰/۰۲۵۸	β_{LL}
-	-	-۰/۰۱۴۰	β_{KQ}^*	۰/۰۰۲۷	۱/۶۷۹۶	۰/۰۰۴۶	β_{MM}
۰/۱۴۴۷	-۰/۷۵۷۴	-۰/۱۰۹۶	γ_T	۰/۰۰۴۹	۲/۲۰۸۸	۰/۰۱۰۹	β_{EE}
۰/۰۰۳۸	-۱/۷۴۸۲	-۰/۰۰۶۷	γ_{TT}	۰/۰۰۲۸	۱/۵۰۸۱	۰/۰۰۴۳	β_{OO}
۰/۰۰۱۹	-۴/۲۶۰۳	-۰/۰۰۸۲	γ_{LT}	-	-	-۰/۰۰۰۷	β_{KK}^*
۰/۰۰۱۷	۴/۸۵۰۰	۰/۰۰۸۴	γ_{MT}	۰/۰۰۲۴	-۱/۷۸۸۹	-۰/۰۰۴۴	β_{LM}
۰/۰۰۰۹	-۰/۳۳۸۳	-۰/۰۰۰۳	γ_{ET}	۰/۰۰۴۶	-۳/۱۴۹۰	-۰/۰۱۴۶	β_{LE}
۰/۰۰۰۷	-۰/۶۲۹۲	-۰/۰۰۰۵	γ_{OT}	۰/۰۰۳۶	-۲/۲۰۴۱	-۰/۰۰۸۱	β_{LO}
-	-	۰/۰۰۰۶	γ_{KT}^*	-	-	۰/۰۰۱۲	β_{LK}^*
۰/۰۰۰۷	۱/۳۹۶۱	۰/۰۰۸۶	γ_{QT}	۰/۰۰۱۰	۰/۴۶۷۹	۰/۰۰۰۵	β_{ME}
D.W= ۱/۹۳		$R^2 = ۰/۹۹$		$\bar{R}^2 = ۰/۹۹$			

L: نیروی کار M: مواد اولیه E: برق O: سایر اجزای انرژی K: سرمایه

(*) پارامترهای تابع سهم هزینه سرمایه از روش غیرمستقیم (شرط همگنی) محاسبه می‌شوند.

مأخذ: یافته‌های تحقیق

شود و اثری خنثی بر نهاده‌ها نداشته باشد، تورش ناشی از تغییر فناوری موجب افزایش و یا کاهش در به‌کارگیری نهاده می‌شود. براساس نتایج جدول (۱) و پارامترهای به‌دست آمده از رابطه متقابل نهاده‌ها با متغیر فناوری تولید ($\gamma_{KT}, \gamma_{LT}, \gamma_{MT}, \gamma_{ET}, \gamma_{OT}$) تغییرات فناوری در صنایع، برای دو نهاده سرمایه و مواد اولیه فرایندی نهاده‌بر بوده و همزمان با رشد فناوری، موجب افزایش در مقدار به‌کارگیری از دو نهاده مذکور شده و درنهایت، بهره‌وری نهایی جزیی دو نهاده کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، اثر فرایند تغییرات رو به مثبت فناوری بر روی نیروی کار، برق و سایر اجزای انرژی، موجب ذخیره و کاهش در این سه نهاده می‌شود.

توابع سهم هزینه به‌همراه تابع هزینه ترانسلوگ، در قالب سیستم معادلات و با روش رگرسیون‌های به‌ظاهر نامرتب تکراری برآورد شده‌اند. نتایج تخمین پارامترهای توابع سهم هزینه نهاده نیروی کار، مواد اولیه، برق و سایر اجزای انرژی به روش مستقیم و همچنین نتایج محاسبه غیرمستقیم پارامترهای تابع سهم هزینه سرمایه، در جدول (۲) گزارش شده است.

۲-۴. تورش فناوری نهاده

روند تغییرات فناوری دارای اثرات متفاوتی بر اجزای مؤثر بر پروسه و فرایند تولید صنایع است. همانگونه که قبلاً عنوان شد، اگر تغییرات فناوری موجب تغییر در ترکیب بهینه نهاده‌های تولید

جدول ۲. نتایج تخمین پارامترهای توابع سهم هزینه تولید

معادلات سهم هزینه نهاده‌ها					
سرمایه	سایر اجزای انرژی	برق	مواد اولیه	نیروی کار	
۰/۵۹۹۰	۰/۲۱۱۸	-۰/۱۰۳۵	-۰/۴۹۷۲	۰/۷۹۰۰	عرض از مبدا
۰/۰۰۱۲	-۰/۰۰۸۱	-۰/۰۱۴۶	-۰/۰۰۴۴	۰/۰۲۵۸	قسیمت نیروی کار
-۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۴۶	-۰/۰۰۴۴	قیمت مواد اولیه
۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۲۸	۰/۰۱۰۹	۰/۰۰۰۵	-۰/۰۱۴۶	قیمت برق
۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۰۶	-۰/۰۰۸۱	قیمت سایر اجزا انرژی
۰/۰۱۴۰	-۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۷۸	۰/۰۱۲۸	-۰/۰۳۲۱	ارزش تولید
۰/۰۰۰۶	-۰/۰۰۰۵	-۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۸۴	-۰/۰۰۸۲	فناوری
-۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۴	-۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۱۲	قیمت سرمایه
	D.W= ۱/۷۶	D.W= ۱/۸۷	D.W= ۱/۸۸	D.W= ۱/۹۱	
	R ² = ۰/۲۱	R ² = ۰/۹۷	R ² = ۰/۷۴	R ² = ۰/۷۹	
	\bar{R}^2 = ۰/۲۰	\bar{R}^2 = ۰/۹۷	\bar{R}^2 = ۰/۷۳	\bar{R}^2 = ۰/۷۸	

مأخذ: یافته‌های تحقیق

و ترکیب بهینه نهاده‌های تولید را دستخوش تغییری اندک می‌کند. درمیان صنایع مختلف، صنعت تولید ذغال کک (کد ۲۳) و صنعت تولید فلزات اساسی (کد ۲۷)، در طی متوسط دوره، با مقدار تورش $-۰/۸۳۵۵$ و $-۰/۰۱۹۶$ ، به ترتیب شاهد بیشترین و کمترین مقدار ذخیره و کاهش بهره‌گیری از نهاده

اثرات تورش فناوری، بر روی نهاده برق، در مقایسه با چهار نهاده دیگر با شدت بیشتری بوده و تغییرات بیشتری را در پی دارد. با توجه به سهم اندک نهاده برق از کل هزینه تولید و همچنین مقدار تورش منفی برق، اثر تغییر فناوری بر تغییر هزینه کل ناشی از تورش منفی برق بسیار کوچک بوده

برق، به ازای رشد فناوری بوده‌اند. براساس رابطه تورش فناوری ($\frac{\beta_{IT}}{S_I}$)، هرچه سهم نهاده در صنعت کوچک‌تر باشد، اثرات تورش ناشی از فناوری بر نهاده موردنظر، بزرگتر و باشدت بیشتری است. به عبارتی، به ازای تغییری واحد در

فناوری تولید، هرچه سهم نهاده کوچک‌تر باشد، در مقایسه با دیگر نهاده‌ها، تغییر و مقدار تورش بیشتری را تجربه می‌کند.

جدول ۳. تورش فناوری نهاده‌های تولید صنایع کارخانه‌ای

کد	نام صنعت	نیروی کار	سرمایه	مواد اولیه	برق	سایر اجزا انرژی
۱۵	مواد غذایی و آشامیدنی	-/۰.۵۵۷	۰/۰.۲۹۴	۰/۰.۱۰۴	-/۰.۱۲۸۳	-/۰.۲۲۹
۱۶	تولید محصولات از توتون	-/۰.۲۴۰	۰/۰.۲۴۰	۰/۰.۱۳۶	-/۰.۲۲۴۵	-/۰.۴۳۵
۱۷	تولید منسوجات	-/۰.۳۴۵	۰/۰.۲۰۹	۰/۰.۱۱۹	-/۰.۳۶۶	-/۰.۲۲۵
۱۸	تولید پوشاک	-/۰.۳۲۸	۰/۰.۲۴۵	۰/۰.۱۲۱	-/۰.۵۴۶	-/۰.۲۱۱
۱۹	دبازی و عمل آوردن چرم	-/۰.۴۷۸	۰/۰.۲۳۵	۰/۰.۱۰۷	-/۰.۹۹۲	-/۰.۳۹۶
۲۰	تولید محصولات چوبی	-/۰.۲۸۳	۰/۰.۲۱۶	۰/۰.۱۲۸	-/۰.۶۶۷	-/۰.۲۳۲
۲۱	تولید محصولات کاغذی	-/۰.۴۹۵	۰/۰.۲۱۰	۰/۰.۱۱۰	-/۰.۳۹۶	-/۰.۱۳۰
۲۲	چاپ و تکثیر رسانه‌های ضبط شده	-/۰.۲۸۱	۰/۰.۰۸۱	۰/۰.۱۳۸	-/۰.۶۳۷	-/۰.۳۱۶
۲۳	تولید ذغال کک	-/۰.۳۶۳	۰/۰.۵۴۲	۰/۰.۱۱۴	-/۰.۸۳۵۵	-/۰.۱۹۶
۲۴	تولید محصولات شیمیایی	-/۰.۵۸۷	۰/۰.۲۱۳	۰/۰.۱۰۶	-/۰.۱۳۱۸	-/۰.۱۲۹
۲۵	محصولات پلاستیکی	-/۰.۴۸۲	۰/۰.۲۱۶	۰/۰.۱۰۸	-/۰.۵۱۲	-/۰.۲۶۵
۲۶	سایر محصولات کانی غیر فلزی	-/۰.۳۱۱	۰/۰.۰۹۸	۰/۰.۱۴۸	-/۰.۲۵۵	-/۰.۰۵۰
۲۷	تولید فلزات اساسی	-/۰.۵۵۱	۰/۰.۱۶۷	۰/۰.۱۱۴	-/۰.۱۹۶	-/۰.۰۷۴
۲۸	محصولات فلزی بجز ماشین‌آلات	-/۰.۴۲۶	۰/۰.۱۶۷	۰/۰.۱۱۲	-/۰.۹۰۶	-/۰.۳۰۹
۲۹	تولید ماشین‌آلات و تجهیزات	-/۰.۳۴۹	۰/۰.۲۴۳	۰/۰.۱۱۷	-/۰.۹۳۴	-/۰.۲۹۶
۳۰	تولید ماشین‌آلات اداری	-/۰.۴۴۷	۰/۰.۵۶۳	۰/۰.۱۰۵	-/۰.۲۲۱۸	-/۰.۱۰۳۹
۳۱	تولید ماشین‌آلات تولید برق	-/۰.۵۰۴	۰/۰.۳۱۴	۰/۰.۱۰۴	-/۰.۱۲۰۸	-/۰.۵۴۶
۳۲	تولید تلویزیون و وسایل ارتباطی	-/۰.۵۴۸	۰/۰.۵۸۵	۰/۰.۱۰۱	-/۰.۱۷۸۲	-/۰.۹۰۳
۳۳	تولید ابزار پزشکی و اپتیکی	-/۰.۳۴۰	۰/۰.۲۳۹	۰/۰.۱۱۷	-/۰.۸۳۲	-/۰.۳۸۱
۳۴	تولید وسایل نقلیه و موتوری	-/۰.۶۸۶	۰/۰.۲۶۵	۰/۰.۰۹۹	-/۰.۲۲۵۶	-/۰.۹۱۰
۳۵	تولید سایر وسایل حمل و نقل	-/۰.۳۶۶	۰/۰.۱۳۱	۰/۰.۱۱۸	-/۰.۹۵۴	-/۰.۴۴۷
۳۶	تولید مبلمان و مصنوعات	-/۰.۳۳۶	۰/۰.۲۷۱	۰/۰.۱۱۹	-/۰.۷۹۶	-/۰.۲۲۷
۳۷	بازیافت	-/۰.۴۵۸	۰/۰.۴۸۸	۰/۰.۱۰۶	-/۰.۴۱۹	-/۰.۲۵۸
-	کل صنعت	-/۰.۳۹۶	۰/۰.۲۱۳	۰/۰.۱۱۴	-/۰.۶۶۴	-/۰.۲۱

۳-۴. نرخ تغییرات فناوری

بهره‌گیری از شاخص تغییرات فناوری دو هدف روند تغییرات فناوری و یا میزان بهره‌گیری صنایع از مزیت فناوری و همچنین تغییرات هزینه واحد پروسه تولید محصول را تأمین می‌کند و از طریق این شاخص اقتصادی می‌توان به تحلیل و مقایسه صنایع از منظر کارایی ساختار تولید و به‌کارگیری سطح فناوری پرداخت. براساس نتایج محاسبه تغییرات فناوری در سطح متوسط داده‌ها، بخش صنعت در طی دوره دارای مقدار تغییرات فناوری مثبت معادل با ۰/۹۶ درصد است. براین اساس هزینه کل تولید بخش صنعت در دوره ۱۳۹۱-۱۳۸۴، به‌طور متوسط، به‌میزان ۰/۹۶ درصد کاهش پیدا می‌کند. از میان اجزای اثرگذار بر تغییرات فناوری کل صنعت، تغییرات فناوری ناشی از افزایش سطح تولید دارای اثری به میزان ۰/۲۴ بر مقدار تغییرات فناوری داراست. بدین ترتیب با افزایش سطح تولید صنعت، هزینه واحد تولید، به‌ازای سطح مشخصی از نهاده و ثبات قیمت نهاده‌های تولید کاهش پیدا می‌کند. از سوی دیگر فناوری خالص بخش صنعت، مقداری منفی محاسبه شده است و در مجموع دو اثر تغییرات فناوری با روند ثابت و متغیر، بخش صنعت، شاهد نزول فناوری و افزایش هزینه واحد محصول با مقدار معادل ۰/۲۳- است.

نتایج به‌دست آمده از محاسبه تغییرات فناوری به‌تفکیک ۲۳ صنعت، دلالت بر آن دارد که از مجموع ۲۳ صنعت، ۱۸ صنعت دارای مقادیر مثبت تغییرات فناوری و همچنین ۵ صنعت دارای مقادیر منفی هستند. بر اساس تئوری رابطه تغییرات فناوری، تغییرات فناوری منفی گویای رشد هزینه واحد تولید محصول در طی دوره است و به‌عبارت دیگر، چنانچه بنگاه در دوره مذکور، دچار افت در فناوری تولید محصول شود، باید محصول خود را با هزینه تولید بالاتری تولید کند. در مقابل، صنایعی که تغییرات

فناوری مثبت را تجربه کرده‌اند، به میزان رشد فناوری، کاهش در هزینه واحد تولید محصول در طی زمان را به خود اختصاص می‌دهند. در میان، صنایعی که تغییرات فناوری مثبت دارند، سه صنعت تولید منسوجات (کد ۱۷)، صنعت تولید وسایل نقلیه و موتوری (کد ۳۴) و صنعت محصولات فلزی به‌جز ماشین‌آلات (کد ۲۸) به‌ترتیب با مقدار تغییرات فناوری ۴/۴۳۹۱، ۳/۲۴۴۰ و ۲/۷۱۷۵ درصد، بالاترین نرخ تغییرات فناوری را دارا بوده و رتبه‌های نخست تا سوم را به خود اختصاص داده‌اند.

از میان صنایعی که هزینه واحد پروسه تولیدشان در طی دوره افزایش پیدا کرده است، صنعت تولید ماشین‌آلات اداری (کد ۳۰) با مقدار تغییرات فناوری ۴/۲۰۹۵- درصد، بالاترین میزان افت فناوری را نسبت به چهار صنعت دیگر تجربه کرده است و در مقایسه با سایر صنایع، جزء فناوری غیر خنثی، مهم‌ترین فاکتور در افت فناوری این صنعت به‌شمار می‌رود. به مفهومی دیگر، با توجه به اینکه فرایند فناوری، فرایندی مواد اولیه و سرمایه‌بر است و به نوعی ترقی و رشد در فناوری صنایع، نیازمند به‌کارگیری و بهره‌گیری از این دو نهاده و به‌طور مشخص نهاده مهم و اساسی مواد اولیه است (به‌طور متوسط، مواد اولیه بیشترین سهم در میان نهاده‌ها از کل هزینه تولید را داراست)، افزایش قیمت این دو نهاده در نهایت موجب افت فناوری می‌شود.

بسته به ساختار کارخانجات و پروسه تولید صنایع و نحوه ترکیب نهاده‌های تولید، درجه اهمیت نهاده‌های تولید متفاوت است و به‌همین دلیل در صنایعی همچون صنعت تولید ماشین‌آلات اداری (کد ۳۰)، که دو نهاده مواد اولیه و سرمایه در مجموع دارای سهمی معادل با ۸۱ درصد از کل هزینه تولید می‌باشند، کاهش در مقدار به‌کارگیری از این دو نهاده (به‌دلیل افزایش قیمت نهاده)، در نهایت، موجب افت بیشتری در فرایند فناوری می‌شود.

جدول ۴. نرخ تغییرات فناوری صنایع کارخانه‌ای

کد	نام صنعت	فناوری خالص	فناوری غیر خنثی	فناوری گسترش مقیاس	تغییرات فناوری
۱۵	مواد غذایی و آشامیدنی	-۰/۲۳۴۲	۰/۰۱۰۴	۰/۲۴۳۹	۰/۰۲۰۰
۱۶	تولید محصولات از توتون	-۰/۲۲۳۹	-۰/۰۵۳۹	۰/۲۳۹۵	-۰/۰۳۸۳
۱۷	تولید منسوجات	-۰/۲۱۷۶	۰/۰۲۰۲	۰/۲۴۱۸	۰/۰۴۴۴
۱۸	تولید پوشاک	-۰/۲۱۹۴	-۰/۰۱۷۲	۰/۲۲۷۳	-۰/۰۰۹۴
۱۹	دباغی و عمل آوردن چرم	-۰/۲۱۵۶	۰/۰۰۲۲	۰/۲۳۲۶	۰/۰۱۹۱
۲۰	تولید محصولات چوبی	-۰/۲۱۳۳	-۰/۰۰۰۴	۰/۲۲۶۲	۰/۰۱۲۴
۲۱	تولید محصولات کاغذی	-۰/۲۳۱۲	۰/۰۰۶۱	۰/۲۴۱۲	۰/۰۱۶۰
۲۲	چاپ و تکثیر رسانه‌های ضبط شده	-۰/۲۲۲۲	۰/۰۰۴۹	۰/۲۲۷۱	۰/۰۰۹۸
۲۳	تولید ذغال کک	-۰/۲۳۱۱	-۰/۰۲۲۴	۰/۲۶۱۸	۰/۰۰۸۳
۲۴	تولید محصولات شیمیایی	-۰/۲۴۷۶	-۰/۰۰۲۵	۰/۲۵۲۵	۰/۰۰۲۳
۲۵	محصولات پلاستیکی	-۰/۲۴۳۶	۰/۰۲۱۵	۰/۲۴۹۳	۰/۰۲۷۲
۲۶	سایر محصولات کانی غیر فلزی	-۰/۲۳۸۸	۰/۰۰۵۷	۰/۲۴۵۹	۰/۰۱۲۸
۲۷	تولید فلزات اساسی	-۰/۲۴۰۴	۰/۰۰۶۶	۰/۲۵۶۹	۰/۰۲۳۰
۲۸	محصولات فلزی بجز ماشین‌آلات	-۰/۲۳۶۳	۰/۰۱۸۷	۰/۲۴۴۷	۰/۰۲۷۲
۲۹	تولید ماشین‌آلات و تجهیزات	-۰/۲۳۵۱	۰/۰۱۰۵	۰/۲۴۰۰	۰/۰۱۵۴
۳۰	تولید ماشین‌آلات اداری	-۰/۲۳۸۸	-۰/۰۳۴۲	۰/۲۳۱۰	-۰/۰۴۲۱
۳۱	تولید ماشین‌آلات تولید برق	-۰/۲۴۳۱	۰/۰۱۰۰	۰/۲۴۴۶	۰/۰۱۱۵
۳۲	تولید تلویزیون و وسایل ارتباطی	۰/۲۳۸۱	-۰/۰۱۵۲	۰/۲۳۹۳	-۰/۰۱۴۰
۳۳	تولید ابزار پزشکی و اپتیکی	-۰/۲۳۲۷	-۰/۰۰۳۴	۰/۲۲۸۷	-۰/۰۰۷۴
۳۴	تولید وسایل نقلیه و موتور	-۰/۲۵۰۶	۰/۰۱۷۰	۰/۲۶۶۱	۰/۰۳۲۴
۳۵	تولید سایر وسایل حمل و نقل	-۰/۲۲۳۰	۰/۰۰۲۴	۰/۲۳۷۴	۰/۰۱۶۸
۳۶	تولید مبلمان و مصنوعات	-۰/۲۲۰۷	۰/۰۱۴۵	۰/۲۳۰۲	۰/۰۲۴۰
۳۷	بازریافت	-۰/۲۰۳۵	۰/۰۱۲۲	۰/۲۰۱۵	۰/۰۱۰۱
-	کل صنعت	-۰/۲۳۰۵	۰/۰۰۰۶	۰/۲۳۹۵	۰/۰۰۹۶

مأخذ: یافته‌های تحقیق

۴-۴. شدت برق

شدت برق برابر با نسبت مقدار مصرف برق به سطح تولید است؛ با توجه به رابطه شدت برق، هرچه میزان این شاخص مقدار کوچکتری باشد و یا به عبارتی مقدار مصرف برق نسبت به تولید کمتر باشد، کارایی بنگاه از منظر سطح مصرف برق و انرژی مصرفی بالاتر بوده و چنانچه مقدار شدت برق، مقداری نزدیک به یک و بالاتر محاسبه شود، کارایی به کارگیری نهاده برق بسیار اندک است. براساس نتایج گزارش شده در جدول (۵)، در سطح متوسط داده‌های کل صنعت، شدت برق برابر با مقدار $0/4047$ درصد محاسبه و دو اثر بودجه‌ای و فناوری موجب کاهش در شدت مصرف برق شده و همچنین دو اثر جانشینی و تولیدی موجب افزایش شدت برق می‌شوند. با توجه به اثر بودجه‌ای کل صنعت، اگر قیمت برق افزایش پیدا کند، مقدار به کارگیری نهاده برق کاهش پیدا کرده و این مسئله موجب کاهش شدت برق به میزان $0/0945$ درصد (در سطح متوسط داده‌ها) خواهد شد و بر این اساس، افزایش قیمت برق به‌عنوان یک راهکار افزایش کارایی مصرف برق به شمار می‌رود و از این طریق می‌توان، شدت مصرف برق را کاهش داد. نتایج تورش فناوری نهاده برق، حاکی از آن است که تغییرات فناوری موجب ذخیره نهاده برق و به عبارتی کاهش بهره‌گیری از نهاده برق می‌شود. براین اساس، تحلیل اثر منفی فناوری بر شدت برق را این‌گونه می‌توان بیان کرد که رشد فناوری در فرایند تولید صنایع، موجب کاهش مصرف برق و درنهایت، کاهش شدت برق به میزان $0/0058$ درصد (در سطح متوسط داده‌ها) می‌شود. با توجه به نکات فوق، اثر فناوری در کنار اثر بودجه‌ای (افزایش قیمت نهاده برق با توجه به ثابت بودن هزینه برق از هزینه کل)، موجب افزایش کارایی مصرف برق می‌شود. اثر جانشینی برابندی از روابط متقابل میان نهاده‌های تولید با نهاده برق (روابط جانشینی و مکملی میان سایر نهاده‌ها با نهاده برق) در بخش صنعت است. در بررسی اثر جانشینی بر شدت برق این مسئله مورد توجه قرار می‌گیرد که افزایش در قیمت کلیه نهاده‌ها، چه تاثیری بر مقدار شدت برق خواهد داشت. محاسبه مجموع (برایند) افزایش قیمت نهاده‌ها و تغییر در ترکیب بهینه به کارگیری نهاده‌ها حکایت از این مطلب دارد که مقدار مصرف برق افزایش یافته و صنعت، افزایش $0/2984$ درصدی

(در سطح متوسط داده‌ها) در شدت برق را تجربه می‌کند. از دیگر اجزای اصلی مؤثر بر شدت مصرف برق، اثر تولیدی است و بررسی‌ها نشان می‌دهد که جزء تولید شدت برق، اثری مثبت بر این شاخص دارد و بدین ترتیب افزایش در مقیاس تولید بنگاه یا صنعت، موجب افزایش به کارگیری نهاده برق و شدت برق به میزان $0/2067$ درصد (در سطح متوسط داده‌ها) می‌شود.

به‌طور خلاصه، می‌توان بیان کرد که اثر بودجه‌ای (تغییر قیمت برق) و اثر فناوری در کنار هم، می‌توانند موجب کاهش شدت مصرف برق (افزایش کارایی مصرف برق) و از سوی دیگر، افزایش قیمت نهاده‌ها (اثر جانشینی) و افزایش سطح و مقیاس تولید صنایع، اثری مثبت بر شاخص شدت برق بخش صنعت دارند و موجب کاهش کارایی مصرف این حامل انرژی مهم در ساختار بخش صنعت می‌شوند.

بررسی مقادیر شدت برق 23 صنعت در این تحقیق، حاکی از آن است که 18 صنعت از 23 صنعت، دارای مقادیر شدت برق صنعت در دامنه $0/33$ درصد تا $0/40$ درصد هستند و در این صنایع، صنعت بازیافت (کد 37) کمترین شدت برق را با مقدار $0/3324$ درصد، به خود اختصاص داده است. از دلایل مهم کمتر بودن شدت برق صنعت بازیافت (کد 37) در مقایسه با سایر صنایع را می‌توان کمتر بودن اثر مثبت تولیدی و بالاخص کمتر بودن اثر مثبت جانشینی در قیاس با سایر صنایع ذکر کرد. در میان 5 صنعت که دارای شدت برق بالاتر از $0/40$ درصد هستند، صنعت چاپ و تکثیر رسانه‌های ضبط شده (کد 22)، با مقدار شدت برق $0/6864$ درصد، بیشترین شدت برق را داراست و با توجه به سهم بسیار اندک $0/19$ درصدی از کل برق مصرفی صنعت، کمترین کارایی مصرف برق در پروسه تولید را به خود اختصاص داده است.

با بررسی اجزای مؤثر بر شدت مصرف برق صنعت چاپ و تکثیر رسانه‌های ضبط شده (کد 22) می‌توان دریافت که اثر جانشینی با مقدار $0/5278$ درصد، موجب افزایش چشمگیر شدت برق و همچنین اختلاف زیاد شدت برق صنعت چاپ و تکثیر رسانه‌های ضبط شده (کد 22) در مقایسه با سایر صنایع شده است.

جدول ۴. تجزیه شدت برق صنایع کارخانه‌ای (درصد)

کد	نام صنعت	اثر بودجه‌ای	اثر جانشینی	اثر تولیدی	اثر فناوری	شدت برق
۱۵	مواد غذایی و آشامیدنی	-۰/۰۹۲۱	-۰/۲۸۸۴	۰/۱۹۷۲	-۰/۰۰۵۴	۰/۳۸۸۰
۱۶	تولید محصولات از توتون	-۰/۰۹۰۳	-۰/۲۸۴۷	۰/۱۸۹۴	-۰/۰۰۴۹	۰/۳۷۸۹
۱۷	تولید منسوجات	-۰/۱۱۶۴	-۰/۳۶۰۴	۰/۲۴۶۶	-۰/۰۰۶۴	۰/۴۸۴۲
۱۸	تولید پوشاک	-۰/۰۸۸۱	-۰/۲۶۸۸	۰/۱۷۵۸	-۰/۰۰۴۴	۰/۳۵۲۰
۱۹	دباغی و عمل آوردن چرم	-۰/۰۸۶۴	-۰/۲۶۶۵	۰/۱۷۶۱	-۰/۰۰۴۴	۰/۳۵۱۹
۲۰	تولید محصولات چوبی	-۰/۰۸۶۵	-۰/۲۶۹۴	۰/۱۷۲۱	-۰/۰۰۴۵	۰/۳۵۰۵
۲۱	تولید محصولات کاغذی	-۰/۰۸۸۰	-۰/۲۷۷۹	۰/۱۸۶۱	-۰/۰۰۴۹	۰/۳۷۱۱
۲۲	چاپ و تکثیر رسانه‌های ضبط شده	-۰/۱۶۸۳	-۰/۵۲۷۸	۰/۳۳۵۷	-۰/۰۰۸۸	۰/۶۸۶۴
۲۳	تولید ذغال کک	-۰/۰۸۵۸	-۰/۲۸۴۵	۰/۲۰۳۰	-۰/۰۰۵۶	۰/۳۹۳۷
۲۴	تولید محصولات شیمیایی	-۰/۰۸۵۸	-۰/۲۷۳۹	۰/۱۹۰۷	-۰/۰۰۵۵	۰/۳۷۳۳
۲۵	محصولات پلاستیکی	-۰/۰۸۸۹	-۰/۲۸۱۱	۰/۱۹۴۸	-۰/۰۰۵۵	۰/۳۸۱۴
۲۶	سایر محصولات کانی غیر فلزی	-۰/۰۸۶۰	-۰/۲۷۰۵	۰/۱۸۵۵	-۰/۰۰۵۲	۰/۳۶۴۹
۲۷	تولید فلزات اساسی	-۰/۰۸۶۰	-۰/۲۷۶۶	۰/۱۹۴۸	-۰/۰۰۵۴	۰/۳۷۹۹
۲۸	محصولات فلزی بجز ماشین‌آلات	-۰/۰۸۹۷	-۰/۲۸۲۳	۰/۱۹۳۰	-۰/۰۰۵۳	۰/۳۸۰۳
۲۹	تولید ماشین‌آلات و تجهیزات	-۰/۰۸۸۴	-۰/۲۷۹۶	۰/۱۸۶۳	-۰/۰۰۵۳	۰/۳۷۲۳
۳۰	تولید ماشین‌آلات اداری	-۰/۰۹۴۴	-۰/۲۹۵۳	۰/۱۹۱۰	-۰/۰۰۵۵	۰/۳۸۶۴
۳۱	تولید ماشین‌آلات تولید برق	-۰/۰۸۶۴	-۰/۲۷۳۲	۰/۱۸۵۹	-۰/۰۰۵۲	۰/۳۶۷۴
۳۲	تولید تلویزیون و وسایل ارتباطی	-۰/۰۸۶۴	-۰/۲۷۳۴	۰/۱۸۱۰	-۰/۰۰۵۲	۰/۳۶۲۸
۳۳	تولید ابزار پزشکی و اپتیکی	-۰/۱۰۸۲	-۰/۳۳۹۴	۰/۲۱۷۲	-۰/۰۰۶۳	۰/۴۴۲۱
۳۴	تولید وسایل نقلیه و موتور	-۰/۰۸۷۱	-۰/۲۸۰۴	۰/۲۰۴۰	-۰/۰۰۶۰	۰/۳۹۱۴
۳۵	تولید سایر وسایل حمل و نقل	-۰/۰۹۶۳	-۰/۳۰۴۰	۰/۲۰۱۳	-۰/۰۰۵۳	۰/۴۰۳۷
۳۶	تولید مبلمان و مصنوعات	-۰/۰۹۸۶	-۰/۳۰۷۰	۰/۱۹۹۹	-۰/۰۰۵۴	۰/۴۰۲۹
۳۷	بازیافت	-۰/۰۸۷۳	-۰/۲۶۶۷	۰/۱۵۶۷	-۰/۰۰۳۷	۰/۳۳۳۴
-	کل صنعت	-۰/۰۹۴۵	-۰/۲۹۸۴	۰/۲۰۶۷	-۰/۰۰۵۸	۰/۴۰۴۷

مأخذ: یافته‌های تحقیق

۴-۵. شدت برق، سهم تولید و سهم برق مصرفی

شدت برق برابر با نسبت مصرف نهاده برق به سطح تولید بنگاه است. به منظور بررسی جامع و مقایسه مقادیر شدت برق صنایع با یکدیگر، صنایع براساس سه شاخص: سهم تولید، سهم برق مصرفی از کل صنعت و رتبه‌بندی براساس مقادیر شدت برق رتبه‌بندی می‌شوند. با توجه به نتایج جدول (۶) و در دوره ۱۳۹۱-۱۳۸۴، صنعت تولید وسایل نقلیه و موتوری (کد ۳۴)، صنعت تولید ذغال کک (کد ۲۳)، صنعت تولید فلزات اساسی (کد ۲۷)، صنعت تولید محصولات شیمیایی (کد ۲۴) و صنعت تولید محصولات پلاستیکی (کد ۲۵) به ترتیب با سهم تولید ۳۳/۸۱، ۱۰/۸۹، ۱۲/۱۹، ۶/۹۸ و ۴/۵۳ درصدی از کل تولید بخش صنعت، در مجموع بیش از سه چهارم تولید صنعت را دارا بوده و از منظر شاخص سهم تولیدات بخش صنعت، از مهم‌ترین و اساسی‌ترین صنایع به شمار می‌روند. بررسی مقادیر شدت برق این صنایع حاکی از آن است که کلیه این صنایع اساسی و مهم در بخش صنعت، دارای مقادیر شدت برق کوچک‌تر از سطح متوسط صنعت (۴۰/۴۷ درصد) بوده و بدین ترتیب صنایع مذکور تا حدودی نسبت به متوسط بخش صنعت، از منظر شاخص شدت برق و کارایی به-کارگیری از نهاده برق در پروسه تولید، مطلوب عمل کرده‌اند. از دیگر شاخص‌هایی که می‌توان به کمک آن به تحلیل مقادیر شاخص شدت برق و در نهایت مقایسه شدت برق صنایع پرداخت، بهره‌گیری از شاخص سهم مصرفی صنایع از کل برق در دسترس در بخش صنعت و همچنین رتبه‌بندی

صنایع از منظر سهم برق مصرفی، است. براساس رتبه‌بندی صنایع با توجه به مقدار سهم برق مصرفی، بیش از ۸۰ درصد (۸۳/۳۶ درصد) از کل برق بخش صنعت، در اختیار تنها پنج صنعت، شامل صنعت تولید فلزات اساسی (کد ۲۷)، صنعت سایر محصولات کانی غیرفلزی (کد ۲۶)، صنعت تولید محصولات شیمیایی (کد ۲۴)، صنعت تولید مواد غذایی و آشامیدنی (کد ۱۵) و صنعت تولید منسوجات (کد ۱۷) قرار دارد. با توجه به سهم بسیار گسترده برق مصرفی این پنج صنعت از کل برق بخش صنعت، صنایع مذکور از صنایع اساسی به شمار می‌روند و محاسبه شدت برق صنایع و رتبه‌بندی آن‌ها براساس شدت برق حاکی از آن است که به غیر از صنعت تولید منسوجات (کد ۱۷)، که با شدت برق معادل با ۴۸۴۲/۰، شدت برق بالاتر از کل صنعت (۴۰/۴۷) را داراست، چهار صنعت دیگر، مقادیر شدت برق کمتری نسبت به متوسط صنعت به خود اختصاص داده‌اند. براین اساس، صنعت تولید منسوجات (کد ۱۷) با در نظر گرفتن سهم برق مصرفی ۵/۰۸ درصدی از کل برق صنعت، از جمله صنایع با سهم مصرف برق بسیار بالا به شمار رفته که شدت برق بالایی نسبت به سایر صنایع دارا بوده و به دلیل کارا نبودن پروسه تولید خود، در میان ۲۳ صنعت کد دو رقمی، پس از صنعت چاپ و تکثیر رسانه‌های ضبط شده (کد ۲۲) کمترین کارایی به‌کارگیری از برق (بالاترین شدت برق) را داشته و رتبه ۲۲ را از نظر شاخص کارایی بهره‌گیری از نهاده برق به ازای تولید محصولات، به خود اختصاص داده است.

جدول ۵. رتبه‌بندی صنایع براساس سه شاخص سهم تولید، سهم مصرف برق و شدت برق

رتبه	شدت برق	رتبه	سهم مصرف برق	رتبه	سهم تولید	نام صنعت	کد
۱۶	۰/۳۸۸۰ *	۴	۵/۷۶ *	۹	۲/۳۷ *	مواد غذایی و آشامیدنی	۱۵
۱۱	۰/۳۷۸۹	۲۰	۰/۰۸	۱۳	۱/۳۳	تولید محصولات از توتون	۱۶
۲۲	۰/۴۸۴۲	۵	۵/۰۸	۱۰	۱/۷۷	تولید منسوجات	۱۷
۴	۰/۳۵۲۰	۲۱	۰/۰۷	۲۰	۰/۳۴	تولید پوشاک	۱۸
۳	۰/۳۵۱۹	۱۸	۰/۱۶	۱۶	۰/۶۰	دباغی و عمل آوردن چرم	۱۹
۲	۰/۳۵۰۵	۱۳	۰/۳۸	۲۲	۰/۳۲	تولید محصولات چوبی	۲۰
۸	۰/۳۷۱۱	۱۰	۱/۷۴	۱۱	۱/۶۸	تولید محصولات کاغذی	۲۱
۲۳	۰/۶۸۶۴	۱۶	۰/۱۹	۲۱	۰/۳۴	چاپ و تکثیر رسانه‌های ضبط شده	۲۲
۱۸	۰/۳۹۳۷	۸	۱/۹۹	۲	۱۹/۸۹	تولید ذغال کک	۲۳
۱۰	۰/۳۷۳۳	۳	۹/۰۱	۴	۶/۹۸	تولید محصولات شیمیایی	۲۴
۱۴	۰/۳۸۱۴	۷	۲/۶۴	۵	۴/۵۳	محصولات پلاستیکی	۲۵
۶	۰/۳۶۴۹	۲	۱۸/۴۲	۶	۳/۰۰	سایر محصولات کانی غیر فلزی	۲۶
۱۲	۰/۳۷۹۹	۱	۴۶/۰۹	۳	۱۲/۱۰	تولید فلزات اساسی	۲۷
۱۳	۰/۳۸۰۳	۱۱	۱/۵۴	۷	۲/۷۶	محصولات فلزی بجز ماشین‌آلات	۲۸
۹	۰/۳۷۲۳	۹	۱/۷۵	۱۲	۱/۵۴	تولید ماشین‌آلات و تجهیزات	۲۹
۱۵	۰/۳۸۶۴	۲۲	۰/۰۲	۱۸	۰/۵۰	تولید ماشین‌آلات اداری	۳۰
۷	۰/۳۶۷۴	۱۲	۱/۱۸	۸	۲/۷۰	تولید ماشین‌آلات تولید برق	۳۱
۵	۰/۳۶۲۸	۱۹	۰/۱۱	۱۴	۱/۲۸	تولید تلویزیون و وسایل ارتباطی	۳۲
۲۱	۰/۴۴۲۱	۱۷	۰/۱۹	۱۹	۰/۴۰	تولید ابزار پزشکی و اپتیکی	۳۳
۱۷	۰/۳۹۱۴	۶	۳/۰۳	۱	۳۳/۸۱	تولید وسایل نقلیه و موتوری	۳۴
۲۰	۰/۴۰۳۷	۱۴	۰/۳۰	۱۵	۱/۲۱	تولید سایر وسایل حمل و نقل	۳۵
۱۹	۰/۴۰۲۹	۱۵	۰/۲۶	۱۷	۰/۵۲	تولید مبلمان و مصنوعات	۳۶
۱	۰/۳۳۲۴	۲۳	۰/۰۱	۲۳	۰/۰۲	بازیافت	۳۷

(*) واحد محاسبه: درصد

مأخذ: یافته‌های تحقیق

سال ۱۳۹۰ رسید که بالاترین مقدار شاخص شدت را در ۸ سال مورد بررسی داشته است. با توجه به تجزیه شدت برق در دو سال ۱۳۸۴ و ۱۳۹۰، می‌توان دریافت که مهم‌ترین دلیل این افزایش شاخص شدت، ناشی از افزایش مقادیر مثبت اثر جانشینی و تولیدی است (این دو اثر در مجموع موجب افزایش شاخص شدت به میزان ۰/۳۸۴۸ درصد شده‌اند) که با توجه به افزایش مقادیر منفی دو اثر بودجه‌ای و فناوری، در نهایت، شاخص شدت برق به میزان ۰/۳۱ درصد افزایش یافته است. به عبارتی افزایش قیمت (هزینه واحد) نهاده‌ها در سال‌های

۴-۶. شدت برق کل صنعت

روند سالانه شدت برق و نتایج محاسبه چهار جزء اصلی مؤثر بر مقادیر شدت برق کل صنعت در سال‌های مورد مطالعه، در جدول (۷) گزارش شده است. بخش صنعت در طول ۸ سال، روند کاهشی در کارایی مصرف برق را تجربه کرده و این روند نزولی کارایی، در سال ۱۳۹۰ به بالاترین سطح خود در قیاس با سایر سال‌ها رسیده است. این مسئله به گونه‌ای بوده که شاخص شدت برق از مقدار ۰/۳۰۳۳ درصد در سال ۱۳۸۴، با افزایش ۰/۳۱ درصدی به مقداری معادل ۰/۶۱۵۴ درصد در

بیشترین اثر را دریافت کند، به متغیر قیمت نهاده‌ها واکنش بیشتری نشان می‌دهد و به نوعی تغییرات شدت برق رابطه مستقیم و معناداری با تغییر قیمت سایر نهاده‌ها داراست.

بر این اساس، فاکتور تغییر قیمت کلیه نهاده‌ها، مهم‌ترین فاکتور مؤثر بر کارایی مصرف برق در صنایع کارخانه‌ای ایران به‌شمار می‌رود. لازم به ذکر است که در کنار روند صعودی شدت برق با توجه به برآیند افزایش قیمت نهاده‌ها، افزایش قیمت خود نهاده برق (با شرط ثبات در هزینه مصرفی برق از کل هزینه تولید) موجب کاهش شدت برق در طول دوره می‌شود. با توجه به اثر بودجه‌ای، چنانچه قیمت برق افزایش پیدا کند، در سطح تولید یک واحد محصول صنعتی، مقدار به‌کارگیری از نهاده برق کاهش پیدا کرده و به عبارتی شدت برق کاهش پیدا می‌یابد.

۱۳۹۰-۱۳۸۴ و همچنین افزایش مقدار تولید در طول همین دوره، موجب کاهش کارایی مصرفی صنعت به مقدار ۰/۳۱ درصد شده است.

بررسی و تجزیه شدت برق دلالت بر آن دارد که از میان جزء اصلی شدت برق و سهم هزینه نهاده برق، اثر جانشینی بیشترین تأثیر را بر روی افزایش در نسبت مصرف نهاده برق به تولید و به دنبال آن افزایش شدت برق کلیه سال‌های مورد مطالعه، دارا بوده و مهم‌ترین فاکتور افزایش روند شدت برق (کاهش کارایی مصرف برق)، ناشی از روند صعودی (افزایشی) اثر جانشینی است. به عبارت دیگر، با توجه به ترکیب نهاده‌ها با نهاده برق و روابط جانشینی و مکملی، افزایش قیمت نهاده‌ها در نهایت موجب افزایش شدت مصرف برق صنعتی شده و بدین ترتیب، کارایی مصرف برق در صنایع کارخانه‌ای بیش از آنکه از متغیرهایی همچون تولید و فناوری

جدول ۶. روند سالانه تجزیه شدت برق کل صنعت

سال	اثر بودجه‌ای	اثر جانشینی	اثر تولیدی	اثر فناوری	شدت برق
۱۳۸۴	* -۰/۰۷۳۰	-۰/۲۲۶۴	۰/۱۵۴۱	-۰/۰۰۴۱	۰/۳۰۳۳
۱۳۸۵	-۰/۰۶۸۵	-۰/۲۱۳۳	۰/۱۴۵۶	-۰/۰۰۳۹	۰/۲۸۶۶
۱۳۸۶	-۰/۰۷۶۳	-۰/۲۳۸۶	۰/۱۶۳۸	-۰/۰۰۴۰	۰/۳۲۲۱
۱۳۸۷	-۰/۰۸۶۱	-۰/۲۷۰۲	۰/۱۸۶۹	-۰/۰۰۴۵	۰/۳۶۶۶
۱۳۸۸	-۰/۰۹۵۲	-۰/۳۰۰۴	۰/۲۰۸۸	-۰/۰۰۴۹	۰/۴۰۹۰
۱۳۸۹	-۰/۱۲۹۸	-۰/۴۰۹۰	۰/۲۸۶۰	-۰/۰۰۶۹	۰/۵۵۸۳
۱۳۹۰	-۰/۱۴۲۳	-۰/۴۴۹۵	۰/۳۱۵۸	-۰/۰۰۷۵	۰/۶۱۵۴
۱۳۹۱	-۰/۱۳۲۰	-۰/۴۲۲۶	۰/۲۹۵۲	-۰/۰۰۶۹	۰/۵۷۸۹
۱۳۸۴-۹۱	-۰/۰۵۹۰	+۰/۱۹۶۲	+۰/۱۴۱۱	-۰/۰۰۲۸	۰/۲۷۵۵

(*) واحد محاسبه: درصد

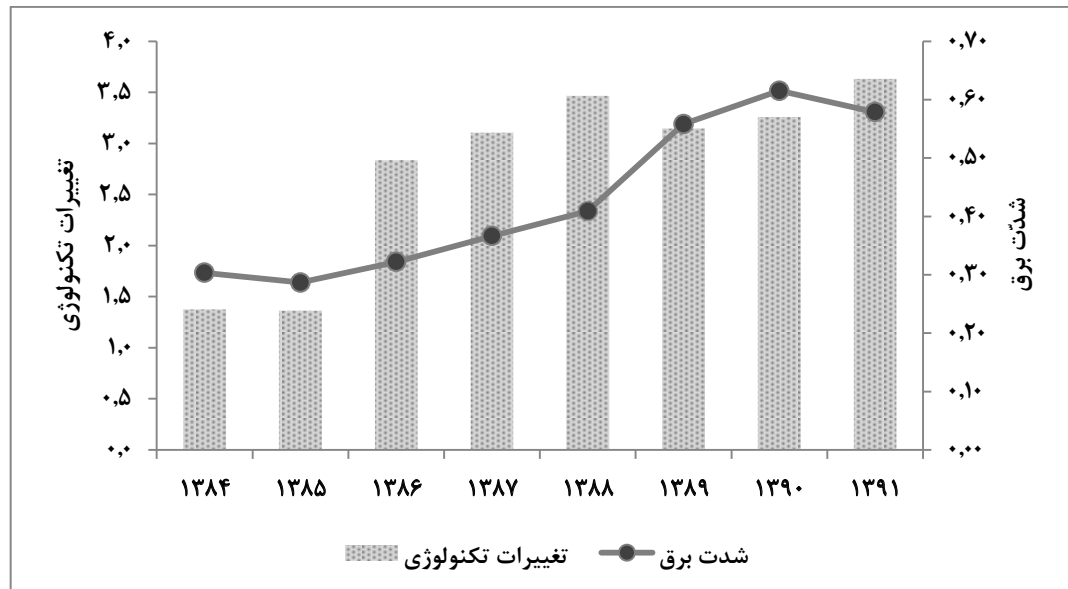
مأخذ: یافته‌های تحقیق

افزایش کارایی نهاده برق را ایفا می‌کند. در این قسمت از تحقیق روند سالانه تغییرات فناوری و شدت برق کل صنعت بررسی می‌شود و لازم به ذکر است که محاسبات این دو شاخص براساس سطح متوسط داده‌های کلیه صنایع در هر سال صورت گرفته است. هدف از محاسبه این دو شاخص،

براساس محاسبات شدت برق با رویکرد پارامتریک، از میان چهار جزء اثرگذار بر شدت برق بخش صنعت، جزء فناوری، دارای اثری منفی بر شدت برق است و درحقیقت روند تغییرات فناوری پروسه تولید به‌گونه‌ای بوده که موجب ذخیره نهاده برق شده و از این طریق، فاکتور کاهنده در شدت برق و

نمودار(۱) می‌توان دریافت که شاخص تغییرات فناوری و شدت برق در طی دوره (به‌طور متوسط)، دارای روند رو به افزایش و صعودی هستند.

تحلیل ارتباط روند تغییرات فناوری و روند شدت برق در طی دوره و میزان اثرگذاری تغییرات فناوری بر شدت برق کل صنعت به‌عنوان یک جزء کاهشی در رابطه شدت برق است. از



نمودار ۱. روند سالانه تغییرات فناوری و شدت برق کل صنعت

شدت برق روند رو به صعود را داراست.

۵. نتیجه گیری

هدف از این پژوهش، بررسی شدت مصرف برق در صنایع کارخانه‌ای ایران (۲۳ صنعت با کد ۲ رقمی طبقه‌بندی کالاها و خدمات (ISIC)) و همچنین ارزیابی اجزای مؤثر بر کارایی مصرف از طریق تجزیه پارامتریک شدت مصرف برق است. برای تجزیه پارامتریک شدت مصرف برق، از تابع هزینه ترانسلوگ بهره گرفته شده و با توجه به این روش، شدت مصرف برق را می‌توان به چهار اثر، شامل اثر بودجه‌ای، اثر جانشینی، اثر تولیدی و اثر فناوری تجزیه کرد. متغیرهای بسیاری بر شاخص شدت مصرف حامل‌های انرژی اثرگذار هستند که از این میان می‌توان به مقیاس و سطح تولید صنایع، قیمت حامل‌های انرژی و فناوری تولید صنایع اشاره کرد که هر یک از این متغیرها و شاخص‌ها، اثرات مثبت و یا منفی بر شدت و کارایی مصرف حامل‌های انرژی دارند. شاخص فناوری به‌عنوان یکی از عوامل اثرگذار بر مصرف حامل‌های انرژی به‌شمار می‌رود و فرض بر آن است که هرچه سطح فناوری صنایع بالاتر رود، میزان مصرف انرژی کارا تر و بهینه شود. براساس هدف تحقیق و همچنین فروض تحقیق، نتایج یافت شده و پیشنهادات به شرح ذیل است:

شاخص تغییرات فناوری و شدت برق به‌ترتیب از مقدار ۱/۳۷ درصد و ۰/۳۰ درصد در سال ۱۳۸۴ به مقداری معادل با ۳/۶۳ درصد و ۰/۵۸ درصد در سال ۱۳۹۱ رسیدند. این در حالی است که تغییرات فناوری با نوسان همراه بوده و در دو سال ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰، کاهش یافته است.

با توجه به رابطه منفی تغییرات فناوری با شدت برق، انتظار بر آن است که با روند صعودی در روند فناوری، شاهد روند نزولی در مقدار شدت برق بوده و ازسویی دیگر با نزول روند تغییرات فناوری (اُفت فناوری کل صنعت)، مقدار شدت برق کل صنعت، افزایش یابد (به‌دلیل کاهش مقدار جزء منفی رابطه شدت برق). همان‌طور که عنوان شد، دو شاخص ذکر شده در طی دوره افزایش پیدا کردند و تغییرات فناوری فاکتور مهمی در تعیین روند شدت برق به‌شمار نمی‌رود. مهم‌ترین دلیل این است که اثر منفی فناوری بر روی شدت برق با وجود روند صعودی شاخص فناوری، تأثیر ناچیزی بر روی شدت برق ایفا می‌کند و دیگر اجزاء اصلی شدت برق نیز دارای روند صعودی بوده و در مجموع، موجب افزایش در نرخ سالانه شدت برق می‌شوند و در کنار روند صعودی تغییرات فناوری، باوجود روند صعودی دو جزء جانشینی و تولیدی،

به‌عنوان عامل کاهنده شدت مصرف برق، هرچند به میزان کم، نسبت مصرف برق به سطح تولید را کاهش داد و کارایی مصرف برق ارتقاء پیدا کند.

۳. یافته‌ها حاکی از آن است که اثر بودجه‌ای در کنار اثر فناوری، موجب افزایش کارایی مصرف برق می‌شود. لازم به ذکر است که با توجه به اثر بودجه‌ای بر شدت مصرف برق صنعتی و همچنین حذف تدریجی یارانه حامل‌های انرژی، به‌راحتی می‌توان دریافت که افزایش قیمت حامل انرژی برق، باعث افت کارایی مصرف برق صنعتی نشده، بلکه موجب افزایش کارایی مصرف برق نیز می‌شود. براین اساس، تحلیل نتایج بدست آمده از تجزیه شدت حاکمی از آن است که یکی از راهکارهای مؤثر افزایش کارایی انرژی از طریق طرح هدفمندسازی یارانه و حذف تدریجی یارانه است و افزایش قیمت برق درحقیقت از شدت مصرف برق می‌کاهد. به‌عبارت دیگر، طرح هدفمندسازی یارانه‌ها و افزایش قیمت انواع حامل انرژی از جمله برق، رویکردی مؤثر به سوی ارتقای کارایی مصرف برق در صنایع کارخانه‌ای است. همچنین تنظیم طرح و برنامه‌هایی درخصوص افزایش قیمت حامل انرژی، در نهایت به ارتقای کارایی مصرف برق، می‌انجامد.

۱. تغییرات فناوری در بخش صنعت ایران موجب ذخیره نهاده انرژی می‌شود و با احتساب این موضوع می‌توان دریافت که با توجه به روند روبه رشد تغییرات فناوری در صنایع کارخانه‌ای، میزان مصرف نهاده انرژی با به‌کارگیری تجهیزات جدید صنعتی و ترکیب بهینه نهاده‌ها با حامل انرژی برق از طریق مطالعه و تحقیق، کاهش می‌یابد. با توجه به تجزیه شدت مصرف برق در صنایع کارخانه‌ای ایران، از میان چهار فاکتور اصلی مؤثر بر کارایی برق، اثرات فناوری و بودجه‌ای، موجب افزایش کارایی مصرف برق می‌شوند که در این میان، اثر فناوری، در قیاس با اثر بودجه‌ای، اثر مثبت کمتری بر شاخص کارایی مصرف برق دارد و به‌طور کل، اثر کاهنده بر شدت برق دارد. براین اساس، رویکرد مناسب پیشنهادی به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش هزینه واحد تولید، برنامه‌ریزی صنایع در جهت ارتقا فناوری تجهیزات و کارخانه، است.

۲. براساس نتایج تحقیق، بررسی شدت برق و تجزیه این شاخص به فاکتورهای گوناگونی همچون اثر فناوری، حاکی از آن است که تغییرات فناوری موجب ذخیره نهاده انرژی و کاهش شدت برق (به‌میزان اندک) و افزایش کارایی به‌طور متوسط به‌میزان ۰/۰۵۸ درصد می‌شود، لذا با عنایت به اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها در سال‌های اخیر و لزوم توجه به کارایی در مصرف حامل‌های انرژی

منابع

- جهانگرد، اسفندیار و هدیه تجلی (۱۳۹۰)، "تجزیه شدت انرژی‌بری در صنایع کارخانه‌ای ایران"، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، دوره ۸، صص ۵۸-۲۵.
- خداداد کاشی، فرهاد (۱۳۸۹)، اقتصاد صنعتی (نظریه و کاربرد)، تهران: مرکز تحقیق و توسعه، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها.
- دشتی، نادر؛ یاوری، کاظم و مجید صباغ کرمانی (۱۳۸۸)، "تجزیه رشد بهره‌وری کل عوامل تولید در صنعت ایران با استفاده از رهیافت اقتصادسنجی"، فصلنامه اقتصاد مقاداری (فصلنامه بررسی‌های اقتصادی سابق)، دوره ۶، صص ۱۲۸-۱۰۱.
- زراءنژاد، منصور و ابراهیم انواری (۱۳۸۴)، "کاربرد داده‌های ترکیبی در اقتصادسنجی"، فصلنامه اقتصاد مقاداری (فصلنامه بررسی‌های اقتصادی سابق)، دوره ۲، صص ۵۳-۲۱.
- شهیکی تاش، محمدنبی و علی نوروزی (۱۳۹۳)، "تخمین تابع تقاضای صنعتی گاز طبیعی و سنجش شدت مصرف گاز طبیعی در صنایع انرژی‌بر ایران"، فصلنامه اقتصاد انرژی ایران، دوره ۳، صص ۱۳۰-۹۳.

فریدزاد، علی (۱۳۹۴)، "تحلیل تجزیه شدت انرژی در صنایع انرژی بر ایران با استفاده از روش شاخص لگاریتم میانگین دیویژیا با تأکید بر رویکرد زمانی دو دوره‌ای و زنجیره‌ای"، *فصلنامه اقتصاد انرژی ایران*، دوره ۴، صص ۸۷-۱۱۷.

گلی، زینت و یکتا اشرفی (۱۳۸۹)، "بررسی شدت انرژی کشور و تجزیه آن با استفاده از شاخص ایده آل فیشر در ایران"، *فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی*، دوره ۱۸، صص ۵۴-۳۵.

یاوری، کاظم و نادر دشتی (۱۳۸۸)، "تحلیل روند تغییر تکنولوژی در صنعت سیمان ایران"، *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی*، دوره ۹، صص ۱۵۷-۱۳۷.

شهیکی تاش، محمدنبی؛ نوروزی، علی و غلامعلی رحیمی (۱۳۹۲)، "صرفه‌های مقیاس، سطح تولید بهینه و کشش جانشینی در صنایع انرژی بر ایران"، *فصلنامه اقتصاد انرژی ایران*، دوره ۲، صص ۷۵-۱۰۵.

صادقی، سیدکمال و سکینه سجودی (۱۳۹۰)، "مطالعه عوامل مؤثر بر شدت انرژی در بنگاه‌های صنعتی ایران"، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، دوره ۸، صص ۱۸۰-۱۶۳.

فرج‌زاده، زکریا (۱۳۹۴)، "شدت انرژی در اقتصاد ایران: اجزا و عوامل تعیین کننده"، *فصلنامه اقتصاد انرژی ایران*، دوره ۴، صص ۸۶-۴۳.

Akkemik, K. A. (2009), "Cost function Estimates, Scale Economies and Technological Progress in the Turkish Electricity Generation Sector", *Energy Policy*, No. 37, pp. 204-213.

Berndt, E. R. and M.S. Khaled (1979), "Parametric Productivity Measurement and Choice among Flexible Functional Forms", *Journal of Political Economy*, No.87, pp. 1220-1245.

Christensen, L.R. and W.H. Greene (1976), "Economies of Scale in U.S. Electric Power Generation", *Journal of Political Economy*, No.84, pp.655-676.

Christensen, L.R.; Jorgenson, D.W. and L.J. Lau (1973), "Transcendental Logarithmic Production Function", *The Review of Economics and Statistics*, No.55. pp. 28-45.

Hicks, J. R. (1932), "Marginal Productivity and the Principle of Variation", *Economica*, No.12. pp.79-88.

Kant, S. and J.C. Nautiyal (1997), "Production Structure, Factor Substitution, Technical Change and Total Factor Productivity in the Canadian Logging Industry", *Canadian Journal of Forest Research*, No.27, pp. 701-710.

Li, J. (2009), *Master Thesis*, University of Toronto (Canada).

Ma, H.; Oxley, L. and J. Gibson (2009), "Substitution Possibilities and Determinants of Energy Intensity for China", *Energy Policy*, No. 37, pp. 1793-1804.

Ma, H.; Oxley, L.; Gibson, J. and B. Kim (2009), "Modeling China's Energy Consumption Behavior and Changes in Energy Intensity", *Environmental Modeling & Software*, No. 24, pp. 1293-1301.

Ma, H.; Oxley, L.; Gibson, J. and B. Kim (2008), "China's Energy Economy: Technical Change Factor Demand and Inter-factor/Inter-fuel Substitution", *Energy Economy*, No. 30, pp. 2167-2183.

Shephard, R. S. (1970), *Theory of Cost and Production Functions*. Princeton University Press, Princeton, N.J.

Steir, J. C. (1980), "Technological Adaptation to Resource Scarcity in the U.S. Lumber Industry", *Western Journal of Agricultural Economics*, No.5, pp.165-175.

Welsch, H. and C. Ochs (2005), "The Determinants of Aggregate Energy Use in West Germany: Factor Substitution, Technological Change and Trade", *Energy Economics*, No. 27, pp. 93-111.

Zha, D.; Zhou, D. and N. Ding (2012), "The Determinants of Aggregated Electricity Intensity in China", *Applied Energy*, No. 97, pp. 150-156.

Okajima, S. and H. Okajima (2013), "Analysis of Energy Intensity in Japan", *Energy Policy*, No. 61, pp.574-586.

Zellner, A. (1962), "An Efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regressions and Tests for Aggregation Bias", *Journal of the American Statistical Association*, No. 58, pp. 977-992.

