

ارزیابی پارامتریک کارایی مصرف برق و تجزیه شدت مصرف برق در بخش صنعت ایران^۱

چکیده

هدف از این پژوهش تجزیه شدت برق^۲ بر اساس رهیافت پارامتریک (تابع هزینه ترانسلوگ^۳) و همچنین بررسی ارتباط میان تغییر تکنولوژی و شدت برق در صنایع کارخانه‌ای در طی سالهای ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۱ می‌باشد. نتایج محاسبه شدت برق حاکی از آن است که ۱۸ صنعت دارای مقادیر شدت برق کمتر و برابر با مقدار متوسط بخش صنعت (۰/۴۰ درصد) بوده و شدت برق مرتبط با این صنایع در دامنه ۰/۳۳ تا ۰/۴۰ درصد قرار دارد. در این گروه، "صنعت تولید وسایل نقلیه و موتور" 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 تکنولوژی و تغییرات شدت برق کل صنعت حاکی از آن است که هر دو شاخص روندی افزایشی در طی دوره داشته و با توجه به اثر مثبت و بزرگ جانشینی، رشد تکنولوژی (اثر تکنولوژی) فاکتور مهم در تعیین شدت برق به شمار نمی‌رود. تجزیه شدت برق موید آن است که اثر تکنولوژی و بودجه‌ای موجب افزایش کارایی مصرف برق شده و اثر جانشینی و تولیدی موجب کاهش کارایی نهاده برق مصرفی صنعت می‌گردد.

کلمات کلیدی: شدت برق، تغییرات تکنولوژی، صنایع کارخانه‌ای، تابع هزینه ترانسلوگ

طبقه‌بندی JEL: L۶۰, D۲۴, L۹۴

^۱ - علی نوری

^۲. Decompose Electricity Intensity

^۳. Translog Cost Function

The parametric assessment of the efficiency of electricity consumption and decomposition of electricity consumption intensity in Iranian industrial sector

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 ۲۰۰۵-۲۰۱۲. The results of calculation of electricity intensity imply that ۱۸ industries have electricity intensity values of less than or equal to the average value of industrial sector (۰,۴۰ percent) and range from ۰,۳۳ to ۰,۴۰ percent. In this group, “manufacture of motor vehicles” with relative production share of ۳۳,۸۱٪ and “manufacture of basic metal” with relative electricity consumption share of ۴۶,۰۹٪ have the highest share of electricity production and consumption, respectively. Investigation of annual trend of technology changes and electricity intensity changes of whole industry imply that both indices have had an increasing trend during the studied period and given 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 effect lead to increase in the efficiency of electricity consumption and the substitution and production effect lead to decline in the efficiency of the consumed electricity input of the industry.

Key Words: Electricity Intensity, Technology Change, Manufacturing Industries, Translog Cost Function.

JEL: L۶۰, D۲۴, L۹۴

به منظور بررسی و تحلیل کارایی مصرف انرژی و به طور مشخص نهاده برق، از شاخص‌های متعددی می‌توان استفاده نمود. بهره‌وری بکارگیری نهاده برق و شدت برق از جمله شاخص‌های معتبر در بررسی کارایی مصرف انرژی می‌باشد. 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 به طور خلاصه شدت برق می‌نامند. بر این اساس، با توجه به رابطه مصرف شدت انرژی، تغییرات در شدت برق را از دو ناحیه می‌توان بررسی و تحلیل نمود؛ سطح تولید و میزان مصرف. حجم و مقدار بکارگیری از هر نهاده در پروسه تولید، بستگی به قیمت نهاده مورد نظر، مقدار و قیمت دیگر نهاده‌ها، تکنولوژی تولید کارخانه و در نهایت سطح تولید دارد. از میان انواع نهاده‌ها، نهاده انرژی و به طور مشخص نهاده برق، به منظور راه‌اندازی ابزارآلات و تجهیزات کارخانه‌ای بکار می‌رود و به همین دلیل به نسبت بسیار زیادی به تکنولوژی تجهیزات و نوع تجهیزات بکار رفته وابسته می‌باشد. به مفهومی دیگر، بر این اساس که تجهیزات انرژی‌بر باشد و یا به عبارتی نیازمند مصرف نهاده برق بالایی باشد، به همان میزان شدت برق و میزان مصرف برق نسبت به سطح تولید افزایش پیدا می‌کند و کارایی برق کاهش می‌یابد. با توجه به مطالب یاد شده، تحلیل ارتباط میان شدت برق مصرفی و تغییرات تکنولوژیکی، به منظور درک هرچه بهتر تغییرات شدت برق، از اهمیت خاصی برخوردار است.

یکی از راهکارهای اساسی به منظور محاسبه شدت برق و تحلیل مقادیر شاخص در بنگاه‌ها و صنایع گوناگون، اتخاذ راه حلی موثر و صحیح، به منظور تجزیه شدت برق به کلیه عوامل موثر بر مصرف برق می‌باشد و از میان شاخصهای مختلف، بهره‌گیری از تابع هزینه، با توجه به اینکه این تابع کلیه اجزای بکار رفته در فرایند تولید را داراست، رویکرد قابل قبول می‌باشد. بهبود کارایی انرژی و شدت انرژی مصرفی صنایع، با تحلیل و بررسی تک تک اجزای موثر بر شدت انرژی با کیفیت و دقت بالاتری صورت می‌گیرد و شناخت اثرات متغیرهایی همچون تکنولوژی تولید و مقیاس بر شدت انرژی، موجب تسریع در نیل به هدف بهبود کارایی انرژی شده و به نوعی راهنمای موثری برای مدیران اجرایی صنایع در برنامه‌ریزی میان‌مدت و بلندمدت ارتقای کارایی انرژی به شمار می‌رود.

افزایش در بهره‌وری و کارایی عوامل تولید و به طور مشخص برق، بر اساس رویکرد کاهش میزان شدت برق، راه حلی مناسب و شایسته جهت بالا بردن کمیت و کیفیت ارائه خدمات و تولیدات صنایع و به نوعی موجب کاهش هزینه تولید بخش صنعت می‌گردد. با توجه به افزایش روزافزون تکنولوژی تجهیزات و بکارگیری از تکنیک‌های مدرن و پیشرفته در ترکیب و بهره‌برداری از نهاده‌های تولید، تحقیق و توسعه و کاربرد ساختار و دستگاه‌های با تکنولوژی بالا و دیگر مسائل اقتصادی موثر بر افزایش و ارتقای سطح بهره‌وری صنایع، اهمیتی دوچندان پیدا می‌کند و نیازمند توجهی خاص به این امر می‌باشد.

هدف اصلی این تحقیق ارزیابی شدت برق صنایع کارخانه‌ای و تجزیه شدت برق بر اساس رهیافت تابع هزینه ترانسلوگ است. در راستای نیل به این هدف پنج بخش گردآوری شده است. پس از بخش نخست و مقدمه، در بخش دوم به ارائه پیشینه تحقیق در زمینه بررسی شاخص شدت انرژی و حاملهای انرژی پرداخته می‌شود. در بخش سوم این پژوهش، روش تحقیق و به طور مشخص نحوه محاسبه شاخص‌های شدت برق، تغییرات تکنولوژی و تورش تکنولوژی تشریح می‌گردد. در بخش چهارم، نتایج بدست آمده از تخمین پارامترها و نتایج محاسبه انواع شاخص‌های شدت برق، تغییرات تکنولوژی و همچنین تجزیه شدت برق به چهار اثر بودجه‌ای، جانشینی، تولیدی و تکنولوژی، ذکر می‌گردد و ارتباط میان رشد تکنولوژی و شاخص شدت برق مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. در نهایت در بخش انتهایی به جمع بندی نتایج تحقیق پرداخته شده است.

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 به بررسی شدت گاز طبیعی در صنایع با سهم مصرف بالای انرژی (صنایع انرژی‌بر) پرداخته شده است. بر این اساس تاکنون مطالعه‌ای در خصوص بررسی شدت (کارایی) حامل انرژی برق بخش صنعت صورت نگرفته است. از دیگر مشخصه‌های تحقیق حاضر بررسی شدت برق و تجزیه شدت برق بر اساس رویکرد پارامتریک و تابع هزینه هست که می‌توان به نتایج بهتری در قیاس با سایر روشها دست یافت.

۱. مطالعات داخلی

گلی و اشرفی (۱۳۸۹) به محاسبه مقادیر شدت انرژی و تجزیه شاخص شدت انرژی در چهار بخش صنعت، کشاورزی، حمل و نقل و خدمات در دوره ۱۳۶۰ تا ۱۳۸۵ پرداختند و به منظور محاسبه شدت انرژی از شاخص ایده‌آل فیشر بهره گرفتند. بر اساس نتایج، بخش کشاورزی دارای کمترین میزان شدت انرژی بوده و بخش حمل و نقل با اختلاف بسیار زیادی نسبت به سایر بخش‌ها، بالاترین مقدار شدت انرژی را به خود اختصاص داده است. بخش صنعت با تولید متوسط ۳۴ درصد از کل ارزش افزوده اقتصاد ایران، همواره شدت انرژی در دامنه مقادیر ۱ تا ۲ داشته است.

صادقی و سجودی (۱۳۹۰) به بررسی رابطه میان شدت انرژی و فاکتورهای مختلف در بخش صنعت طی دوره ۸۶-۱۳۷۴ پرداختند. آنها شاخص شدت انرژی را بر متغیرهایی همچون اندازه بنگاه، شدت سرمایه فیزیکی، مخارج تحقیق و توسعه، نوع مالکیت بنگاه، دستمزد، نسبت مخارج تعمیرات ماشین‌آلات به فروش، رگرس نمودند. نتایج تخمین مدل به این شرح بوده که متغیرهای شدت سرمایه فیزیکی و دستمزد رابطه مثبتی با شدت انرژی دارند. در میان 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^۴ و شاخص میانگین حسابی دیویژیا^۵ به تحلیل شدت انرژی‌بری صنایع کارخانه‌ای ایران طی سالهای ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۶ پرداختند. نتایج تحقیق به این ترتیب بوده 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 موثری در تعیین شدت انرژی دارند.

شهیکی و نوروزی (۱۳۹۳) به تحلیل پارامتریک ساختار انرژی و سنجش عوامل موثر بر شدت کوتاه‌مدت و بلندمدت گاز طبیعی صنایع انرژی‌بر ایران پرداختند. 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 می‌باشد و صنایع انرژی‌بر در مصرف گاز طبیعی تقریباً کارا عمل نموده‌اند. ارزیابی روند شدت گاز طبیعی حاکی از این مساله می‌باشد که شدت گاز طبیعی در کوتاه‌مدت و بلندمدت کاهش پیدا کرده است.

۲.۲. مطالعات خارجی

کیم و همکاران^۶ (۲۰۰۸) به بررسی و تحلیل ساختار هزینه صنایع کشور چین، بررسی شدت انرژی با کمک تابع هزینه ترانسلوگ و به طور مشخص به بررسی کشش درون نهاده‌ای انرژی در دوره ۲۰۰۴ - ۱۹۹۵ پرداختند. تغییرات شدت انرژی در طی دوره مقداری مثبت و برابر با ۷/۲۷ درصد بدست آمده است. از میان ۴ جزء اصلی اثرگذار بر روی شدت انرژی، تکنولوژی تولید مهمترین اثر را بر روی شدت انرژی دارد و اثرات جانشینی، تولیدی و تکنولوژی به ترتیب (به طور متوسط) موجب رشد ۰/۴۳، ۲/۵۱ و ۲۳/۶۸ درصدی شده و از سویی دیگر، اثر بودجه‌ای موجب کاهش ۱۹/۱۳ درصدی شدت انرژی می‌شود.

گیبسون و همکاران^۷ (۲۰۰۹) در پژوهش خود از رهیافت تابع هزینه ترانسلوگ بهره گرفته و عوامل اثرگذار بر روی شدت انرژی انرژی در دوره ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۴ پرداختند. نتایج بدست آمده از تحقیق بدین ترتیب بوده است که، شدت انرژی در سطح کل کشور چین شاهد افزایشی ۶/۹ درصدی در طی دوره بوده و در این میان ۲ جزء بودجه‌ای و تکنولوژی، بزرگ‌ترین اثر را بر روی شدت انرژی دارا هستند. اثر بودجه‌ای موجب کاهش شدت انرژی به میزان ۱۰/۱ درصد شده و تغییرات تکنولوژی تولید به طور متوسط، افزایش ۱۹/۶ درصدی شدت انرژی را به دنبال دارد.

ژا و همکاران^۸ (۲۰۱۲) به بررسی شدت انرژی در صنعت برق کشور چین پرداختند. آنها با بهره‌گیری از رویکرد تابع هزینه ترانسلوگ تجمعی^۹ و تجزیه شدت انرژی به سه اثر بودجه‌ای، اثر جانشینی و اثر تکنولوژی، به بررسی شدت انرژی طی دوره

۴. Laspeyres Index

۵. Divisia

۶. Kim, Ma, Oxley and Gibson (۲۰۰۸)

۷. Gibson, Ma and Oxley (۲۰۰۹)

۸. Zha, Zhou, ding (۲۰۱۲)

۹. Translog Aggregate Cost Function

۱۹۸۵ تا ۲۰۰۷ پرداختند. بر اساس نتایج، از میان اجزای اثرگذار بر شدت انرژی، اثر بودجه‌ای مثبت بوده و بررسی جزء تکنولوژی در رابطه شدت انرژی، دلالت بر آن دارد که در طی دوره همواره اثری منفی و کاهشی بر شدت انرژی دارد.

اوکاجیما و همکاران^{۱۰} (۲۰۱۳) به تجزیه شاخص شدت انرژی در کشور ژاپن پرداختند و از راهکار شاخص ایده‌آل فیشر برای تجزیه شدت انرژی طی دوره ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۴ بهره بردند. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که شدت انرژی، اثر ساختاری و اثر شدتی از سال ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۰ کاهش پیدا کرده و این روند نزولی در دو متغیر شدت انرژی و اثر شدتی با آهنگ بالاتری نسبت به اثر ساختاری صورت گرفته است. طی سالهای ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۴، 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

هدف از این پژوهش، بررسی تکنولوژی تولید و شاخص شدت برق بر اساس رهیافت پارامتریک و راهکار تابع هزینه می‌باشد و با توجه به اهداف تحقیق، نیاز به بهره‌گیری نوعی از انواع توابع هزینه می‌باشد که قابلیت بررسی و محاسبه شاخص‌های مدنظر را دارا باشد. به منظور بررسی عوامل موثر بر شاخص تغییرات تکنولوژی، نیاز به بررسی ارتباط میان شاخص تکنولوژی با سطح تولید، قیمت نهاده‌ها و خود تکنولوژی می‌باشد. از سوی دیگر، به جهت تجزیه شدت برق صنایع و تحلیل کلیه اجزای شدت برق، لازم است تا به ارتباط میان مصرف نهاده برق با سطح تولید، تکنولوژی تولید، قیمت نهاده‌ها و در آخر قیمت خود برق پرداخته شود. در میان انواع توابع انعطاف‌پذیر، ساختار و فرم تابع هزینه ترانسلوگ به گونه‌ای می‌باشد که روابط متقابل تکنولوژی با سطح تولید و نهاده‌ها (جهت محاسبه تغییرات تکنولوژی)، 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 و همکاران^{۱۱}، ۱۹۷۳). فرم کلی تابع هزینه صنایع به صورت زیر می‌باشد:

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

در رابطه بالا هزینه تولید به ترتیب تابعی است 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 تکنولوژی تولید (T). 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.

۱۰. Shigeharo Okajima and Hiroko Okajima (۲۰۱۳)

۱۱. Christensen, Jorgenson and Lau (۱۹۷۳)

برنت و خالد^{۱۲} (۱۹۷۹) با به کارگیری یک تابع هزینه باکس-کاکس^{۱۳} نشان دادند که تابع ترانسلوگ در حقیقت حالت خاصی از تابع باکس-کاکس می‌باشد. فرم کلی تابع هزینه باکس-کاکس به شرح زیر می‌باشد (برنت و خالد، ۱۹۷۹):

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

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

$$b) \beta_K(Q, P) = \beta_K + \sum_{I=1}^K \frac{\theta_{KI}}{\gamma} \text{Ln} Q_I + \sum_{i=1}^N \phi_{ki} \text{Ln} P_i \quad (4)$$

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

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

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:

$$(a) \alpha_i = 1 + \gamma \alpha \quad (7)$$

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

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

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

$$C = \left[\frac{\gamma}{\gamma} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \delta_{ij} P_i^{\frac{\gamma}{\gamma}} P_j^{\frac{\gamma}{\gamma}} \right]^{\frac{1}{\gamma}} \left[\prod_{k=1}^K Q_k^{\beta_k(Q,P)} \right] \quad (10)$$

برای بدست آوردن تابع هزینه ترانسلوگ، محدودیت زیر بر رابطه نهایی تابع باکس-کاکس (رابطه فوق) وارد می‌شود.

۱۲. Berndt and Khaled (۱۹۷۹)

۱۳. Box-Cox Cost Function

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

با مشتق‌گیری از رابطه نهایی تابع هزینه باکس-کاکس نسبت به γ ، زمانی که به سمت صفر میل می‌کند تابع هزینه ترانسلوگ بدست خواهد آمد.

$$\begin{aligned} \ln C = & \alpha + \alpha_Q \ln Q + \frac{1}{\gamma} \alpha_{QQ} (\ln Q)^\gamma + \sum_{i=1}^n \alpha_i \ln P_i + \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \beta_{ij} \ln P_i \ln P_j \\ & + \sum_{i=1}^n \beta_{iQ} \ln P_i \ln Q + u \end{aligned} \quad (12)$$

از راهکار سیستم معادلات به منظور تخمین پارامترهای تابع هزینه ترانسلوگ استفاده می‌شود (دشتی و همکاران، ۱۳۸۸). سیستم معادلات شامل تابع هزینه ترانسلوگ و δ تابع سهم تقاضای عوامل تولید نیروی کار، سرمایه، مواد اولیه، برق و سایر اجزای انرژی می‌باشد.

$$\begin{aligned} \ln TC = & \alpha + \alpha_Q \ln Q + \frac{1}{\gamma} \alpha_{QQ} (\ln Q)^\gamma + \sum_{i=1}^{\delta} \alpha_i \ln P_i + \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^{\delta} \sum_{j=1}^{\delta} \beta_{ij} \ln P_i \ln P_j \\ & + \sum_{i=1}^{\delta} \beta_{iQ} \ln P_i \ln Q + \gamma_T T + \frac{1}{\gamma} \gamma_{TT} T^\gamma + \sum_{i=1}^{\delta} \gamma_{iT} \ln P_i T + \gamma_{QT} \ln QT \\ & + u, \quad i, j = L, K, M, E, O \end{aligned} \quad (13)$$

توابع سهم هزینه از تابع ترانسلوگ استخراج می‌گردد. با توجه به لم شفارد، از تابع ترانسلوگ نسبت به قیمت نهاده‌ها مشتق گرفته می‌شود (شفارد^{۱۴}، ۱۹۷۰). فرم کلی توابع سهم هزینه نهاده به صورت زیر است (یاوری و دشتی، ۱۳۸۸):

$$S_i = \frac{\partial \ln TC}{\partial \ln P_i} = \frac{\partial TC}{\partial P_i} \cdot \frac{P_i}{TC} = \frac{P_i X_i}{TC} = \alpha_i + \sum_{j=1}^{\delta} \beta_{ij} \ln P_j + \beta_{iQ} \ln Q + \gamma_{iT} T, \quad i, j = L, K, M, E, O \quad (14)$$

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

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^{۱۵}، ۱۹۷۶).

$$\sum_{i=1}^{\delta} \alpha_i = 1, \quad \sum_{i=1}^{\delta} \beta_{iQ} = 0, \quad \sum_{i=1}^{\delta} \gamma_{iT} = 0, \quad \sum_{j=1}^{\delta} \beta_{ij} = \sum_{i=1}^{\delta} \beta_{ji} = 0, \quad i, j = L, K, M, E, O \quad (15)$$

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

۱۴. Shephard (۱۹۷۰)

۱۵. Christensen, Greene (۱۹۷۶)

با تقسیم نمودن رابطه سهم هزینه نهاده برق بر سطح تولید بنگاه (صنعت) می توان شدت برق را محاسبه نمود. رابطه شدت برق به شرح زیر می باشد (گیبسون و همکاران، ۲۰۰۹):

$$\begin{aligned}
 e &= \frac{E}{Q} = \left(\frac{P_Q}{P_E} \right) S_E \\
 &= \frac{P_Q}{P_E} (\alpha_E + \beta_{EE} \ln P_E + \beta_{EL} \ln P_L + \beta_{EK} \ln P_K + \beta_{EM} \ln P_M + \beta_{EO} \ln P_O + \beta_{EQ} \ln Q \\
 &\quad + \gamma_{ET} T) \\
 &= \left[\frac{P_Q}{P_E} \alpha_E \right] + \left[\frac{P_Q}{P_E} \beta_{EE} \ln P_E \right] + \left[\frac{P_Q}{P_E} \beta_{EL} \ln P_L \right] + \left[\frac{P_Q}{P_E} \beta_{EK} \ln P_K \right] + \left[\frac{P_Q}{P_E} \beta_{EM} \ln P_M \right] \\
 &\quad + \left[\frac{P_Q}{P_E} \beta_{EO} \ln P_{GO} \right] + \left[\frac{P_Q}{P_E} \beta_{EQ} \ln Q \right] + \left[\frac{P_Q}{P_E} \gamma_{ET} T \right] \\
 &= e_E + e_{EE} + e_{EL} + e_{EK} + e_{EM} + e_{EO} + e_{EQ} + e_{ET}
 \end{aligned} \tag{17}$$

اجزای اثرگذار بر شدت برق صنایع، به چهار بخش، اثر بودجه‌ای، اثر جانشینی، اثر تولیدی و اثر تکنولوژی، 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 می‌نماید. به عبارتی دیگر 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 روی مقادیر شدت برق، برابر با اثرات جانشینی می‌باشد.

اثر تولیدی (e_{EQ}): چنانچه مقدار سطح تولید و مقیاس تولید بنگاه تغییر کند، مقادیر بکارگیری از نهاده‌های تولید و به طور مشخص مقدار بکارگیری از نهاده برق، تغییر می‌کند. عبارت e_{EQ} در رابطه شدت برق، به محاسبه اثر تغییر مقدار تولید بر روی مقدار شدت برق صنایع می‌پردازد.

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

به منظور محاسبه برآیند (مجموع) تغییرات شدت برق ناشی از مجموعه عوامل موثر بر این شاخص در طی زمان، از رابطه زیر استفاده می‌شود (اوچسن و ولج^{۱۶}، ۲۰۰۵):

$$\frac{\Delta e}{e} = \sum_{i=1}^{\lambda} \frac{\Delta e_i}{e_i} \cdot \frac{e_i}{e}, \quad i = E, EE, EL, EK, EM, EO, EQ, ET \quad (18)$$

عوامل موثر بر تغییرات تکنولوژی، در نهایت بر روند تغییرات هزینه تولید در طی زمان، اثرگذار می‌باشند. به عبارت دیگر چنانچه تغییرات تکنولوژی مثبت باشد، هزینه تولید صنعت کاهش می‌یابد و چنانچه تغییرات تکنولوژی صنعت، مقداری منفی محاسبه گردد و صنعت دچار افت تکنولوژی^{۱۷} شود، هزینه تولید بنگاه در طی زمان افزایش پیدا می‌کند (لی^{۱۸}، ۲۰۰۹).

بر اساس رهیافت پارامتریک و محاسبه تغییرات تکنولوژیکی بر اساس راهکار تابع هزینه، نرخ تغییرات تکنولوژی تولید به صورت نسبت درصد تغییر در هزینه تولید به تغییر روند زمانی قابل بیان است (خداداد کاشی، ۱۳۸۹). باتوجه به تابع هزینه ترانسلوگ، نرخ تغییر تکنولوژی به فرم زیر می‌باشد (آکمیک^{۱۹}، ۲۰۰۹):

$$\dot{ITC} = \frac{-\partial \ln TC}{\partial T} = - \left(\gamma_T + \gamma_{TT}T + \sum_{i=1}^5 \gamma_{iT} \ln P_i + \gamma_{QT} \ln Q \right), \quad i = L, K, M, E, O \quad (19)$$

مقادیر منفی کل رابطه تکنولوژی تولید (با اعمال ضریب منفی در رابطه) بیانگر افزایش در هزینه تولید بنگاه در طی زمان (جابجایی منحنی هزینه رو به بالا) و مقادیر مثبت رابطه تکنولوژی تولید (با اعمال ضریب منفی در رابطه) بیانگر کاهش در هزینه تولید بنگاه در طی زمان (جابجایی منحنی هزینه متوسط رو به پایین) می‌باشد (هیکس^{۲۰}، ۱۹۳۲).

تورش تکنولوژی نهاده به صورت تغییرات در سهم هزینه نهاده از کل هزینه تولید، بدلیل تغییرات تکنولوژی تعبیر می‌شود. چنانچه تکنولوژی تولید 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 تکنولوژی تولید خنثی نباشد (رد فرضیه تکنولوژی خنثی هیکس)، تغییر در تکنولوژی، موجب تورش در سهم نهاده‌ها می‌شود (استیر^{۲۱}، ۱۹۸۰). رابطه تورش تکنولوژی:

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

۴. نتایج تحقیق

۱۶. Ochsens and Welsch (۲۰۰۵)

۱۷. Technology Deterioration

۱۸. Li (۲۰۰۹)

۱۹. Akkemik (۲۰۰۹)

۲۰. Hicks (۱۹۳۲)

۲۱. Stier (۱۹۸۰)

بخش اقتصادی مورد مطالعه در این تحقیق، بخش صنعت (کلیه صنایع فعال در بخش صنعت) می‌باشد. بر اساس طبقه‌بندی بین‌المللی کالاها و خدمات، صنایع ایران، به ۲۳ صنعت بر اساس کد ۲ رقمی تقسیم می‌شود و بررسی تمامی شاخص‌ها بر اساس 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 بکارگیری نهاده‌های نیروی کار، سرمایه، مواد اولیه، برق و سایر اجزای انرژی و همچنین داده‌های تکنولوژی تولید کلیه صنایع کد ۲ رقمی طبقه‌بندی کالاها و خدمات در دوره ۹۱-۱۳۸۴ می‌باشد.

نتایج تخمین پارامترهای معادله اصلی سیستم معادلات، تابع هزینه ترانسلوگ در جدول شماره ۱ گزارش شده است. به منظور تخمین پارامترهای کارا برای تابع هزینه ترانسلوگ و معادلات سهم هزینه نیروی کار، مواد اولیه، برق و سایر اجزای انرژی^{۲۲} (به منظور محاسبه و برآورد شاخص‌های شدت برق، تورش تکنولوژی نهاده و تغییرات تکنولوژی 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^{۲۳}) استفاده شده است.

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

جدول ۱- نتایج تخمین پارامترها

پارامتر	برآورد	آماره t	انحراف معیار	پارامتر	برآورد	آماره t	انحراف معیار
α_0	-۱/۰۵۴۴	-۰/۲۲۵۸	۴/۶۶۷۷	β_{MO}	۰/۰۰۰۶	۰/۷۰۶۶	۰/۰۰۰۸
α_Q	۱/۰۰۵۳	۳/۶۸۸۳	۰/۲۷۲۵	β_{MK}^*	-۰/۰۰۱۳	-	-
α_{QQ}	۰/۰۰۲۰	۰/۱۸۶۳	۰/۰۱۰۶	β_{EO}	۰/۰۰۲۸	۰/۸۷۳۸	۰/۰۰۳۲
α_L	۰/۷۹۰۰	۳/۶۷۱۹	۰/۲۱۵۱	β_{EK}^*	۰/۰۰۰۴	-	-
α_M	-۰/۴۹۷۲	-۳/۱۰۸۳	۰/۱۵۹۹	β_{OK}^*	۰/۰۰۰۴	-	-
α_E	-۰/۱۰۳۵	-۰/۸۶۵۱	۰/۱۱۹۶	β_{LQ}	-۰/۰۳۲۱	-۴/۶۸۴۰	۰/۰۰۶۸
α_O	۰/۲۱۱۸	۲/۲۴۲۰	۰/۰۹۴۴	β_{MQ}	۰/۰۱۲۸	۲/۲۷۶۸	۰/۰۰۵۶
α_K^*	۰/۵۹۹۰	-	-	β_{EQ}	۰/۰۰۷۸	۲/۲۲۸۰	۰/۰۰۳۴
β_{LL}	۰/۰۲۵۸	۳/۳۰۹۴	۰/۰۰۷۸	β_{OQ}	-۰/۰۰۲۵	-۱/۰۱۹۰	۰/۰۰۲۴
β_{MM}	۰/۰۰۴۶	۱/۶۷۹۶	۰/۰۰۲۷	β_{KQ}^*	۰/۰۱۴۰	-	-
β_{EE}	۰/۰۱۰۹	۲/۲۰۸۸	۰/۰۰۴۹	γ_T	-۰/۱۰۹۶	-۰/۷۵۷۴	۰/۱۴۴۷

۲۲. به منظور عدم هم خطی در سیستم معادلات، معادله سهم هزینه سرمایه حذف شده و پارامترهای این تابع از روش غیر مستقیم (شرط همگنی) محاسبه می‌شود.

۲۳. Iterative Seemingly Unrelated Regressions

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							

ماخذ: یافته‌های تحقیق (*) پارامترهای تابع سهم هزینه سرمایه از روش غیر مستقیم (شرط همگنی) محاسبه می‌شوند.

توابع سهم هزینه به همراه تابع هزینه ترانسلوگ، در قالب سیستم معادلات همزمان و با روش رگرسیون‌های به ظاهر نامرتبب تکراری برآورد شده‌اند. نتایج تخمین پارامترهای توابع سهم نهاده نیروی کار، مواد اولیه، برق و سایر اجزای انرژی به روش مستقیم و همچنین نتایج محاسبه غیر مستقیم پارامترهای تابع تقاضای سرمایه، در جدول زیر گزارش شده است.

جدول ۲- نتایج تخمین پارامترهای توابع سهم تقاضای نهاده

معادلات تقاضای عوامل تولید					
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	قیمت 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 اجزای انرژی
۰/۰۱۴۰	-۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۷۸	۰/۰۱۲۸	-۰/۰۳۲۱	ارزش تولید
۰/۰۰۰۶	-۰/۰۰۰۵	-۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۸۴	-۰/۰۰۸۲	تکنولوژی
-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	
	$R^2 = ۰/۲۱$	$R^2 = ۰/۹۷$	$R^2 = ۰/۷۴$	$R^2 = ۰/۷۹$	
	$\bar{R}^2 = ۰/۲۰$	$\bar{R}^2 = ۰/۹۷$	$\bar{R}^2 = ۰/۷۳$	$\bar{R}^2 = ۰/۷۸$	

ماخذ: یافته‌های تحقیق

۱.۴. تورش تکنولوژی نهاده

روند تغییرات تکنولوژی دارای اثرات متفاوتی بر روی اجزای موثر بر پروسه و فرایند تولید صنایع می‌باشد. همانگونه که پیش‌تر عنوان شد، چنانچه تغییرات تکنولوژی موجب تغییر در ترکیب بهینه نهاده‌های تولید شود و اثری خنثی بر روی نهاده‌ها نداشته باشد، تورش ناشی از تغییر تکنولوژی موجب افزایش و یا کاهش در بکارگیری نهاده می‌شود. بر اساس نتایج جدول ۱ و

پارامترهای بدست آمده از رابطه متقابل نهاده‌ها با متغیر تکنولوژی تولید ($\gamma_{KT}, \gamma_{LT}, \gamma_{MT}, \gamma_{ET}, \gamma_{OT}$)، تغییرات تکنولوژی در صنایع، برای دو نهاده سرمایه و مواد اولیه فرایندی نهاده‌بر بوده و همزمان با رشد تکنولوژی، موجب افزایش در مقدار بکارگیری از دو نهاده مذکور گشته و در نهایت، بهره‌وری نهایی جزئی دو نهاده کاهش می‌یابد. در سوی مقابل، اثر فرایند تغییرات رو به مثبت تکنولوژی بر روی نیروی کار، برق و سایر اجزای انرژی، موجب ذخیره و کاهش در این سه نهاده می‌شود. اثرات تورش تکنولوژی، 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 تکنولوژی بر تغییر هزینه کل ناشی از تورش منفی برق بسیار کوچک بوده و ترکیب بهینه نهاده‌های تولید را دستخوش تغییری اندک می‌نماید. در میان صنایع مختلف، صنعت تولید ذغال کک (کد ۲۳) و صنعت تولید فلزات اساسی (کد ۲۷)، در طی متوسط دوره، با مقدار تورش $-0/8355$ و $-0/196$ ، به ترتیب شاهد بیشترین و کمترین مقدار ذخیره و کاهش بهره‌گیری از نهاده برق، به ازای رشد تکنولوژی بوده‌اند. بر اساس رابطه تورش تکنولوژی (β_{IT}^i)، هرچه سهم نهاده در صنعت کوچکتر باشد، اثرات تورش ناشی از تکنولوژی بر نهاده مورد نظر، بزرگتر و با شدت بیشتری می‌باشد. به عبارتی به ازای تغییری واحد در تکنولوژی تولید، هرچه سهم نهاده کوچکتر باشد، در قیاس با دیگر نهاده‌ها، تغییر و مقدار تورش بیشتری را تجربه می‌کند.

جدول ۳- تورش تکنولوژی نهاده‌های تولید صنایع

کد	نام صنعت	نیروی کار	سرمایه	مواد اولیه	برق	سایر اجزا انرژی
۱۵	مواد غذایی و آشامیدنی	-0/0557	0/0294	0/0104	-0/1283	-0/0229
۱۶	تولید محصولات از توتون	-0/0240	0/0240	0/0136	-0/2245	-0/0435
۱۷	تولید منسوجات	-0/0345	0/0209	0/0119	-0/0366	-0/0225
۱۸	تولید پوشاک	-0/0328	0/0245	0/0121	-0/0546	-0/0211
۱۹	دباجی و عمل آوردن چرم	-0/0478	0/0235	0/0107	-0/0992	-0/0396
۲۰	تولید محصولات چوبی	-0/0283	0/0216	0/0128	-0/0667	-0/0232
۲۱	تولید محصولات کاغذی	-0/0495	0/0210	0/0110	-0/0396	-0/0130
۲۲	چاپ و تکثیر رسانه‌های ضبط شده	-0/0281	0/0081	0/0138	-0/0637	-0/0316
۲۳	تولید ذغال کک	-0/0363	0/0542	0/0114	-0/8355	-0/0196
۲۴	تولید محصولات شیمیایی	-0/0587	0/0213	0/0106	-0/1318	-0/0129
۲۵	محصولات پلاستیکی	-0/0482	0/0216	0/0108	-0/0512	-0/0265
۲۶	سایر محصولات کانی غیر فلزی	-0/0311	0/0098	0/0148	-0/0255	-0/0050
۲۷	تولید فلزات اساسی	-0/0551	0/0167	0/0114	-0/0196	-0/0074
۲۸	محصولات فلزی بجز ماشین‌آلات	-0/0426	0/0167	0/0112	-0/0906	-0/0309
۲۹	تولید ماشین‌آلات و تجهیزات	-0/0349	0/0243	0/0117	-0/0934	-0/0296
۳۰	تولید ماشین‌آلات اداری	-0/0447	0/0563	0/0105	-0/2218	-0/1039
۳۱	تولید ماشین‌آلات تولید برق	-0/0504	0/0314	0/0104	-0/1208	-0/0546

۰/۰۹۰۳-	۰/۱۷۸۲-	۰/۰۱۰۱	۰/۰۵۸۵	۰/۰۵۴۸-	تولید تلویزیون و وسایل ارتباطی	۳۲
۰/۰۳۸۱-	۰/۰۸۳۲-	۰/۰۱۱۷	۰/۰۲۳۹	۰/۰۳۴۰-	تولید ابزار پزشکی و اپتیکی	۳۳
۰/۰۹۱۰-	۰/۲۲۵۶-	۰/۰۰۹۹	۰/۰۲۶۵	۰/۰۶۸۶-	تولید وسایل نقلیه و موتوری	۳۴
۰/۰۴۴۷-	۰/۰۹۵۴-	۰/۰۱۱۸	۰/۰۱۳۱	۰/۰۳۶۶-	تولید سایر وسایل حمل و نقل	۳۵
۰/۰۲۲۷-	۰/۰۷۹۶-	۰/۰۱۱۹	۰/۰۲۷۱	۰/۰۳۳۶-	تولید مبلمان و مصنوعات	۳۶
۰/۰۲۵۸-	۰/۰۴۱۹-	۰/۰۱۰۶	۰/۰۴۸۸	۰/۰۴۵۸-	بازیافت	۳۷
۰/۰۲۱-	۰/۰۶۶۴-	۰/۰۱۱۴	۰/۰۲۱۳	۰/۰۳۹۶-	کل صنعت	-

ماخذ: یافته‌های تحقیق

۲.۴. نرخ تغییرات تکنولوژی

بهره‌گیری از شاخص تغییرات تکنولوژی دو هدف روند تغییرات تکنولوژی و یا میزان بهره‌گیری صنایع از مزیت تکنولوژی و همچنین تغییرات هزینه واحد پروسه تولید محصول را تامین می‌نماید و از طریق این شاخص اقتصادی می‌توان به تحلیل و مقایسه صنایع از منظر کارایی ساختار تولید و بکارگیری سطح تکنولوژی پرداخت. بر اساس نتایج محاسبه تغییرات تکنولوژی در سطح متوسط داده‌ها، بخش صنعت در طی دوره دارای مقدار تغییرات تکنولوژی مثبت معادل با ۰/۹۶ درصد می‌باشد و بر این اساس هزینه کل تولید بخش صنعت در طی دوره ۹۱-۱۳۸۴، به طور متوسط، به میزان ۰/۹۶ درصد کاهش پیدا می‌کند. از میان اجزای اثرگذار بر تغییرات تکنولوژی کل صنعت، تغییرات تکنولوژی ناشی از افزایش سطح تولید دارای اثری به میزان ۰/۲۴ بر مقدار تغییرات تکنولوژی داراست. بدین ترتیب با افزایش سطح تولید صنعت، هزینه واحد تولید، به ازای سطح مشخصی از نهاده و ثبات قیمت نهاده‌های تولید کاهش پیدا می‌کند. در سویی دیگر تکنولوژی خالص بخش صنعت، مقداری منفی محاسبه گردیده است و در مجموع دو اثر تغییرات تکنولوژی با روند ثابت و با روند متغیر، بخش صنعت، شاهد نزول تکنولوژی و افزایش هزینه واحد محصول با مقدار معادل ۰/۲۳- می‌باشد.

نتایج بدست آمده از محاسبه تغییرات تکنولوژی به تفکیک ۲۳ صنعت، دلالت بر آن دارد که از مجموع ۲۳ صنعت، ۱۸ صنعت دارای مقادیر مثبت تغییرات تکنولوژی و همچنین ۵ صنعت دارای مقادیر تکنولوژی منفی می‌باشند. بر اساس تئوری رابطه تغییرات تکنولوژی، تغییرات تکنولوژی منفی گویای رشد هزینه واحد تولید محصول در طی دوره می‌باشد و به عبارت دیگر چنانچه بنگاه در طی دوره، دچار افت در تکنولوژی تولید محصول شود، بایستی محصول خود را با هزینه تولید بالاتری تولید نماید. در سوی مقابل صناعی که تغییرات تکنولوژی مثبت را تجربه نموده‌اند، به میزان رشد تکنولوژیکی، کاهش در هزینه واحد تولید محصول در طی زمان را به خود اختصاص می‌دهند. در میان صنایعی که تغییرات تکنولوژی مثبت را دارا هستند، سه صنعت تولید منسوجات (کد ۱۷)، صنعت تولید وسایل نقلیه و موتوری (کد ۳۴) و صنعت محصولات فلزی بجز ماشین-آلات (کد ۲۸) به ترتیب با مقدار تغییرات تکنولوژی ۴/۴۳۹۱، ۳/۲۴۴۰ و ۲/۷۱۷۵ درصد، بالاترین نرخ تغییرات تکنولوژی 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 تکنولوژی ۴/۲۰۹۵- درصد، بالاترین میزان افت تکنولوژی را نسبت به چهار صنعت دیگر تجربه نموده است و در مقایسه با سایر صنایع، جزء تکنولوژی غیر خنثی، مهم‌ترین فاکتور در افت تکنولوژی این صنعت به شمار می‌رود. به مفهومی دیگر، با توجه به اینکه فرایند تکنولوژی، فرایندی مواد اولیه و سرمایه بر می‌باشد و به نوعی ترقی و رشد در تکنولوژی صنایع، نیازمند بکارگیری و بهره‌گیری از این دو نهاد و به طور مشخص نهاد مهم و اساسی مواد اولیه می‌باشد (به طور متوسط، مواد اولیه بیشترین سهم در میان نهاده‌ها از کل هزینه تولید داراست)، افزایش قیمت این دو نهاد در نهایت موجب افت تکنولوژی می‌گردد.

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

جدول ۴- نرخ تغییرات تکنولوژی صنایع

کد	نام صنعت	تکنولوژی خالص	تکنولوژی غیر خنثی	تکنولوژی گسترش مقیاس	تغییرات تکنولوژی
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	دباجی 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	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

۰/۰۳۲۴	۰/۲۶۶۱	۰/۰۱۷۰	-۰/۲۵۰۶	تولید وسایل نقلیه و موتوری	۳۴
۰/۰۱۶۸	۰/۲۳۷۴	۰/۰۰۲۴	-۰/۲۲۳۰	تولید سایر وسایل حمل و نقل	۳۵
۰/۰۲۴۰	۰/۲۳۰۲	۰/۰۱۴۵	-۰/۲۲۰۷	تولید مبلمان و مصنوعات	۳۶
۰/۰۱۰۱	۰/۲۰۱۵	۰/۰۱۲۲	-۰/۲۰۳۵	بازیافت	۳۷
۰/۰۰۹۶	۰/۲۳۹۵	۰/۰۰۰۶	-۰/۲۳۰۵	کل صنعت	-

ماخذ: یافته‌های تحقیق

۳.۴. شدت برق

شدت برق برابر با نسبت مقدار مصرف برق به سطح تولید است؛ به تعبیری دیگر، شدت برق میزان مصرف نهاده برق در پروسه تولید یک واحد از محصول بنگاه می‌باشد. 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 پروسه تولید بنگاه از منظر سطح برق و انرژی مصرفی بالاتر بوده و در سویی دیگر چنانچه مقدار شدت برق، مقداری نزدیک به یک (حداکثر شدت برق) محاسبه گردد، کارایی بکارگیری از نهاده برق بسیار اندک می‌باشد و بر این اساس، کارایی و شدت برق دو شاخص متضاد یکدیگر می‌باشند. همانگونه که پیش‌تر عنوان شد، بر اساس رویکرد پارامتریک، عوامل موثر بر شدت مصرف برق به چهار بخش بودجه‌ای، جانشینی، تولید و تکنولوژی تفکیک می‌گردد. بر اساس نتایج گزارش شده در جدول ۵، در سطح متوسط داده‌های کل صنعت، شدت برق برابر با مقدار ۰/۴۰۴۷ درصد محاسبه گردید و دو اثر بودجه‌ای و تکنولوژی موجب کاهش در شدت مصرف برق شده و همچنین دو اثر جانشینی و تولیدی موجب افزایش شدت برق می‌گردند.

با توجه به اثر بودجه‌ای کل صنعت، چنانچه قیمت برق افزایش پیدا کند، مقدار بکارگیری از نهاده برق کاهش پیدا کرده و این مساله موجب کاهش شدت برق به میزان ۰/۰۹۴۵ درصد (در سطح متوسط داده‌ها) خواهد شد. نتایج تورش تکنولوژی نهاده برق، گواه از این دارد که تغییرات تکنولوژیکی موجب ذخیره و به عبارتی کاهش بهره‌گیری از نهاده برق می‌گردد. بر این اساس تحلیل اثر منفی تکنولوژی بر شدت برق را اینگونه می‌توان تحلیل نمود که رشد تکنولوژی فرایند تولید صنایع، موجب کاهش مصرف برق و در نهایت امر، موجب کاهش شدت برق به میزان ۰/۰۰۵۸ درصد (در سطح متوسط داده‌ها) می‌شود. اثر جانشینی برآیندی از روابط متقابل میان نهاده‌های تولید با نهاده برق (روابط جانشینی و مکملی میان سایر نهاده‌ها با نهاده برق) در بخش صنعت می‌باشد. در بررسی اثر جانشینی بر شدت برق به این مساله پرداخته می‌شود 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 بکارگیری نهاده‌ها حکایت از این مطلب دارد که مقدار مصرف برق افزایش یافته و صنعت افزایش ۰/۲۹۸۴ درصدی (در سطح متوسط داده‌ها) در شدت برق را تجربه می‌نماید. از اجزای اصلی موثر بر شدت مصرف برق، اثر تولیدی می‌باشد. جزء تولید

شدت برق اثری مثبت بر روی این شاخص دارد و بدین ترتیب افزایش در مقیاس تولید بنگاه و یا صنعت موجب افزایش در بکارگیری از نهاده برق گردیده و موجب افزایش شدت برق به میزان ۰/۲۰۶۷ درصد (در سطح متوسط داده‌ها) می‌شود.

بررسی مقادیر شدت برق ۲۳ صنعت مورد مطالعه، حاکی از آن است که ۱۸ صنعت از ۲۳ صنعت، دارای مقادیر شدت برق صنعت در دامنه ۰/۳۳ تا ۰/۴۰ درصد می‌باشند و در میان این صنایع، صنعت بازیافت (کد ۳۷) کمترین شدت برق را با مقدار ۰/۳۳۲۴ درصد، به خود اختصاص داده است. از دلایل مهم کمتر بودن شدت برق صنعت بازیافت (کد ۳۷) در قیاس 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 ۵ صنعت که شدت برق بالاتر از ۰/۴۰ درصد را دارا می‌باشند، صنعت چاپ و تکثیر رسانه‌های ضبط شده (کد ۲۲)، با مقدار شدت برق ۰/۶۸۶۴ درصد، بیشترین شدت برق را داراست و با توجه به سهم بسیار اندک ۰/۱۹ درصدی از کل برق مصرفی صنعت، کمترین کارایی مصرف برق در پروسه تولید را به خود اختصاص داده است. با بررسی اجزای موثر بر شدت برق صنعت چاپ و تکثیر رسانه‌های ضبط شده (کد ۲۲) می‌توان دریافت که اثر جانشینی با مقدار ۰/۵۲۷۸ درصد، موجب افزایش چشمگیر شدت برق و همچنین اختلاف زیاد شدت برق صنعت چاپ و تکثیر رسانه‌های ضبط شده (کد ۲۲) در مقایسه با سایر صنایع شده است. بر این اساس با توجه به اهمیت بالاتر اثر جانشینی در قیاس با سه اثر دیگر، تغییر اثر جانشینی به عنوان مهمترین عامل افزایش یا کاهش شدت برق کلیه صنایع به شمار می‌رود.

جدول ۵- تجزیه شدت برق صنایع

کد	نام صنعت	اثر بودجه‌ای	اثر جانشینی	اثر تولیدی	اثر تکنولوژی	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	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

۰/۳۸۶۴	-۰/۰۰۵۵	۰/۱۹۱۰	۰/۲۹۵۳	-۰/۰۹۴۴	تولید ماشین آلات اداری	۳۰
۰/۳۶۷۴	-۰/۰۰۵۲	۰/۱۸۵۹	۰/۲۷۳۲	-۰/۰۸۶۴	تولید ماشین آلات تولید برق	۳۱
۰/۳۶۲۸	-۰/۰۰۵۲	۰/۱۸۱۰	۰/۲۷۳۴	-۰/۰۸۶۴	تولید تلویزیون و وسایل ارتباطی	۳۲
۰/۴۴۲۱	-۰/۰۰۶۳	۰/۲۱۷۲	۰/۳۳۹۴	-۰/۱۰۸۲	تولید ابزار پزشکی و اپتیکی	۳۳
۰/۳۹۱۴	-۰/۰۰۶۰	۰/۲۰۴۰	۰/۲۸۰۴	-۰/۰۸۷۱	تولید وسایل نقلیه و موتوری	۳۴
۰/۴۰۳۷	-۰/۰۰۵۳	۰/۲۰۱۳	۰/۳۰۴۰	-۰/۰۹۶۳	تولید سایر وسایل حمل و نقل	۳۵
۰/۴۰۲۹	-۰/۰۰۵۴	۰/۱۹۹۹	۰/۳۰۷۰	-۰/۰۹۸۶	تولید مبلمان و مصنوعات	۳۶
۰/۳۳۲۴	-۰/۰۰۳۷	۰/۱۵۶۷	۰/۲۶۶۷	-۰/۰۸۷۳	باز یافت	۳۷
۰/۴۰۴۷	-۰/۰۰۵۸	۰/۲۰۶۷	۰/۲۹۸۴	-۰/۰۹۴۵	کل صنعت	-

ماخذ: یافته‌های تحقیق (*) واحد محاسبه: درصد

۴.۴. شدت برق، سهم تولید و سهم برق مصرفی

شدت برق برابر با نسبت مصرف نهاده برق به سطح تولید بنگاه می‌باشد. به منظور بررسی جامع و مقایسه مقادیر شدت برق صنایع با یکدیگر، به رتبه‌بندی صنایع بر اساس سه شاخص سهم تولید و سهم برق مصرفی از کل صنعت و همچنین رتبه‌بندی بر اساس مقادیر شدت برق پرداخته می‌شود. بر اساس نتایج بدست آمد از جدول زیر و در طی دوره ۹۱-۱۳۸۴، 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، ۱۹/۸۹، ۱۲/۱۰، 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 بکارگیری از نهاده برق در پروسه تولید، مطلوب عمل کرده‌اند.

از دیگر شاخص‌هایی که می‌توان به کمک آن به تحلیل مقادیر شاخص شدت برق و نهایتاً مقایسه میان شدت برق صنایع پرداخت، بهره‌گیری از شاخص سهم برق مصرفی صنایع از کل برق در دسترس در بخش صنعت و همچنین رتبه‌بندی صنایع از منظر سهم برق مصرفی، می‌باشد. بر اساس 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 غیر فلزی (کد ۲۶)، صنعت تولید محصولات شیمیایی (کد ۲۴)، صنعت تولید مواد غذایی و آشامیدنی (کد ۱۵) و نهایتاً 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 مهم و اساسی به شمار می‌روند و محاسبه شدت برق صنایع و همچنین رتبه‌بندی

آنها بر اساس شدت برق حاکی از آن است که به غیر از صنعت تولید منسوجات (کد ۱۷)، که با شدت برق معادل ۰/۴۸۴۲، شدت برق بالاتر از کل صنعت (۰/۴۰۴۷) داراست، چهار صنعت دیگر مقادیر شدت برق کمتری نسبت به متوسط صنعت به خود اختصاص داده‌اند. بر این اساس، صنعت تولید منسوجات (کد ۱۷) با در نظر گرفتن سهم برق مصرفی ۵/۰۸ درصدی از کل برق صنعت، از جمله صنایع با سطح 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 بکارگیری 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 ۶- رتبه‌بندی صنایع بر اساس سه شاخص سهم تولید، سهم برق مصرفی و شدت برق

رتبه	شدت برق	رتبه	سهم 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	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	محصول 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

ماخذ: یافته‌های تحقیق (*) واحد محاسبه: درصد

۵.۴. شدت برق کل صنعت

روند سالانه شدت برق و نتایج محاسبه چهار جزء اصلی موثر بر مقادیر شدت برق کل صنعت در طی سالهای مورد مطالعه، در جدول ۷ گزارش شده است. در قسمت آخر این جدول، تفاضل مقادیر شدت برق کل صنعت در دو سال ابتدایی و انتهایی مورد مطالعه ذکر گردیده است و بدین ترتیب می‌توان علاوه بر بررسی روند سالانه، به تحلیل تغییرات شدت برق پرداخته می‌شود. بر اساس نتایج جدول ۷، بخش صنعت در طی ۸ سال، با توجه به روند افزایشی در شاخص شدت برق، در نهایت کاهش در کارایی مصرف برق را تجربه نموده و این روند نزولی کارایی، در سال ۱۳۹۰ به بالاترین سطح خود در قیاس با سایر سالها رسیده است. این مساله 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 سال ۱۳۹۰ رسید که بالاترین مقدار شاخص شدت را در طی 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 مجموعاً موجب افزایش شاخص شدت به میزان ۰/۳۸۴۸ درصد شده‌اند) که با توجه به افزایش مقادیر منفی دو اثر بودجه‌ای و تکنولوژی، در نهایت شاخص شدت برق ۰/۳۱ درصدی افزایش یافته است. به عبارتی افزایش قیمت (هزینه واحد) نهاده‌ها در طی سالهای ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۰ و همچنین افزایش مقدار تولید در طی همین سالها، موجب کاهش کارایی برق مصرفی صنعت شده است.

بررسی و تجزیه شدت برق دلالت بر آن دارد که، از میان ۴ جزء اصلی شدت برق و سهم هزینه نهاده برق، اثر جانشینی بیشترین تاثیر را بر روی افزایش در نسبت مصرف نهاده برق به تولید و بالتبع افزایش شدت برق کلیه سالهای مورد مطالعه، دارا بوده و مهمترین فاکتور افزایش روند شدت برق، ناشی از روند صعودی (افزایشی) اثر جانشینی می‌باشد. لازم به ذکر است که در کنار روند صعودی شدت برق با توجه به برابری 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 می‌گردد. با توجه به اثر بودجه‌ای، چنانچه قیمت برق افزایش پیدا کند، در سطح تولید یک واحد محصول صنعتی، مقدار بکارگیری از نهاده برق کاهش پیدا کرده و به عبارتی شدت برق کاهش پیدا می‌یابد. بر این اساس، فاکتور تغییر قیمت کلیه نهاده‌ها به عنوان مهمترین فاکتور موثر بر کارایی مصرف برق در صنایع کارخانه‌ای ایران به شمار می‌رود.

جدول ۷- روند سالانه تجزیه شدت برق کل صنعت

سال	اثر بودجه‌ای	اثر جانشینی	اثر تولیدی	اثر تکنولوژی	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

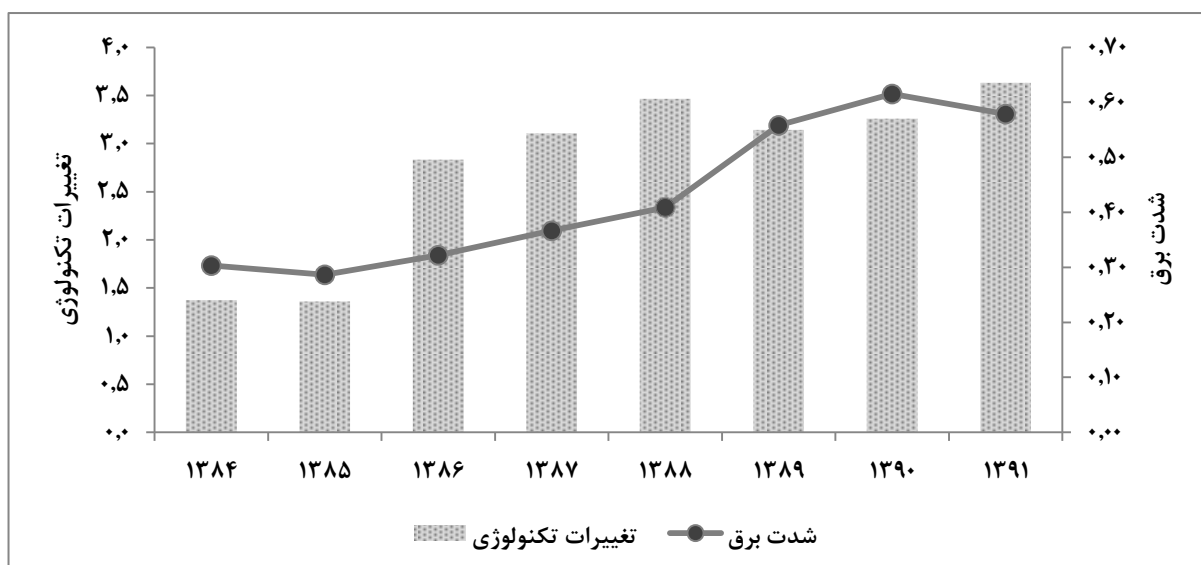
۰/۵۵۸۳	-۰/۰۰۶۹	۰/۲۸۶۰	۰/۴۰۹۰	-۰/۱۲۹۸	۱۳۸۹
۰/۶۱۵۴	-۰/۰۰۷۵	۰/۳۱۵۸	۰/۴۴۹۵	-۰/۱۴۲۳	۱۳۹۰
۰/۵۷۸۹	-۰/۰۰۶۹	۰/۲۹۵۲	۰/۴۲۲۶	-۰/۱۳۲۰	۱۳۹۱
۰/۲۷۵۵	+۰/۰۰۲۸	+۰/۱۴۱۱	+۰/۱۹۶۲	+۰/۰۵۹۰	۱۳۸۴ - ۹۱

ماخذ: یافته‌های تحقیق (*) واحد محاسبه: درصد

بر اساس محاسبات شدت برق با رویکرد پارامتریک، از میان چهار جزء اثرگذار بر شدت برق بخش صنعت، جزء تکنولوژی، دارای اثری منفی بر شدت برق می‌باشد و در حقیقت روند تغییرات تکنولوژیکی پروسه تولید بگونه‌ای بوده که موجب ذخیره نهاده برق شده و از این طریق، فاکتور کاهشنده در شدت برق و افزایش کارایی نهاده برق را ایفا می‌کند. در این قسمت از تحقیق به بررسی روند سالانه تغییرات تکنولوژی و شدت برق کل صنعت پرداخته می‌شود و محاسبات این دو شاخص بر اساس سطح متوسط داده‌های کلیه صنایع در هر سال صورت گرفته است. هدف از محاسبه این دو شاخص، تحلیل ارتباط میان روند تغییرات تکنولوژی و روند شدت برق در طی دوره و میزان اثرگذاری تغییرات تکنولوژی بر شدت برق کل صنعت به عنوان یک جزء کاهش دهنده در رابطه شدت برق می‌باشد. همانگونه که از نمودار زیر می‌توان دریافت، شاخص تغییرات تکنولوژیکی و شدت برق در طی دوره (به طور متوسط)، دارای روند رو به صعود و افزایشی می‌باشند. شاخص تغییرات تکنولوژی و شدت برق به ترتیب 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 تکنولوژیکی با نوسان همراه بوده و در طی دو سال ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰، کاهش یافته است.

با توجه به رابطه منفی میان تغییرات تکنولوژی و شدت برق، انتظار بر آن است که با روند صعودی در روند تکنولوژی، شاهد روند نزولی در مقدار شدت برق بوده و در سویی دیگر با نزول روند تغییرات تکنولوژی (افت تکنولوژی کل صنعت)، شدت برق کل صنعت افزایش در مقدار خود را (بدلیل کاهش مقدار جزء منفی رابطه شدت برق) شاهد باشد. همان‌طور که عنوان شد، دو شاخص ذکر شده در طی دوره افزایش پیدا کردند و تغییرات تکنولوژی فاکتور مهم در تعیین روند شدت برق به شمار نمی‌رود. مهمترین دلیل این می‌باشد که اثر منفی تکنولوژی بر روی شدت برق با وجود روند صعودی شاخص تکنولوژی، تاثیر ناچیزی بر روی شدت برق ایفا می‌نماید 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 تکنولوژی، با وجود روند صعودی دو جزء جانشینی و تولیدی، شدت برق روند رو به صعود را داراست.

نمودار ۱- روند سالانه تغییرات تکنولوژی و شدت برق کل صنعت



۵. جمع بندی

هدف از این پژوهش، بررسی تکنولوژی تولید و شاخص شدت برق بر اساس رهیافت پارامتریک و راهکار تابع هزینه می باشد. شاخص تغییرات تکنولوژی به عنوان معیاری جهت تحلیل روند هزینه بنگاه در طی دوره می باشد و تغییرات هزینه کل بنگاه در طی زمان را می توان از طریق این شاخص بررسی نمود. بر اساس نتایج محاسبه تغییرات تکنولوژی در سطح متوسط داده ها، بخش صنعت در طی دوره دارای مقدار تغییرات تکنولوژی مثبت معادل با ۰/۹۶ درصد می باشد و سه صنعت تولید منسوجات (کد ۱۷)، صنعت تولید وسایل نقلیه و موتوری (کد ۳۴) و صنعت محصولات فلزی بجز ماشین آلات (کد ۲۸) به ترتیب با مقدار تغییرات تکنولوژی ۴/۴۳۹۱، ۳/۲۴۴۰ و ۲/۷۱۷۵ درصد، بالاترین نرخ تغییرات تکنولوژی را دارا می باشند.

شدت برق برابر با نسبت مقدار مصرف برق به سطح تولید است و بنابر راهکار و رویکرد پارامتریک مبنی بر تجزیه شدت برق، عوامل موثر بر شدت مصرف برق به ۴ بخش بودجه ای، جانشینی، تولید و تکنولوژی تفکیک می گردد. در سطح متوسط داده های کل صنعت، شدت برق برابر با مقدار ۰/۴۰۴۷ درصد محاسبه گردید و دو اثر بودجه ای و تکنولوژی موجب کاهش در شدت مصرف برق شده و همچنین دو اثر جانشینی و تولیدی موجب افزایش شدت برق می گردند. بررسی مقادیر شدت برق حاکی از آن است که ۱۸ صنعت از ۲۳ صنعت، دارای مقادیر شدت برق صنعت در دامنه ۰/۳۳ درصد تا ۰/۴۰ درصد می باشند و در میان این صنایع، صنعت بازیافت (کد ۳۷) کمترین شدت برق را با مقدار ۰/۳۳۲۴ درصد، به خود اختصاص داده است. 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) در مجموع بیش از سه چهارم تولید صنعت را دارا بوده که دارای مقادیر شدت برق کوچکتر از سطح متوسط صنعت (۰/۴۰۴۷ درصد) می باشند.

بررسی ارتباط میان شدت برق و تغییرات تکنولوژی حاکی از آن است که دو شاخص تغییرات تکنولوژیکی و شدت برق در طی دوره ۸ ساله خود، به طور متوسط، دارای روندی رو به صعود و در جهت افزایش می‌باشند و تغییرات تکنولوژی فاکتور مهم در تعیین روند شدت برق به شمار نمی‌رود و یا به عبارتی اثر منفی تکنولوژی بر روی شدت برق با وجود روند صعودی شاخص تکنولوژی، تاثیر ناچیزی بر روی شدت برق ایفا می‌نماید.

فهرست منابع

جهانگرد اسفندیار؛ هدیه تجلی،، (۱۳۹۰)، "تجزیه شدت انرژی‌بری در صنایع کارخانه‌ای ایران"، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، دوره ۸، ۵۸-۲۵.

خداداد کاشی فرهاد،، (۱۳۸۹)؛ "اقتصاد صنعتی (نظریه و کاربرد)"، مرکز تحقیق و توسعه، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاهها.

شهیکی تاش محمد نبی؛ نوروزی علی،، (۱۳۹۳)، "تخمین تابع تقاضای صنعتی گاز طبیعی و سنجش شدت مصرف گاز طبیعی در صنایع انرژی‌بر ایران"، فصلنامه اقتصاد انرژی ایران، دوره ۳، ۱۳۰-۹۳.

دشتی نادر؛ یآوری کاظم؛ صباغ کرمانی مجید؛ (۱۳۸۸)؛ "تجزیه رشد بهره‌وری کل عوامل تولید در صنعت ایران با استفاده از رهیافت اقتصادسنجی"؛ فصلنامه اقتصاد مقداری (فصلنامه بررسی‌های اقتصادی)، دوره ۶، ۱۲۸-۱۰۱.

صادقی سید کمال؛ سکینه سجودی،، (۱۳۹۰)، "مطالعه عوامل موثر بر شدت انرژی در بنگاه‌های صنعتی ایران"، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، دوره ۸، ۱۸۰-۱۶۳.

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

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

Akkemik, K, A., (۲۰۰۹), "Cost function Estimates, Scale Economies and Technological Progress in the Turkish Electricity Generation Sector", Energy Policy ۳۷, ۲۰۴-۲۱۳.

Berndt, E, R. Khaled, M, S., (۱۹۷۹), "Parametric Productivity Measurement and Choice Among Flexible Functional Forms", Journal of Political Economy ۸۷, ۱۲۲۰-۱۲۴۵.

Christensen, L. R., Greene, W. H., (1976), "Economies of Scale In U.S. Electric Power Generation", Journal Of Political Economy 84, 600-676.

Christensen, L. R., Jorgenson, D. W., and Lau, L. J., (1973), "Transcendental Logarithmic Production Function", the Review of Economics and Statistics 55, 28-40.

Hicks, J. R., (1932), "Marginal Productivity and The Principle of Variation", *Economica* 12, 79-88.

Li, J., (2009), "Production Structure, Input Substitution, and Total Factor Productivity Growth in the Softwood Lumber Industries in U.S. and Canadian Regions" Master Thesis, University of Toronto (Canada).

Ma, H., Oxley, L., Gibson, J., Kim, B., (2009), "Modeling China's Energy Consumption Behavior and Changes in Energy Intensity", *Environmental Modeling & Software* 24, 1293-1301

Ma, H., Oxley, L., Gibson, J., Kim, B., (2008), "China's Energy Economy: Technical Change Factor Demand and Inter-factor/Inter-fuel Substitution" *Energy Economy* 30, 2167-2183.

Shephard, R. S., (1970), "Theory of Cost and Production Functions", Princeton University Press, Princeton, NJ.

Steir, J. C., (1980), "Technological Adaptation to Resource Scarcity in The U.S. Lumber Industry", *Western Journal of Agricultural Economics* 5, 160-170.

Welsch, H., Ochs, C., (2000), "The Determinants of Aggregate Energy Use in West Germany: Factor Substitution, Technological Change and Trade", *Energy Economics* 22, 93-111.

Zha, D., Zhou, D., Ding, N., (2012), "The Determinants of Aggregated Electricity Intensity in China", *Applied Energy* (97), 100-106.

Okajima, S., Okajima, H., (2013), "Analysis of Energy Intensity in Japan", *Energy Policy* (61), 548-586.