

ارزیابی شدت انرژی و اثر تکنولوژی تولید بر کارایی تقاضای صنعتی انرژی (مورد ایران)

سید نظام الدین مکیان^۱، علی نوروزی^۲، ابو طالب کاظمی^۳،
محمد نبی شهیکی تاش^۴ و پروانه زنگی آبادی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۲۲

چکیده

هدف این پژوهش تجزیه شدت انرژی و ارزیابی اثرات تغییرات تکنولوژی تولید بر کارایی مصرف انرژی در صنایع کارخانه‌ای ایران بر اساس رهیافت پارامتریک در دوره ۹۰-۱۳۷۸ می‌باشد. بر اساس نتایج، شدت انرژی بخش صنعت ایران، برابر با ۰/۰۸ درصد بدست آمده که حاکی از آن است که بخش صنعت در مصرف انرژی تقریباً کارا عمل نموده است. تجزیه شدت انرژی حکایت از این دارد که اثر تکنولوژی کمترین تأثیر را بر شدت انرژی داشته و تغییرات قیمت نهاده‌ها (اثر جانشینی و اثر بودجه‌ای) مهمترین عوامل شدت انرژی می‌باشند. قیمت پایین حامل‌های انرژی و فراوانی انرژی در ایران، موجب می‌شود تا به نوعی ساختار و تجهیزات بکار رفته در بخش صنایع، انرژی‌بر باشد.

طبقه‌بندی *JEL*: L60, Q40, C30

واژه‌های کلیدی: شدت انرژی، تغییرات تکنولوژی، تابع هزینه ترانسلوگ.

۱. دانشیار اقتصاد، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد
nmakiyan@yazd.ac.ir
۲. باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد قائم شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم شهر، ایران
norouzi_ali_66@yahoo.com
۳. دانشجوی دکتری علوم اقتصادی دانشگاه یزد
am.kazemi1988@yahoo.com
۴. دانشیار اقتصاد، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه سیستان و بلوچستان
mohammad_tash@eco.usb.ac.ir
۵. دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد، دانشگاه یزد
p.zangiabadi@gmail.com

۱- مقدمه

به منظور بررسی و تحلیل کارایی مصرف انرژی از شاخص‌های متعددی می‌توان استفاده نمود. بهره‌وری انرژی و شدت آن از جمله شاخص‌های معتبر در بررسی کارایی مصرف انرژی می‌باشد. میزان مصرف انرژی به ازای هر واحد از تولید کالاها و خدمات را شدت مصرف انرژی و یا به طور خلاصه شدت انرژی می‌نامند. با توجه به رابطه شدت انرژی، تغییرات در شدت انرژی از دو زاویه سطح مصرف انرژی و همچنین سطح تولید متأثر است (جهانگرد و تجلی، ۱۳۹۰). آنچه بر مقدار مصرف انرژی و در نهایت شدت انرژی اثرگذار می‌باشد را می‌توان به عواملی همچون تکنولوژی تولید، قیمت و سطح مصرف نهاده‌های تولید و سطح تولید تفکیک نمود (ژا و همکاران، ۲۰۱۲). از آنجا که انرژی، نهاده مهمی در فرآیند تولید صنایع ایران به شمار می‌رود، بررسی ساختار هزینه و تولید صنایع کشور مبنی بر کارایی بکارگیری نهاده انرژی، از لحاظ اقتصادی دارای اهمیت می‌باشد.

صنایع مورد مطالعه در این پژوهش، کلیه صنایع کد ۲ رقمی می‌باشد. میزان مصرف انرژی صنایع مورد بررسی، بسته به ساختار کارخانه‌ای و تجهیزات صنعتی و نوع تکنولوژی تولیدی که در فرآیند تولید خود به کار می‌گیرند، متفاوت بوده و دارای سهم متفاوتی از مقدار انرژی کل صنعت می‌باشند. آنچه در مبحث کارایی بکارگیری انرژی دارای اهمیت می‌باشد، نوع ساختار تولید و تکنولوژی تولید است (آکسلی و همکاران، ۲۰۰۹). بهبود کارایی در مصرف انرژی (تقاضای بخش صنعتی انرژی) و کاهش شدت انرژی مصرفی صنایع، با تحلیل و بررسی تک تک اجزای شدت انرژی با کیفیت و دقت بالاتری صورت می‌گیرد و شناخت آثار متغیرهایی همچون تکنولوژی تولید، مقیاس و سطح تولید بر شدت انرژی، موجب تسریع در نیل به هدف بهبود کارایی انرژی شده و به نوعی راهنمای مؤثری برای مدیران اجرایی صنایع در برنامه‌ریزی میان‌مدت و بلندمدت ارتقای کارایی انرژی به شمار می‌رود. در حقیقت، بررسی شدت انرژی و در نهایت ارزیابی کارایی در مصرف نهاده انرژی، این امکان را فراهم می‌نماید که در اقتصاد وابسته به نفت و فراورده‌های نفتی، که منابع انرژی به وفور یافت می‌شود، نسبت مصرف انرژی به سطح تولیدات صنعتی را تحلیل نمود. لازم به ذکر است که با وجود یارانه‌ای که دولت به مصرف نهاده انرژی در

-
1. Zha, Zhou and Ding (2012)
 2. Oxley, Ma and Gibson (2009)

کلیه بخش‌های اقتصاد ایران و به طور مشخص بخش صنعت (حمایت از تولیدات صنعتی و کاهش هزینه واحد تولید به منظور افزایش قدرت رقابتی) اختصاص می‌دهد، قیمت بسیار اندک و پایین نهاده انرژی در قیاس با سایر نهاده‌ها از جمله مواد اولیه را در پی دارد و این مسئله موجب می‌گردد که ساختار بسیاری از صنایع، وابسته به مصرف نهاده انرژی گردد. از این حیث انتظار بر آن است که مصرف انرژی در سطح بالایی قرار داشته باشد و مهمتر از آن، روند تغییرات تکنولوژی و بکارگیری ساختار و تجهیزات جدید صنعتی، انرژی‌بر باشد.

هدف این پژوهش، بررسی و تجزیه شدت انرژی بر پایه رهیافت تابع هزینه ترانسلوگ است. بر این اساس، تحقیق حاضر در شش بخش گردآوری شده است. پس از ارائه مقدمه در بخش نخست، بخش دوم شامل مبانی نظری تحقیق می‌باشد و بخش سوم، به بررسی مطالعات صورت گرفته در حوزه شدت انرژی و ارزیابی تغییرات تکنولوژی اختصاص پیدا کرده است. روش‌شناسی تحقیق در بخش چهارم بررسی شده و در این بخش، نحوه محاسبه شاخص تغییرات تکنولوژی، شدت انرژی و تجزیه شاخص شدت انرژی به چهار فاکتور اثر بودجه‌ای، اثر جانشینی، اثر تولیدی و اثر تکنولوژی با توجه به سهم هزینه انرژی ارائه می‌گردد. بخش پنجم شامل نتایج تخمین پارامترها، محاسبه و بررسی شدت انرژی و نهایتاً تحلیل مهترین عوامل کارایی مصرف انرژی و میزان اثرگذاری تکنولوژی تولید بر شدت انرژی صنایع ایران می‌باشد. نتیجه‌گیری و جمع‌بندی تحقیق در بخش ششم یا بخش پایانی گنجانده شده است.

۲- مبانی نظری

انرژی یکی از نهاده‌های اصلی فرایند تولید می‌باشد که در مرحله تولید و توزیع محصولات بکار گرفته می‌شود و نقش مهمی در رشد کلیه بخش‌های اقتصاد، بالاخص بخش صنعت ایفا می‌نماید. با در نظر گرفتن درجه اهمیت انرژی، بررسی کارایی در مصرف این نهاده ارزشمند، راهکاری مؤثر در تحلیل ساختار هزینه بوده و اطلاعاتی مناسب از کارایی و عدم کارایی فرآیند تولید فراهم می‌کند (جهانگرد و تجلی، ۱۳۹۰). یکی از انواع شاخص‌ها که زمینه ارزیابی کارایی در بکارگیری انرژی را فراهم می‌کند، شاخص شدت انرژی است و با توجه به این شاخص، نسبت مصرف انرژی به سطح تولید محاسبه می‌شود. بر این اساس

بنگاهی که نسبت به سطح تولید خود انرژی کمتری را مصرف می‌کند، شدت کمتری داشته و کارا تر عمل نموده است.

از میان رویکردهای متداول اقتصادی جهت بررسی کارایی مصرف انرژی و حاملهای انرژی، رهیافت پارامتریک (بهره‌گیری از تابع هزینه متناسب)، شاخص دیویژیا و شاخص ایده‌آل فیشر از مطلوبیت بیشتری نسبت به سایر روشها برخوردارند و به جهت مزایای ساختار و رابطه محاسباتی، کاربرد بسیار گسترده‌تری در بررسی شدت انرژی و حاملهای انرژی دارا هستند (آچسن و ولش^۱، ۲۰۰۵). در ادامه به طور اجمالی به بررسی مزیت روش پارامتریک و بهره‌گیری از تابع هزینه، نسبت به دیگر شاخص‌ها پرداخته می‌شود.

مطالعه شدت انرژی بوسیله شاخص ایده‌آل فیشر و دیویژیا بدین ترتیب است که عموماً مقدار شدت انرژی به دو جزء اثر ساختاری و اثر کارایی تفکیک می‌گردد (صادقی و سجودی، ۱۳۹۰). با توجه به اثر ساختاری، چنانچه تعداد صنایع با مصرف انرژی بالا، کاهش پیدا کند و یا ساختار بخش اقتصادی همانند صنعت، به گونه‌ای تغییر پیدا کند که تعداد بنگاه‌های انرژی بر کاهش پیدا کند و بنگاه‌های کارا تر و با سطح مصرف انرژی پایین تر وارد بخش صنعت شوند، مقدار شدت انرژی کاهش پیدا می‌کند (تیمما و همکاران^۲، ۲۰۱۶). در سویی دیگر عامل اثر کارایی به بررسی تکنولوژی بکار گرفته شده توسط هر یک از بنگاه‌ها می‌پردازد. در حقیقت با اثر کارایی می‌توان به این مسئله پی برد که تا چه میزان، بکارگیری تکنولوژی و تجهیزات فعلی و یا جدید، مقدار شدت انرژی و نسبت مصرف انرژی به تولید را دستخوش تغییر می‌نماید. لازم به ذکر است که فرض اساسی در اثر کارایی، ثابت بودن مقدار تولید بنگاه و یا صنعت و تغییر مقدار مصرف انرژی و یا حاملهای انرژی، همزمان با تغییر در تکنولوژی فرایند تولید و توزیع می‌باشد (اوکاجیما و همکاران^۳، ۲۰۱۳).

در رویکرد پارامتریک و تابع هزینه، شدت انرژی با دقت بالاتری محاسبه و اندازه‌گیری می‌شود و مهمتر از آن، تجزیه شدت به واقعیت نزدیک می‌باشد. مهمترین دلیلی که برای این موضوع می‌توان ذکر کرد، اشاره به این مسئله است که در تابع هزینه متناسب و

-
1. Ochsen and Welsch (2005)
 2. Timma, Zoss and Bloomberg (2016)
 3. Shigeharo Okajima and Hiroko Okajima (2013)

انعطاف‌پذیر، کلیه عوامل و پارامترهای بکارگرفته شده در مرحله تولید محصول از جمله نهاده‌های تولید (نیروی کار، سرمایه، مواد اولیه و انرژی)، تولید، تکنولوژی تولید و سایر متغیرهای مستقل، لحاظ می‌گردد (ژا و همکاران، ۲۰۱۲). با در نظر گرفتن این نکته، کلیه عواملی که در مرحله تولید محصول، با نهاده انرژی و حاملهای انرژی در ارتباط هستند، در رابطه شدت انرژی با روش پارامتریک لحاظ می‌گردند و بر خلاف سایر روشهای مرسوم (شاخص ایده‌آل فیشر و شاخص دیویژیا) می‌توان عوامل اثرگذار بر شدت انرژی را به چندین بخش مختلف شامل اثر جانشینی (اثر قیمت نهاده‌ها بر شدت انرژی)، اثر تولیدی (اثر تولید بر شدت انرژی)، اثر تکنولوژی (اثر تکنولوژی تولید بر شدت انرژی) و سایر اثرها (بسته به نوع متغیر مستقل در تابع سهم هزینه انرژی) تفکیک و تجزیه نمود (کیم و همکاران^۱، ۲۰۰۸)، که سایر روشهای مرسوم به طور جزئی به بررسی شدت انرژی و تفکیک این شاخص به طور جزئی نمی‌پردازند.

۳- پیشینه تحقیق

تاکنون مطالعات بسیار زیادی در حوزه بررسی شدت انرژی و حاملهای انرژی از جمله مطالعات آرمن و تقی‌زاده (۱۳۹۲)، محسنی و بنی‌اسدی (۱۳۹۳)، حیدری (۱۳۹۰) جهانگرد و تجلی (۱۳۹۰) و بهبودی و همکاران^۲ (۱۳۸۹) صورت گرفته است و همچنین از میان مطالعات خارجی می‌توان به مطالعات گیبسون و همکاران^۳ (۲۰۰۹)، کیم و همکاران^۴ (۲۰۰۸)، گونزالس و سوارز^۵ (۲۰۰۳)، کونتاناوات و همکاران^۶ (۲۰۱۴)، ونگ و همکاران^۷ (۲۰۱۴)، هاجکو^۸ (۲۰۱۴)، لین و دو^۹ (۲۰۱۴)، ویجت و همکاران^{۱۰} (۲۰۱۴)، سو و انگ^{۱۱} (۲۰۱۲) اشاره نمود. از میان پژوهش‌های صورت گرفته در بحث شدت انرژی و محاسبه

1. Kim, Ma, Oxley and Gibson (2008)

۵. بهبودی، اصلانی‌نیا و سجودی (۱۳۸۹)

3. Gibson, Ma and Oxley (2009)

4. Kim, Ma, Oxley and Gibson (2008)

5 Gonzalez and Suarez (2003)

6. Chontanawat, Wiboonchutikula and Buddhivanich (2014)

7. Wang, Liao, Pan, Zhao and Wei (2014),

8. Hajko (2014)

9. Lin And Du (2014)

10. Voigt, Cian, Schymura and Verdolini (2014)

11. Su and Ang (2012)

این شاخص با رویکرد پارامتریک و تابع هزینه ترانسلوگ، تنها یک پژوهش توسط شهیکی و نوروزی (۱۳۹۲) انجام شده است که به بررسی شدت گاز طبیعی در صنایع با سهم مصرف بالای انرژی (صنایع انرژی‌بر) پرداخته شده است. با توجه به هدف پژوهش مبنی بر محاسبه شدت و همچنین تغییرات تکنولوژی تولید، نتایج پژوهش‌های صورت گرفته به شرح زیر است.

۳-۱- 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 پرداخته و به منظور محاسبه شدت انرژی از شاخص ایده‌آل فیشر بهره گرفته‌اند. 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 پرداخته‌اند. آنها شاخص شدت انرژی را بر متغیرهایی همچون اندازه بنگاه، شدت سرمایه فیزیکی، مخارج تحقیق و توسعه، نوع مالکیت بنگاه، دستمزد، نسبت مخارج تعمیر ماشین‌آلات به فروش، رگرس نموده‌اند. 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 $-0/43$ داراست.

جهانگرد و تجلی (۱۳۹۰) با بهره‌گیری از شاخص لاسپیرز^۱ و شاخص میانگین حسابی دیویژیا^۲ به تحلیل شدت انرژی‌بری صنایع کارخانه‌ای ایران طی سالهای ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۶ پرداخته‌اند. 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

1. Laspeyres Index

2. Divisia

تولید، اصلاح قیمت‌های انرژی، جانشینی حامل‌های انرژی و تغییر کارایی انرژی نقش مؤثری در تعیین شدت انرژی دارند. در اکثر صنایع مورد بررسی نیز اثر شدتی تأثیر بالاتری را در تعیین مقدار شدت انرژی داشته است.

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

۳-۲. مطالعات خارجی

آچسن و ولش (۲۰۰۵) رابطه محاسباتی شدت انرژی بر اساس رهیافت پارامتریک و راهکار تابع هزینه ترانسلوگ را وارد ادبیات اقتصادی نموده و در پژوهش خود به بررسی شدت انرژی صنایع غرب کشور آلمان در طی سالهای ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۴ پرداخته‌اند. تغییرات شدت انرژی دوره مورد مطالعه به طور متوسط منفی بدست آمده و شاهد سیر نزولی ۲۰ درصدی بوده است. با توجه به اینکه تغییرات تکنولوژی موجب ذخیره انرژی می‌شود، تغییرات تکنولوژی اثری منفی بر روی شدت انرژی داراست.

کیم و همکاران (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 شدت انرژی، تکنولوژی تولید مهمترین اثر را بر 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 ۱۹/۱۳۴ درصدی شدت انرژی می‌شود.

گیسون و همکاران^۱ (۲۰۰۹) در پژوهش خود از رهیافت تابع هزینه ترانسلوگ بهره گرفته و به بررسی عوامل اثرگذار بر شدت انرژی در دوره ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۴ پرداخته‌اند. نتایج بدست آمده از تحقیق بدین ترتیب بوده است که شدت انرژی در سطح کل کشور چین شاهد رشدی 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.

فنگ و سرلیس^۲ (۲۰۱۰) در پژوهش خود به بررسی شاخص روند تکنولوژی بانکهای بزرگ مقیاس کشور آمریکا پرداخته‌اند. نتایج تخمین تابع فاصله و محاسبه بهره‌وری کل عوامل تولید حکایت از این دارد که بانکهای بزرگ مقیاس کشور آمریکا در دوره ۲۰۰۵-۲۰۰۰، به طور متوسط سالانه رشدی ۱/۹۸ درصدی داشته است. تغییرات تکنولوژی تولید با توجه به روند رو به نزول، در سالهای ابتدایی مثبت بوده و در ادامه به مقادیر منفی در سالهای ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ رسیده است.

تاناس و تایدور^۳ (۲۰۱۲) با کمک روش DEA^۴ و شاخص بهره‌وری ناپارامتریک مالم کوئست به بررسی تکنولوژی تولید صنعت موتوری کشور رومانی بر اساس مناطق جغرافیایی و در دوره ۲۰۱۰-۲۰۰۱ پرداخته‌اند. بر اساس نتایج بدست آمده، در کل، بنگاه‌های فعال در بخش صنایع موتوری کشور رومانی دارای مقادیر مثبت روند تکنولوژی بوده و با توجه به تقسیم‌بندی نتایج محاسبات شاخص‌ها بر اساس منطقه جغرافیایی، بخش جنوب بیشترین مقدار روند تکنولوژی را تجربه نموده است.

ژا و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی شدت انرژی در صنعت برق کشور چین پرداخته‌اند. آنها با بهره‌گیری از رویکرد تابع هزینه ترانسلوگ تجمعی^۵ و تجزیه شدت انرژی به سه اثر بودجه‌ای، اثر جانشینی و اثر تکنولوژی، به بررسی شدت انرژی طی دوره ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۷ پرداختند. بر اساس نتایج، از میان اجزای اثرگذار بر شدت انرژی، اثر بودجه‌ای طی سالهای

-
1. Gibson, Ma and Oxley (2009)
 2. Feng and Serletis (2010)
 3. Tanase and Tidor (2012)
 4. Data Envelopment Analysis
 5. Translog Aggregate Cost Function

۱۹۸۶ تا ۱۹۹۶ مثبت محاسبه شده است. بررسی جزء تکنولوژی در رابطه شدت انرژی، دلالت بر آن دارد که در طی دوره همواره اثری منفی و کاهشی بر شدت انرژی دارا بوده و با افزایش این شاخص، شدت انرژی کاهش پیدا می‌کند.

تریبس و کام‌هاکار^۱ (۲۰۱۳) به بررسی تکنولوژی صنایع متوسط مقیاس ۴ کشور آمریکا، بریتانیا، آلمان و فرانسه در دوره ۲۰۰۴-۱۹۹۴ پرداخته‌اند. آنها با تابع هزینه ترانسلوگ و فروض متفاوت برای متغیر تکنولوژی و مدیریت، به بررسی تغییرات تکنولوژی در ۴ مدل پرداخته‌اند. در مدل ۱ (تکنولوژی و مدیریت: متغیر پیوسته) و مدل ۲ (تکنولوژی: متغیر پیوسته، مدیریت: شاخص)، تکنولوژی همواره مثبت و دارای روند صعودی بوده، در مدل ۳ (مدیریت: متغیر پیوسته، تکنولوژی: شاخص) و مدل ۴ (تکنولوژی و مدیریت: شاخص)، تغییرات تکنولوژی دارای مقادیر مثبت و منفی بوده و روندی پرنوسان داشته است.

اوکاجیما و همکاران^۲ (۲۰۱۳) به تجزیه شاخص شدت انرژی در کشور ژاپن پرداخته‌اند و از راهکار شاخص ایده‌آل فیشرفر برای تجزیه شدت انرژی طی دوره ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۴ بهره برده‌اند. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که شاخص‌های 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 رشد داشته است.

۴- روش‌شناسی تحقیق

با توجه به اهداف تحقیق و محاسبه شاخص‌های مدنظر، نیاز به بهره‌گیری نوعی از توابع هزینه می‌باشد که قابلیت بررسی و محاسبه شاخص‌های مدنظر را داشته و پارامترهای مورد نیاز، جهت محاسبه شاخص‌های مدنظر را دارا باشد. به منظور شناخت عوامل مؤثر بر شاخص تغییرات (روند) تکنولوژی، نیاز به بررسی ارتباط میان متغیر تکنولوژی با دیگر متغیرهای سطح تولید، قیمت نهاده‌ها و خود تکنولوژی می‌باشد. از سوی دیگر، به منظور

1. Triebs and Kambhakar (2013)

2. Shigeharo Okajima and Hiroko Okajima (2013)

محاسبه عوامل مقدار شدت انرژی صنایع و تحلیل کلیه اجزای آن، لازم است تا به ارتباط میان انرژی با سطح تولید، تکنولوژی تولید، قیمت نهاده‌ها و در آخر قیمت خود انرژی 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 انرژی با سطح تولید و دیگر نهاده‌ها (جهت محاسبه شدت انرژی) را در خود گنجانده است؛ بدین ترتیب مناسب‌ترین فرم تابع، که هم‌جهت با هدف تحقیق باشد، تابع هزینه ترانسلوگ است (کریستنسن و همکاران^۱، ۱۹۷۳).

در این تحقیق از برآوردگر SUR^۲ (معادلات به ظاهر نامرتب) به منظور تخمین پارامتر، جهت محاسبه شاخص‌های شدت انرژی و تغییرات تکنولوژی استفاده می‌شود. معادلات به کار گرفته شده در این تحقیق شامل یک تابع هزینه اصلی ترانسلوگ و ۴ تابع سهم تقاضای عوامل تولید می‌باشد. فرم کلی تابع هزینه ترانسلوگ کلیه صنایع کد ۲ رقمی با چهار نهاده نیروی کار، سرمایه، انرژی و مواد اولیه به شرح زیر می‌باشد (کریستنسن و همکاران، ۱۹۷۳).

$$\begin{aligned} \ln TC_i = & \alpha_0 + \alpha_Q \ln Q_i + \frac{1}{2} \alpha_{QQ} (\ln Q_i)^2 + \sum_{r=1}^4 \alpha_r \ln P_{r_i} + \frac{1}{2} \sum_{r=1}^4 \sum_{j=1}^4 \beta_{rj} \ln P_{r_i} \ln P_{j_i} \\ & + \sum_{r=1}^4 \beta_{rQ} \ln P_{r_i} \ln Q_i + \gamma_T T_i + \frac{1}{2} \gamma_{TT} T_i^2 + \sum_{r=1}^4 \gamma_{rT} \ln P_{r_i} T_i \\ & + \gamma_{QT} \ln Q_i T_i + u \quad , \quad r, j = L, K, M, E \quad , \quad i = 15, 16, \dots, 37 \end{aligned} \quad (1)$$

در رابطه فوق، هزینه تولید تابعی است از تولید (Q)، قیمت نهاده‌ها شامل نیروی کار (L)، سرمایه (K)، مواد اولیه (M) و انرژی (E) و همچنین تکنولوژی تولید (T) که به عنوان متغیر برونزا در تابع هزینه ترانسلوگ قرار دارد. جهت استخراج توابع سهم هزینه نهاده‌ها، بوسیله قضیه لم شفارد، از تابع هزینه ترانسلوگ نسبت به قیمت هر یک از نهاده‌های تولید مشتق گرفته می‌شود (شفارد^۳، ۱۹۷۰). فرم کلی توابع سهم هزینه نهاده صنایع به صورت زیر می‌باشد (کریستنسن و گرین^۴، ۱۹۷۶).

-
1. Christensen, Jorgenson and Lau (1973)
 2. Seemingly Unrelated Regression
 3. Shephard (1970)
 4. Christensen and Greene (1976)

$$S_r = \frac{\partial \text{LnTC}_i}{\partial \text{LnP}_{r_i}} = \frac{\partial \text{TC}_i}{\partial P_{r_i}} \cdot \frac{P_{r_i}}{\text{TC}_i} = \frac{P_{r_i} X_{r_i}}{\text{TC}_i} = \alpha_i + \sum_{j=1}^4 \beta_{rj} \text{LnP}_{j_i} + \beta_{rQ} \text{LnQ}_i + \gamma_{rT} T_i, \quad r, j = L, K, M, E, \quad i = 15, 16, \dots, 37 \quad (2)$$

برای تأمین 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 (نانگ و همکاران، ۲۰۰۶).

$$\sum_{r=1}^4 \alpha_r = 1, \quad \sum_{r=1}^4 \beta_{rQ} = 0, \quad \sum_{r=1}^4 \gamma_{rT} = 0, \quad (3)$$

$$\sum_{r=1}^4 \sum_{i=1}^4 \beta_{rj} = \sum_{i=1}^4 \beta_{rj} = \sum_{r=1}^4 \beta_{jr} = 0, \quad r, j = L, K, M, E$$

$$\beta_{rj} = \beta_{jr}, \quad r, j = L, K, M, E \quad (4)$$

در متون اقتصادی، شاخص تغییرات تکنولوژی تحت عنوان تغییر در میزان بکارگیری سطح عوامل تولید با فرض ثبات سطح تولید و ثبات قیمت عوامل تولید در طی زمان معرفی شده است. چنانچه تغییرات تکنولوژی اثری بر میزان و سهم بکارگیری هر یک از نهاده‌های تولید بر جای نگذارد، بر طبق تعریف هیکس^۲ از تکنولوژی، تکنولوژی تولید خنثی خواهد بود و در این حالت اگر تکنولوژی تولید مثبت (منفی) باشد، منحنی هزینه متوسط به سمت پایین (بالا) جابجا شده و هیچ‌گونه تغییری در شیب این نمودار رخ نمی‌دهد (عبادی و موسوی، ۲۰۰۶).

با توجه به تابع هزینه ترانسلوگ، نرخ تغییر تکنولوژی به فرم زیر می‌باشد (لی، ۲۰۰۹).

$$ITC_i = \frac{-\partial \text{LnTC}_i}{\partial T_i} = -(\gamma_T + \gamma_{TT} T_i + \sum_{r=1}^4 \gamma_{rT} \text{LnP}_{r_i} + \gamma_{QT} \text{LnQ}_i) \quad r = L, K, M, E, \quad i = 15, 16, \dots, 37 \quad (5)$$

-
1. Nanag and Ghebremichael (2006)
 2. Hicks
 3. Jingjing Li (2009)

رابطه نرخ تغییرات تکنولوژی تولید، از ۳ جزء اصلی و مجزا تشکیل شده است (نانگ و همکاران^۱، ۲۰۰۶).

۱. تغییر تکنولوژی خالص $(\gamma_T + \gamma_{TT}T)$: با توجه به این مؤلفه، تکنولوژی تولید تنها موجب تغییر و جابجایی منحنی هزینه متوسط به سمت بالا و پایین شده و در این حالت، تکنولوژی مستقل از اثرات سطح تولید و هر یک از عوامل تولید می‌باشد.

۲. تغییر تکنولوژی غیر خنثی $(\sum_{i=1}^4 \gamma_{iT} \text{Ln}P_i)$: با توجه به این مؤلفه، تغییر در تکنولوژی تولید موجب تغییر در میزان بکارگیری هر یک از عوامل تولید می‌شود (تورش تکنولوژی) و منجر به تغییر در شیب منحنی هزینه متوسط می‌شود.

۳. تغییر تکنولوژی ناشی از گسترش مقیاس $(\gamma_{QT} \text{Ln}Q)$: با توجه به این مؤلفه، تغییر در تکنولوژی تولید موجب تغییر در ظرفیت و مقیاس تولید بنگاه می‌شود و در این حالت موجب جابجایی منحنی هزینه متوسط به سمت راست و چپ خواهد شد.

یکی از مهم‌ترین راهکارهای بررسی کارایی صنایع در مبحث نحوه بکارگیری از نهاده انرژی، بهره‌گیری از مفهوم شدت انرژی و تغییرات این شاخص اقتصادی است. شدت انرژی با استفاده از مفهوم میزان و نسبت بکارگیری سطح انرژی به سطح تولید هر یک از صنایع تحلیل می‌شود. آنچه در این تحقیق به تحلیل آن پرداخته می‌شود، عوامل شدت انرژی کل صنایع ایران بوده و به همین جهت از رهیافت پارامتریک و تابع هزینه ترانسلوگ به منظور بررسی اثرات انواع متغیرها بر روی شدت انرژی استفاده می‌شود. آنچه در تابع ترانسلوگ و بالتبع تابع سهم هزینه انرژی نمود پیدا می‌کند، می‌توان به تکنولوژی تولید، سطح تولید و اثرات متقابل قیمت دیگر نهاده‌ها و در نهایت تغییرات با شتاب و ثابت قیمت نهاده انرژی اشاره نمود. رابطه شدت انرژی بر اساس رهیافت پارامتریک به شرح زیر می‌باشد (آکسلی و همکاران، ۲۰۰۹).

¹. Nanang and Ghebermichael (2006)

$$\begin{aligned}
 e &= \frac{E}{Q} = \left(\frac{P_Q}{P_E}\right) S_E \\
 &= \frac{P_Q}{P_E} (\beta_E + \beta_{EE} \text{Ln}P_E + \beta_{EL} \text{Ln}P_L + \beta_{EK} \text{Ln}P_K + \beta_{EM} \text{Ln}P_M + \beta_{EQ} \text{Ln}Q + \beta_{ET} T) \\
 &= \left[\frac{P_Q}{P_E} \beta_E \right] + \left[\frac{P_Q}{P_E} \beta_{EE} \text{Ln}P_E \right] + \left[\frac{P_Q}{P_E} \beta_{EL} \text{Ln}P_L \right] + \left[\frac{P_Q}{P_E} \beta_{EK} \text{Ln}P_K \right] + \left[\frac{P_Q}{P_E} \beta_{EM} \text{Ln}P_M \right] \\
 &\quad + \left[\frac{P_Q}{P_E} \beta_{EQ} \text{Ln}Q \right] + \left[\frac{P_Q}{P_E} \beta_{ET} T \right]
 \end{aligned}$$

$$e = \hat{e}_E + \hat{e}_{EE} + \hat{e}_{EL} + \hat{e}_{EK} + \hat{e}_{EM} + \hat{e}_{EQ} + \hat{e}_{ET} \quad (6)$$

در رابطه بالا شدت انرژی (e) برابر با نسبت انرژی به تولید و همچنین تابعی از نسبت قیمت تولید به قیمت انرژی در سهم هزینه نهاده انرژی می باشد. با تفکیک و تجزیه رابطه سهم هزینه انرژی، شدت انرژی به ۷ جزء تجزیه می شود. عبارات \hat{e}_{EE} (اثر تغییر قیمت انرژی بر شدت انرژی)، \hat{e}_{EL} (اثر تغییر قیمت نیروی کار بر شدت انرژی)، \hat{e}_{EK} (اثر تغییر قیمت سرمایه بر شدت انرژی)، \hat{e}_{EM} (اثر تغییر قیمت مواد اولیه بر شدت انرژی) شامل قیمت کلیه نهاده ها بوده و اثرات جانشینی مؤثر بر شدت انرژی را تبیین می نماید. به عبارتی دیگر، چنانچه قیمت هر یک از این نهاده ها تغییر کند، منجر به تغییر شدت انرژی می شوند. عبارات \hat{e}_{ET} ، \hat{e}_{EQ} به ترتیب به اثرات تغییر در سطح تولید و تکنولوژی تولید بر مقدار شدت انرژی اشاره می کنند. در نهایت عبارت \hat{e}_E ، به اثرات ناشی از تغییر قیمت انرژی بر روی مقدار بکارگیری از نهاده انرژی و بالتبع شدت انرژی با فرض ثبات در سهم هزینه انرژی از کل هزینه تولید، اشاره می نماید. تفاوت عبارت \hat{e}_{EE} و \hat{e}_E در این است که در عبارت \hat{e}_E ، فرض ضمنی ثبات سهم هزینه انرژی وجود دارد و این در حالی است که این فرض در عبارت \hat{e}_{EE} وجود ندارد.

در سطح کلی اجزای اثرگذار بر شدت انرژی، به چهار بخش اثر بودجه ای^۱، اثر جانشینی^۲، اثر تولیدی^۳ و اثر تکنولوژی^۱، قابل تفکیک است (آچسن و ولش، ۲۰۰۵).

-
1. Budget Effect
 2. Substitute Effect
 3. Output Effect

اثر بودجه‌ای: عبارت e_E ، تغییرات شدت انرژی را با توجه به تغییر در قیمت انرژی با فرض ثبات در سهم نهاده انرژی از کل هزینه تولید صنعت محاسبه می‌نماید. به عبارتی دیگر چنانچه فرض ثبات بودجه یا سهم هزینه نهاده برقرار باشد، تغییر قیمت انرژی، چه اثری بر روی شدت انرژی یا مقدار مصرف انرژی به سطح تولید دارد (گیسون و همکاران^۲، ۲۰۰۹).

اثر جانشینی: با توجه به فاکتورهای \hat{e}_{EM} ، \hat{e}_{EK} ، \hat{e}_{EL} ، \hat{e}_{EE} ، برابری اثرات تغییر قیمت عوامل با فرض تغییر در سهم هزینه نهاده انرژی (بودجه انرژی از کل هزینه تولید) بر روی مقادیر شدت انرژی، برابر با اثرات جانشینی می‌باشد (ژا و همکاران، ۲۰۱۲).

اثر تولیدی: چنانچه مقدار سطح تولید و مقیاس تولید بنگاه تغییر کند، مقادیر بکارگیری از نهاده‌های تولید و به طور مشخص مقدار بکارگیری از نهاده انرژی، تغییر می‌کند. عبارت \hat{e}_{EQ} به محاسبه اثر تولیدی بر روی مقدار شدت انرژی صنایع می‌پردازد.

اثر تکنولوژی: چنانچه مقادیر تکنولوژی تولید در تابع هزینه تولید خنثی نباشد و تغییرات تکنولوژی موجب تورش نهاده‌های تولید شود، تغییرات شدت انرژی ناشی از تکنولوژی تولید، با فاکتور \hat{e}_{ET} اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به اثر تکنولوژی، تورش مقدار انرژی، موجب تغییر در مقدار مصرف انرژی نسبت به ستاده و بالتبع، تغییر شدت انرژی می‌شود (گیسون و همکاران^۳، ۲۰۰۵).

۵- داده‌ها و نتایج برآورد

صنایع مورد مطالعه در این تحقیق، شامل کلیه صنایع فعال در بخش صنعتی ایران با کد ۲ رقمی طبقه‌بندی بین‌المللی کالاها و خدمات می‌باشد. بر اساس طبقه‌بندی بین‌المللی، صنایع اصلی فعال به ۲۳ صنعت بر اساس کد ۲ رقمی تقسیم می‌شود. داده‌های به کار رفته در این پژوهش شامل مجموعه داده‌های هزینه تولید، تولید، هزینه نهاده‌های تولید، قیمت نهاده‌های تولید، تکنولوژی تولید کلیه صنایع ۲ رقمی طبقه‌بندی کالاها و خدمات در دوره ۹۰-۱۳۷۸

1. Technology Effect
2. Gibson, Ma and Oxley (2009)
3. Gibson, Ma and Oxley (2009)

می‌باشد. داده‌های صنایع بر اساس کدهای طبقه‌بندی کالاها و خدمات که در مرکز آمار ایران وجود دارد، تنها تا سال ۱۳۹۰ انتشار یافته است.

با توجه به هدف تحقیق مبنی بر بررسی شدت انرژی صنایع ایران، ابتدا به بررسی میزان سهم صنایع از مقدار انرژی مصرفی بخش صنعت پرداخته می‌شود. اطلاعات میزان انرژی-بری کلیه صنایع کد ۲ رقمی در جدول شماره ۱ گزارش شده است. با توجه به مقادیر جدول ذیل، ۲ صنعت اساسی و انرژی‌بر تولید فلزات اساسی (کد ۲۷) و صنعت تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی (کد ۲۶)، به طور متوسط، مجموعاً ۵۰ درصد از انرژی مصرفی بخش صنعت را به خود اختصاص داده‌اند که نیمی از میزان انرژی مصرفی صنعت در دوره ۹۰-۱۳۷۸ در اختیار تنها ۲ صنعت قرار دارد. بر این اساس از منظر و دیدگاه میزان انرژی-بری، صنایع کد ۲۶ و ۲۷ از صنایع مهم و اساسی در بخش صنعت می‌باشند. در مقابل، صنعت تولید ماشین‌آلات اداری و محاسباتی (کد ۳۰) و صنعت بازیافت (کد ۳۷)، به ترتیب با سهم انرژی بسیار اندک ۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۲ درصدی از کل انرژی بخش صنعت، کمترین سهم انرژی را در میان ۲۳ صنعت مورد مطالعه دارند و از منظر سهم انرژی مصرفی، کمترین درجه اهمیت را در میان ۲۳ صنعت دارا هستند.

جدول ۱- سهم انرژی مصرفی صنایع از کل انرژی بخش صنعت

۱۵	مواد غذایی و آشامیدنی	۸/۱۹	۲۷	تولید فلزات اساسی	۳۳/۱۶
۱۶	تولید محصولات از توتون	۰/۱۲	۲۸	محصولات فلزی بجز ماشین‌آلات	۱/۸۰
۱۷	تولید منسوجات	۵/۰۲	۲۹	تولید ماشین‌آلات و تجهیزات	۲/۰۶
۱۸	تولید پوشاک	۰/۰۸	۳۰	تولید ماشین‌آلات اداری	۰/۰۲
۱۹	دباغی و عمل آوردن چرم	۰/۱۹	۳۱	تولید ماشین‌آلات تولید برق	۱/۰۴
۲۰	تولید محصولات چوبی	۰/۳۹	۳۲	تولید تلویزیون و وسایل ارتباطی	۰/۱۴
۲۱	تولید محصولات کاغذی	۱/۶۱	۳۳	تولید ابزار پزشکی و اپتیکی	۰/۲۲
۲۲	تکثیر رسانه‌های ضبط شده	۰/۲۲	۳۴	تولید وسایل نقلیه و موتوری	۲/۴۸
۲۳	تولید ذغال کک	۶/۳۷	۳۵	تولید سایر وسایل حمل و نقل	۰/۳۲
۲۴	تولید محصولات شیمیایی	۱۲/۱۶	۳۶	تولید مبلمان و مصنوعات	۰/۲۹
۲۵	محصولات پلاستیکی	۲/۱۸	۳۷	بازیافت	۰/۰۰۳
۲۶	سایر محصولات کانی غیر فلزی	۲۱/۹۱			

ماخذ: مرکز آمار ایران (۱۳۹۳)

نتایج تخمین پارامترهای معادلات متشکل از تابع هزینه ترانسلوگ و توابع ۴ گانه سهم تقاضا، در جدول شماره ۲ گزارش شده است. به منظور تخمین پارامترهای کارا برای تابع هزینه ترانسلوگ و معادلات سهم هزینه سرمایه، مواد اولیه و انرژی با توجه به داده‌های پانل، از برآوردگر رگرسیون‌های به ظاهر نامرتب تکراری (ISUR)^۱ استفاده شده است. پارامترهای در جدول، بر اساس دو روش مستقیم و غیرمستقیم بدست آمده‌اند. به منظور تخمین پارامترها به صورت مستقیم و با کمک برآوردگر رگرسیونی به ظاهر نامرتب تکراری، به منظور جلوگیری از صفر شدن ماتریس واریانس-کوواریانس اجزای اخلال، معادله سهم نیروی کار حذف شده است (بهترین برآورد پارامتر با حذف نیروی کار بدست می‌آید) و پارامترهای تابع تقاضای نیروی کار به روش غیر مستقیم (شرط همگنی) محاسبه شده‌اند (زلنر^۲، ۱۹۶۲). با توجه به آماره‌ها از جمله ضریب تعیین تعدیل شده (\bar{R}^2)، دوربین واتسون (DW)، سطح معناداری پارامترها (P) و دیگر آماره‌های سنجی، بهترین برآورد و تخمین پارامترهای معادلات با حذف معادله سهم تقاضای نیروی کار بدست می‌آید. بدین ترتیب جهت تخمین پارامترهای معادلات، معادله سهم تقاضای نیروی کار حذف شده و پارامترهای این معادله به طور غیرمستقیم و از طریق فرض همگنی محاسبه می‌گردد. پس از حذف معادله سهم تقاضای نیروی کار، فرم تجربی معادلات، به شرح زیر می‌باشد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

-
1. Iterative Seemingly Unrelated Regression
 2. Zellner (1962)

$$\begin{aligned}
 \text{LnTC}_{it} = & \alpha_0 + \alpha_Q \text{Ln}Q_{it} + \frac{1}{2} \alpha_{QQ} (\text{Ln}Q_{it})^2 + \beta_K \text{Ln} \frac{P_{Kit}}{P_{Lit}} + \beta_M \text{Ln} \frac{P_{Mit}}{P_{Lit}} \\
 & + \beta_E \text{Ln} \frac{P_{Eit}}{P_{Lit}} + \frac{1}{2} \beta_{KK} \left(\text{Ln} \frac{P_{Kit}}{P_{Lit}} \right)^2 + \frac{1}{2} \beta_{MM} \left(\text{Ln} \frac{P_{Mit}}{P_{Lit}} \right)^2 \\
 & + \frac{1}{2} \beta_{EE} \left(\text{Ln} \frac{P_{Eit}}{P_{Lit}} \right)^2 + \beta_{KM} \text{Ln} \frac{P_{Kit}}{P_{Lit}} \text{Ln} \frac{P_{Mit}}{P_{Lit}} \\
 & + \beta_{KE} \text{Ln} \frac{P_{Kit}}{P_{Lit}} \text{Ln} \frac{P_{Eit}}{P_{Lit}} + \beta_{ME} \text{Ln} \frac{P_{Mit}}{P_{Lit}} \text{Ln} \frac{P_{Eit}}{P_{Lit}} \\
 & + \beta_{KQ} \text{Ln} \frac{P_{Kit}}{P_{Lit}} \text{Ln}Q_{it} + \beta_{MQ} \text{Ln} \frac{P_{Mit}}{P_{Lit}} \text{Ln}Q_{it} \\
 & + \beta_{EQ} \text{Ln} \frac{P_{Eit}}{P_{Lit}} \text{Ln}Q_{it} + \gamma_T T_{it} + \frac{1}{2} \gamma_{TT} T_{it}^2 + \gamma_{KT} \text{Ln} \frac{P_{Kit}}{P_{Lit}} T_{it} \\
 & + \gamma_{MT} \text{Ln} \frac{P_{Mit}}{P_{Lit}} T_{it} + \gamma_{ET} \text{Ln} \frac{P_{Eit}}{P_{Lit}} T_{it} + \gamma_{QT} \text{Ln}Q_{it} T_{it}, \quad i \\
 & = 15, 16, \dots, 37, \quad t = 1378, 1379, \dots, 1390
 \end{aligned} \tag{۷}$$

$$\begin{aligned}
 S_{K_{it}} = & \alpha_K + \beta_{KK} \text{Ln} \frac{P_{Kit}}{P_{Lit}} + \beta_{KM} \text{Ln} \frac{P_{Mit}}{P_{Lit}} + \beta_{KE} \text{Ln} \frac{P_{Eit}}{P_{Lit}} + \beta_{KQ} \text{Ln}Q_{it} \\
 & + \gamma_{KT} T_{it}, \quad i = 15, 16, \dots, 37, \quad t \\
 & = 1378, 1379, \dots, 1390
 \end{aligned} \tag{۸}$$

$$\begin{aligned}
 S_{M_{it}} = & \alpha_M + \beta_{MM} \text{Ln} \frac{P_{Mit}}{P_{Lit}} + \beta_{MK} \text{Ln} \frac{P_{Kit}}{P_{Lit}} + \beta_{ME} \text{Ln} \frac{P_{Eit}}{P_{Lit}} + \beta_{MQ} \text{Ln}Q_{it} \\
 & + \gamma_{MT} T_{it}, \quad i = 15, 16, \dots, 37, \quad t \\
 & = 1378, 1379, \dots, 1390
 \end{aligned} \tag{۹}$$

$$\begin{aligned}
 S_{E_{it}} = & \alpha_E + \beta_{EE} \text{Ln} \frac{P_{Eit}}{P_{Lit}} + \beta_{EK} \text{Ln} \frac{P_{Kit}}{P_{Lit}} + \beta_{EM} \text{Ln} \frac{P_{Mit}}{P_{Lit}} + \beta_{EQ} \text{Ln}Q_{it} \\
 & + \gamma_{ET} T_{it}, \quad i = 15, 16, \dots, 37, \quad t \\
 & = 1378, 1379, \dots, 1390
 \end{aligned} \tag{۱۰}$$

جدول ۲- نتایج تخمین پارامترهای معادلات

-	-	-۰/۰۰۴۷۳۰	β_{LK}^*	۰/۰۰	۹/۲۶	۱۴/۶۴۹۶۶	α_0
-	-	-۰/۰۰۲۷۳۹	β_{LM}^*	۰/۲۰	۱/۲۷	۰/۱۳۴۷۳	α_Q
-	-	-۰/۰۰۴۱۵۹	β_{LE}^*	۰/۰۰	۷/۳۱	۰/۰۳۰۲۱۶	α_{QQ}
۰/۶۰	-۰/۳۷	-۰/۰۰۰۴۶۹	β_{KQ}	۰/۰۱	۲/۵۸	۰/۰۹۴۰۰۲	α_K
۰/۰۰	۵/۰۴	۰/۰۰۶۶۲۸	β_{MQ}	۰/۰۰	-۳/۷۷	-۰/۱۲۳۴۷۱	α_M
۰/۰۰	-۱۰/۲۲	-۰/۰۰۸۶۴۷	β_{EQ}	۰/۰۰	۱۰/۵۹	۰/۳۲۱۳۵۷	α_E
-	-	۰/۰۰۲۶۸۸	β_{LQ}^*	-	-	۰/۷۰۸۱۱۲	α_L^*
۰/۰۰	۳/۳۰	۰/۱۵۷۵۴۳	γ_T	۰/۰۰	۳/۹۲	۰/۰۰۳۹۳۲	β_{KK}
۰/۰۱	۲/۷۳	۰/۰۰۵۶۷۶	γ_{TT}	۰/۰۱	۲/۶۷	۰/۰۰۲۴۵۸	β_{MM}
۰/۴۵	۰/۵۸	۰/۰۰۰۴۰۹	γ_{KT}	۰/۰۰	۴/۱۹	۰/۰۰۴۲۰۰	β_{EE}
۰/۰۱	-۲/۶۵	-۰/۰۰۲۱۳۵	γ_{MT}	-	-	۰/۱۱۶۲۸	β_{LL}^*
۰/۰۲	۲/۳۰	۰/۰۰۰۶۶۹	γ_{ET}	۰/۳۰	۱/۰۲	۰/۰۰۰۵۶۰	β_{KM}
-	-	۰/۰۰۰۷۵۷	γ_{LT}^*	۰/۴۴	۰/۶۰	۰/۰۰۰۲۳۸	β_{KE}
۰/۰۰	-۳/۹۴	-۰/۰۰۹۲۴۴	γ_{QT}	۰/۱۹	-۱/۰۵	-۰/۰۰۰۲۷۹	β_{ME}
D.W= ۱/۹۲		R ² = ۰/۹۹			R ² = ۰/۹۹		

*آماره متغیرهایی که در جدول با خط تیره مشخص شده اند ناشی از این می باشند که جز متغیرهای اصلی در تخمین مدل نبوده است.

ماخذ: یافته‌های تحقیق

توابع سهم هزینه به همراه تابع هزینه ترانسلوگ، و با برآوردگر رگرسیون‌های به ظاهر نامرتب تکراری برآورد شده‌اند. نتایج تخمین پارامترهای توابع سهم نهاد سرمایه، مواد اولیه و انرژی به روش مستقیم و همچنین نتایج محاسبه غیر مستقیم پارامترهای تابع تقاضای نیروی کار، در جدول زیر گزارش شده است.

جدول ۳- نتایج تخمین پارامترهای توابع سهم تقاضای نهاده

نیروی کار	انرژی	مواد اولیه	سرمایه
۰/۷۰۸۱۱۲	۰/۳۲۱۳۵۷ (۰/۰۰)	-۰/۱۳۳۴۷۱ (۰/۰۰)	۰/۰۹۴۰۰۲ * (۰/۰۱)
-۰/۰۰۰۴۷۳۰	۰/۰۰۰۲۳۸ (۰/۴۴)	۰/۰۰۰۵۶۰ (۰/۳۰)	۰/۰۰۳۹۳۲ (۰/۰۰)
-۰/۰۰۰۲۷۳۹	۰/۰۰۰۲۷۹ (۰/۱۹)	۰/۰۰۲۴۵۸ (۰/۰۱)	۰/۰۰۰۵۶۰ (۰/۳۰)
-۰/۰۰۰۴۱۵۹	۰/۰۰۰۴۲۰۰ (۰/۰۰)	-۰/۰۰۰۲۷۹ (۰/۱۹)	۰/۰۰۰۲۳۸ (۰/۴۴)
۰/۰۰۰۲۶۸۸	-۰/۰۰۰۸۶۴۷ (۰/۰۰)	۰/۰۰۰۶۴۲۸ (۰/۰۰)	-۰/۰۰۰۴۶۹ (۰/۶۰)
۰/۰۰۰۰۷۵۷	۰/۰۰۰۰۶۶۹ (۰/۰۲)	-۰/۰۰۰۲۱۳۵ (۰/۰۱)	۰/۰۰۰۰۷۱۹ (۰/۴۵)
۰/۰۰۱۱۶۲۸	۰/۰۰۰۴۱۵۹ (۰/۰۰)	-۰/۰۰۰۲۷۳۹ (۰/۱۹)	-۰/۰۰۰۲۷۳۹ (۰/۱۹)
	D.W=۲/۰۱	D.W=۱/۰۱	D.W=۲/۰۰
	R ² =۰/۹۱	R ² =۰/۸۷	R ² =۰/۲۹
	R ² =۰/۹۱	R ² =۰/۸۷	R ² =۰/۲۹

(*) سطح معناداری

نرخ تغییرات تکنولوژی ۲۳ صنعت کد دو رقمی در جدول شماره ۴ گزارش شده است. در این جدول تغییرات تکنولوژی بر اساس اجزای اصلی تکنولوژی تولید و همچنین مقدار کل تغییرات تکنولوژی در هر صنعت محاسبه شده است. با توجه به مقادیر بدست آمده، روند تکنولوژی صنایع مختلف، مثبت و منفی بدست آمده است. تحلیل مقادیر منفی در جدول شماره ۴ نشان می‌دهد که صنایع مورد مطالعه بدین ترتیب می‌باشد که صنایع مورد نظر چهار اف تکنولوژی شده و بدین ترتیب هزینه واحد تولید محصول در طی زمان افزایش یافته است. به عنوان مثال، صنعت تولید ماشین‌آلات اداری و محاسباتی در دوره ۱۳۷۸-۱۳۹۰، با توجه به نوع ساختار و فرایند تولید خود و نوع تکنولوژی تولیدی که در خدمت دارد، به مقدار ۱/۴۲ درصد در تکنولوژی تولید دچار نزول شده است. به عبارت دیگر، در فرایند تولید محصولات خود، رشدی ۱/۴۲ درصدی

در هزینه واحد خود در طی زمان را تجربه نموده است. از سوی دیگر، اکثر صنایع کد ۲ رقمی به طور متوسط، از روند مثبت تغییرات تکنولوژی برخوردارند، یعنی کاهش هزینه واحد دارند.

از نکات قابل توجه اجزای اثرگذار بر شاخص تغییرات تکنولوژی، مقادیر محاسبه شده از تکنولوژی خالص می‌باشد. مقادیر تکنولوژی خالص جدا از سطح تولید و نهاده‌های تولید بوده و به نوع تجهیزات و ساختار تولید صنایع بستگی دارد. بر اساس یافته‌ها، کلیه صنایع دارای روند مثبت تکنولوژی خالص می‌باشند. این مسئله حاکی از روند رو به رشد و مثبت صنایع در جهت بکارگیری تجهیزات مناسب‌تر در روند تولید به جهت کاهش هزینه واحد تولید می‌باشد. نتایج بدست آمده از تکنولوژی غیر خنثی دلالت بر این دارد که در مجموع، تغییرات قیمت نهاده‌ها در دوره مورد بررسی، اثری منفی بر روی تکنولوژی تولید در جهت افزایش هزینه واحد تولید را در پی دارد. در حقیقت افزایش قیمت نهاده‌های تولید در مجموع موجب افزایش هزینه واحد تولید و افزایش شیب منحنی هزینه متوسط تولید صنایع ایران می‌گردد.

از دیگر اجزای مهم و اثرگذار بر روند تغییرات تکنولوژیکی، افزایش سطح تولید و اثرپذیری هزینه تولید صنایع از افزایش مقیاس تولید می‌باشد. براساس یافته‌های تحقیق، افزایش مقیاس و سطح تولید در مسیر توسعه و رسیدن به سطح تولید بهینه در نهایت موجب کاهش هزینه واحد می‌گردد. چنانچه سطح تولید افزایش یابد و در طول مسیر توسعه، مقیاس بهینه تولید افزایش یابد و یا تولید در سطحی فراتر از سطح تولید بهینه صورت بگیرد، اثرات ناشی از افزایش سطح تولید، نتیجه‌ای جز افزایش هزینه تولید در طی زمان را در پی ندارد. در سطح متوسط داده‌های صنایع ۲۳ گانه، با توجه به اینکه غالب صنایع مقادیر روند تکنولوژی مثبت دارند، تغییرات تکنولوژی کل صنعت کشور مثبت ارزیابی شده و روند رو به صعودی با مقدار ۰/۴۹ درصدی در جهت کاهش هزینه را به خود اختصاص داده است.

جدول ۴- نرخ تغییرات تکنولوژی صنایع

	$(\gamma \text{ LnQ})$	$(\gamma \text{ LnP})$	$\gamma \text{ T}$		
۰/۰۰۷۶	-۰/۲۶۰	-۰/۰۱۸	۰/۲۷۰	مواد غذایی و آشامیدنی	۱۵
۰/۰۰۳۵	-۰/۲۵۵	-۰/۰۱۰	۰/۲۶۲	تولید محصولات از توتون	۱۶
۰/۰۱۴۳	-۰/۲۵۸	-۰/۰۲۱	۰/۲۶۴	تولید منسوجات	۱۷
-۰/۰۰۰۱	-۰/۲۴۳	-۰/۰۱۲	۰/۲۵۵	تولید پوشاک	۱۸
۰/۰۰۹۳	-۰/۲۴۸	-۰/۰۱۶	۰/۲۵۵	دباغی و عمل آوردن چرم	۱۹
-۰/۰۰۱۷	-۰/۲۴۱	-۰/۰۱۶	۰/۲۶۰	تولید محصولات چوبی	۲۰
۰/۰۰۹۲	-۰/۲۵۷	-۰/۰۱۷	۰/۲۶۵	تولید محصولات کاغذی	۲۱
۰/۰۰۱۶	-۰/۲۴۲	-۰/۰۱۷	۰/۲۵۸	تکثیر رسانه‌های ضبط شده	۲۲
۰/۰۱۴۳	-۰/۲۷۹	-۰/۰۱۱	۰/۲۷۵	تولید ذغال کک	۲۳
۰/۰۰۶۹	-۰/۲۶۹	-۰/۰۱۷	۰/۲۷۹	تولید محصولات شیمیایی	۲۴
۰/۰۱۰۱	-۰/۲۶۵	-۰/۰۱۲	۰/۲۷۵	محصولات پلاستیکی	۲۵
۰/۰۰۲۹	-۰/۲۶۲	-۰/۰۱۵	۰/۲۷۴	سایر محصولات کانی غیر فلزی	۲۶
۰/۰۱۴۹	-۰/۲۷۴	-۰/۰۱۸	۰/۲۷۷	تولید فلزات اساسی	۲۷
۰/۰۱۰۲	-۰/۲۶۱	-۰/۰۲۰	۰/۲۷۰	محصولات فلزی بجز ماشین‌آلات	۲۸
۰/۰۰۲۳	-۰/۲۵۶	-۰/۰۱۸	۰/۲۷۱	تولید ماشین‌آلات و تجهیزات	۲۹
-۰/۰۱۴۲	-۰/۲۴۶	-۰/۰۱۰	۰/۲۷۰	تولید ماشین‌آلات اداری	۳۰
۰/۰۰۶۹	-۰/۲۶۰	-۰/۰۱۸	۰/۲۷۱	تولید ماشین‌آلات تولید برق	۳۱
-۰/۰۰۴۲	-۰/۲۵۴	-۰/۰۱۴	۰/۲۷۳	تولید تلویزیون و وسایل ارتباطی	۳۲
-۰/۰۰۹۳	-۰/۲۴۳	-۰/۰۱۵	۰/۲۶۸	تولید ابزار پزشکی و اپتیکی	۳۳
۰/۰۱۶۵	-۰/۲۸۳	-۰/۰۱۹	۰/۲۸۶	تولید وسایل نقلیه و	۳۴

موتوری				
۳۵	تولید سایر وسایل حمل و نقل	۰/۲۶۲	-۰/۰۱۷	-۰/۲۵۳
۳۶	تولید مبلمان و مصنوعات	۰/۲۶۱	-۰/۰۱۹	-۰/۲۴۵
۳۷	بازیافت	۰/۲۳۸	-۰/۰۲۱	-۰/۰۰۰۶
-	کل صنعت	۰/۲۶۷	-۰/۰۱۷	-۰/۲۵۵

ماخذ: یافته‌های تحقیق

یکی از اهداف اصلی این پژوهش بررسی شدت مصرف انرژی و به نوعی کارایی انرژی در کلیه صنایع اصلی (صنایع کد ۲ رقمی ISIC) می‌باشد. از اجزای مؤثر بر سطح مصرف انرژی، می‌توان به رابطه سطح تولید و مقدار بکارگیری انرژی، اثرات تغییرات قیمت هر یک از نهاده‌ها بر مقدار بکارگیری انرژی و در نهایت تکنولوژی تولید و تورش انرژی اشاره نمود. با توجه به مشخصات ریاضی و آماری تابع هزینه ترانسلوگ، مبنی بر دارا بودن روابط متقابل متغیرها، تحلیل اجزای شدت انرژی و همچنین مقدار شدت انرژی با دقت و کیفیت بالاتری نسبت به سایر توابع و یا سایر روشها صورت می‌گیرد.

در جدول شماره ۵ به تحلیل کلیه اجزای شدت انرژی، به تفکیک ۲۳ صنعت کد ۲ رقمی پرداخته شده است. با توجه به مقادیر جزء ثابت (اثر بودجه‌ای) سهم نهاده انرژی، که اثر تغییر قیمت انرژی با فرض ثبات سهم نهاده انرژی را نشان می‌دهد در کلیه صنایع مورد مطالعه، افزایش قیمت نهاده انرژی موجب افزایش در شدت انرژی و نسبت مصرف انرژی به تولید می‌شود. این مطلب برای جزء انرژی اثر جانشینی (تغییر در قیمت نهاده انرژی با فرض تغییر در سهم نهاده انرژی از کل هزینه تولید) صنایع نیز برقرار است و افزایش قیمت انرژی موجب افزایش شدت انرژی می‌شود. تحلیل افزایش در شدت انرژی ناشی از افزایش قیمت انرژی مصرفی صنایع را می‌توان تا حدود زیادی به قیمت بسیار پایین انواع حاملهای انرژی (اختصاص یارانه به مصرف انرژی) و فراوانی این نهاده در اقتصاد ایران در دوره ۹۰-۱۳۷۸ ذکر کرد. در این دوره هزینه واحد مصرف انرژی نسبت به سایر نهاده‌ها بسیار پایین تر بوده و بدین ترتیب سهم هزینه انرژی از کل هزینه تولید بسیار اندک می‌باشد و افزایش در قیمت انرژی اثری جزئی بر روی هزینه کل صنایع را در بر داشته است.

با توجه به ارتباط میان نهاده انرژی و سایر نهاده‌ها، از میان سه نهاده نیروی کار، سرمایه و مواد اولیه، افزایش هزینه واحد بکارگیری از ۲ نهاده نیروی کار و مواد اولیه (به عنوان مکمل نهاده انرژی) در نهایت موجب کاهش شدت انرژی و افزایش کارایی انرژی می‌شود. از سوی دیگر، چنانچه هزینه و یا قیمت نهاده سرمایه افزایش یابد، موجب کاهش بهره‌گیری از سرمایه می‌شود و در نهایت با توجه به رابطه جانشینی سرمایه و انرژی، موجب افزایش شدت انرژی می‌گردد. بسته به ساختار و روند تغییرات تکنولوژی، مبنی بر انرژی-بر بودن (یا ذخیره انرژی)^۲ در طی دوره، اثرات تکنولوژی بر روی شدت انرژی متفاوت می‌باشد. چنانچه تغییرات تکنولوژی موجب افزایش (کاهش) بکارگیری از نهاده انرژی شود، فرایند افزایش تکنولوژی، یک فرایند انرژی‌بر (ذخیره انرژی) است. با توجه به مقادیر محاسبه شده از ارتباط متقابل تکنولوژی تولید و شدت انرژی، فرایند تکنولوژی صنایع ایران، فرایند انرژی‌بر بوده و رشد تکنولوژی موجب افزایش مصرف انرژی در فرایند تولیدات صنعت و در نهایت افزایش شدت انرژی می‌شود و این مقدار در سطح متوسط داده‌های کل صنعت به مقدار ۰/۰۱۶ درصد طبق جدول شماره ۵ در دوره ۹۰-۱۳۷۸ می‌باشد.

در میان ۲۳ صنعت، در صنعت تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی (کد ۲۶) و صنعت تولید محصولات لاستیکی و پلاستیکی (کد ۲۵)، تکنولوژی تولید (اثر تکنولوژی) با اثرگذاری ۰/۰۰۲ درصدی بر روی شدت انرژی، کمترین اثرگذاری (در میان ۱۴ اثر) را به خود اختصاص داده است. با توجه به نتایج محاسبات، از اجزای مهم اثرگذار بر شدت انرژی صنایع، تغییرات سطح تولید و نهایتاً تغییر در مقدار انرژی می‌باشد؛ به مفهومی دیگر، تغییرات مقیاس و حجم تولید در قیاس با سایر اجزای هفتگانه، اثرات به مراتب قوی‌تری بر نسبت مقدار مصرف انرژی به حجم تولید داشته و موجب کاهش شاخص شدت انرژی می‌شود. بر این اساس، به جهت نیل به هدف کارایی تقاضای انرژی (حامل‌های انرژی)، یکی از راهکارهای مؤثر در کاهش شدت مصرف انرژی (افزایش کارایی انرژی) در صنایع ایران یا به عبارتی افزایش تولید می‌باشد. با توجه به مقادیر بدست آمده اثر تولیدی در تجزیه شدت انرژی (جدول ۵)، سطح تولید نسبت به دیگر اجزای اثری قوی بر روی شدت انرژی داشته و افزایش سطح تولید (به طور متوسط) به میزان ۱ درصد، در نهایت

-
1. Energy User
 2. Energy Saver

موجب کاهش شدت انرژی به میزان ۰/۲۹ درصد می‌شود. در میان ۲۳ صنعت، مقدار اثرگذاری تغییرات تولید بر روی کاهش شدت انرژی متفاوت بوده و از مقدار ۰/۰۳ درصد در صنعت تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی (کد ۲۶) تا مقدار ۱/۱۳ درصد در صنعت بازیافت (کد ۳۷) متغیر می‌باشد.

جدول ۵- تجزیه شدت انرژی صنایع (درصد)

۰/۰۰۷	-۰/۱۳	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۳	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۱۸	مواد غذایی و آشامیدنی	۱۵
۰/۰۴۵	-۰/۸۷	-۰/۰۱۴	۰/۰۰۱۹	-۰/۲۶	۰/۰۰۹	۱/۱۷	تولید محصولات از توتون	۱۶
۰/۰۰۵	-۰/۱۰	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۲	-۰/۰۳۳	۰/۰۰۱	۰/۱۴	تولید منسوجات	۱۷
۰/۰۰۸	-۰/۱۵	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۲	-۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۲۲	تولید پوشاک	۱۸
۰/۰۰۷	-۰/۱۳	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۲	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۱/۸	دباجی و عمل آوردن چرم	۱۹
۰/۰۲۲	-۰/۴۱	-۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۶	-۰/۱۲	۰/۰۰۶	۰/۵۸	تولید محصولات چوبی	۲۰
۰/۰۰۸	-۰/۱۵	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۳	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۲۰	تولید محصولات کاغذی	۲۱
۰/۰۲۲	-۰/۴۳	-۰/۰۰۹	۰/۰۰۰۷	-۰/۱۳	۰/۰۰۷	۰/۶۱	تکنیر رسانه‌های ضبط شده	۲۲
۰/۰۱۷	-۰/۳۲	-۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۷	-۰/۰۰۹	۰/۰۰۵	۰/۳۹	تولید ذغال کک	۲۳
۰/۰۰۸	-۰/۱۴	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۳	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۱۸	تولید محصولات شیمیایی	۲۴
۰/۰۰۲	-۰/۰۴	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۶	محصولات پلاستیکی	۲۵
۰/۰۰۲	-۰/۰۳	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۴	سایر محصولات کانی غیر فلزی	۲۶
۰/۰۰۸	-۰/۱۵	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۳	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۱۸	تولید فلزات اساسی	۲۷

۰/۰۰۳	-۰/۰۶	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱	-۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۸	محصولات فلزی بجز ماشین‌آلات	۲۸
۰/۰۰۷	-۰/۱۲	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۳	-۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۱۶	تولید ماشین‌آلات و تجهیزات	۲۹
۰/۰۲۸	-۰/۴۸	-۰/۰۰۸	۰/۰۰۱۰	-۰/۱۵	۰/۰۷	۰/۶۷	تولید ماشین‌آلات اداری	۳۰
۰/۰۱۰	-۰/۱۸	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۳	-۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۲۳	تولید ماشین‌آلات تولید برق	۳۱
۰/۰۳۱	-۰/۵۵	-۰/۰۱۰	۰/۰۰۱۲	-۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۷۴	تولید تلویزیون و وسایل ارتباطی	۳۲
۰/۰۲۷	-۰/۴۸	-۰/۰۱۰	۰/۰۰۱۰	-۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۶۷	تولید ابزار پزشکی و اپتیکی	۳۳
۰/۰۰۴	-۰/۰۷	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱	-۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۸	تولید وسایل نقلیه و موتوری	۳۴
۰/۰۲۵	-۰/۴۸	-۰/۰۱۰	۰/۰۰۰۹	-۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۶۵	تولید سایر وسایل حمل و نقل	۳۵
۰/۰۱۰	-۰/۱۸	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۴	-۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۲۶	تولید مبلمان و مصنوعات	۳۶
۰/۰۵۳	-۱/۱۳	-۰/۰۲۸	۰/۰۰۰۱	-۰/۳۷	۰/۱۸	۱/۷۹	بازیافت	۳۷
۰/۰۱۶	-۰/۲۹	-۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۵	-۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۴۱	کل صنعت	-

ماخذ: یافته‌های تحقیق

در بخش قبلی به بررسی تک تک اجزای شدت انرژی صنایع پرداخته شد. در این بخش اثرات اجزای شدت انرژی به چهار جزء اصلی (اثر بودجه‌ای، اثر جانشینی، اثر تولیدی و اثر تکنولوژی) تفکیک شده و در نهایت مقدار شدت انرژی کل صنعت بر اساس این چهار اثر محاسبه شده است. با توجه به نتایج بدست آمده از محاسبه شدت انرژی، در میان چهار اثر شدت انرژی صنایع، دو اثر بودجه‌ای و اثر تکنولوژی اثری مثبت بر روی شدت انرژی دارند و دو اثر جانشینی و اثر تولیدی، در مجموع اثری منفی بر روی شدت انرژی (افزایش کارایی انرژی) دارند. لازم به ذکر است که اثر جانشینی ذکر شده در این قسمت، برآیندی از اثرات قیمت نهاده‌ها بر روی شدت انرژی می‌باشد. در حقیقت در اثر جانشینی فرض اساسی تغییر سهم نهاده انرژی با فرض تغییر قیمت نهاده‌ها می‌باشد. این در حالی است که در اثر بودجه‌ای، فرض اساسی ثبات بودجه (سهم هزینه انرژی) با

تغییر قیمت انرژی در نظر گرفته می‌شود. به عبارت دیگر، در اثر بودجه‌ای با تغییر قیمت انرژی، مقدار سهم هزینه انرژی از کل هزینه تولید ثابت می‌ماند و تنها مقدار انرژی تغییر می‌کند. این در حالی است که در اثر جانشینی با تغییر قیمت نهاده‌ها و به طور جزئی‌تر، با تغییر قیمت انرژی در اثر جانشینی، سهم هزینه نهاده انرژی از کل هزینه تولید تغییر می‌نماید.

با توجه به مقادیر کل شدت انرژی محاسبه شده، از مجموع برآیند چهار اثر، مجموع اثر مثبت بودجه‌ای و تکنولوژی، غالب بر دو اثر منفی تولید و جانشینی بوده و در مجموع این دو عامل موجب مثبت شدن شدت انرژی کلیه صنایع شده است. در میان ۲۳ صنعت، کمترین شدت انرژی را دو صنعت تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی (کد ۲۶) و صنعت تولید محصولات لاستیکی و پلاستیکی (کد ۲۵)، با مقدار شدت انرژی هر کدام ۰/۰۱ درصد به خود اختصاص داده‌اند. تجزیه شدت انرژی این دو صنعت حاکی از آن است که بالاتر بودن اثر منفی جانشینی و تولیدی این دو صنعت نسبت به سایر صنایع، همچنین پایین‌تر بودن اثر مثبت بودجه‌ای و تکنولوژی (اجزای شدت انرژی) این دو صنعت در قیاس با سایر صنایع، موجب کمتر شدن شدت انرژی در صنایع مذکور و بالتبع بالاتر بودن کارایی انرژی گردیده است. به مفهومی دیگر، افزایش مقیاس تولید در این دو صنعت (در مقایسه با دیگر صنایع) اثرات به مراتب قوی‌تری در کاهش نسبت مصرف انرژی به تولید دارد. در نتیجه، برآیند تغییرات نسبت مصرف انرژی به تولید ناشی از افزایش قیمت کلیه نهاده‌ها (انرژی، نیروی کار، سرمایه و مواد اولیه) موجب کاهش بیشتر جزء اثر جانشینی (شدت انرژی) در دو صنعت مورد نظر می‌گردد.

در سطح متوسط داده‌های ۲۳ صنعت، شدت انرژی بخش صنعت ایران در طی سالهای ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۰، برابر با ۰/۰۸ درصد محاسبه شده است که این مطلب حاکی از آن است که بخش صنعت ایران در فرآیند تولید خود، در بکارگیری از نهاده انرژی تقریباً کارا عمل نموده است. تجزیه شدت انرژی بخش صنعت دلالت بر آن دارد که اثر بودجه‌ای و اثر تولیدی در میان اجزای چهارگانه به ترتیب با مقدار اثرگذاری ۰/۴۱ و ۰/۲۹- درصدی، بزرگترین اثر مثبت و منفی را دارند. بر این اساس، اثر بودجه‌ای (مقادیر قدر مطلق) مهمترین عامل شدت انرژی صنایع در ایران می‌باشد. این در حالی است که انتظار می‌رود

با افزایش قیمت نهاده، مقدار مصرف نهاده کاهش یابد، ولی اثر مثبت بودجه‌ای حاکی از آن است که با افزایش قیمت انرژی، مقدار شدت افزایش می‌یابد. مهم‌ترین دلیلی که برای این مسئله می‌توان ذکر نمود، قیمت بسیار پایین انرژی نسبت به سایر نهاده‌ها در ایران است. به مفهومی دیگر، با توجه به قیمت پایین انرژی به دلیل پرداخت یارانه به انواع حاملهای انرژی در اقتصاد ایران و بخش صنعت و بالتبع هزینه بسیار اندک انرژی از کل هزینه تولید، با افزایش قیمت انرژی، کاهشی در مقدار مصرف نهاده انرژی رخ نمی‌دهد. از سویی دیگر به دلیل قیمت بسیار اندک انرژی نسبت به سایر نهاده‌ها، بکارگیری از این نهاده تولید، با وجود افزایش اندکی در قیمت آن، نه تنها کاسته نمی‌شود، بلکه بدلیل اینکه ساختار تولیدات صنعتی تا حد زیادی به بکارگیری از این نهاده وابسته می‌باشد، افزایش قیمت تأثیری در میزان بکارگیری از انرژی ندارد.

از نکات مهم بدست آمده، اثر مثبت برآورده شده تکنولوژی تولید بر روی شدت انرژی با عنوان اثر تکنولوژی در رابطه محاسبه شدت انرژی با روش پارامتریک و بهره‌گیری از تابع هزینه است. بر این اساس، ساختار صنایع و تجهیزات و نوع تکنولوژی تولید صنایع در ایران، موجب افزایش نسبت مصرف انرژی به تولید و نهایتاً موجب افزایش شدت انرژی و کاهش کارایی مصرف انرژی در بخش صنایع ایران می‌گردد. لازم به ذکر است که قیمت پایین حامل‌های انرژی و همچنین فراوانی انرژی در ایران، موجب می‌شود تا به نوعی ساختار و تجهیزات بکار رفته در بخش صنایع ایران، انرژی‌بر باشند. یعنی تغییرات تکنولوژی جریان تولید و توزیع در طی زمان، موجب افزایش نسبت مصرف انرژی به سطح تولیدات گردد که این موضوع در هر صنعت، بسته به ساختار و تجهیزات آن، متفاوت از دیگر صنایع و با شدت‌های مختلفی می‌باشد. در کل می‌توان به این نتیجه رسید که در سطح متوسط داده‌ها در دوره مورد مطالعه، اثر تکنولوژی کمترین اثر را بر شدت انرژی صنایع دارد و عامل قیمت نهاده‌ها با اثر جانشینی و اثر بودجه‌ای مهم‌ترین فاکتورهای شدت انرژی صنایع به شمار می‌روند. بر این اساس، تغییر در قیمت عوامل تولید مهم‌ترین عامل شدت انرژی در صنعت ایران به شمار می‌رود.

جدول ۶- اجزای چهارگانه شدت انرژی صنایع (درصد)

۰/۰۳	۰/۰۰۷	-۰/۱۳	-۰/۰۱۸	۰/۱۸	مواد غذایی و آشامیدنی	۱۵
۰/۱۷	۰/۰۴۵	-۰/۸۷	-۰/۱۷۷	۱/۱۷	تولید محصولات از توتون	۱۶
۰/۰۳	۰/۰۰۵	-۰/۱۰	-۰/۰۱۳	۰/۱۴	تولید منسوجات	۱۷
۰/۰۵	۰/۰۰۸	-۰/۱۵	-۰/۰۲۲	۰/۲۲	تولید پوشاک	۱۸
۰/۰۴	۰/۰۰۷	-۰/۱۳	-۰/۰۱۸	۱/۱۸	دباغی و عمل آوردن چرم	۱۹
۰/۱۳	۰/۰۲۲	-۰/۴۱	-۰/۰۶۹	۰/۵۸	تولید محصولات چوبی	۲۰
۰/۰۴	۰/۰۰۸	-۰/۱۵	-۰/۰۲۱	۰/۲۰	تولید محصولات کاغذی	۲۱
۰/۱۳	۰/۰۲۲	-۰/۴۳	-۰/۰۱۸	۰/۶۱	تکثیر رسانه‌های ضبط شده	۲۲
۰/۰۴	۰/۰۱۷	-۰/۳۲	-۰/۰۴۶	۰/۳۹	تولید ذغال کک	۲۳
۰/۰۳	۰/۰۰۸	-۰/۱۴	-۰/۰۲۰	۰/۱۸	تولید محصولات شیمیایی	۲۴
۰/۰۱	۰/۰۰۲	-۰/۰۴	-۰/۰۰۵	۰/۰۶	محصولات پلاستیکی	۲۵
۰/۰۱	۰/۰۰۲	-۰/۰۳	-۰/۰۰۳	۰/۰۴	سایر محصولات کانی غیر فلزی	۲۶
۰/۰۲	۰/۰۰۸	-۰/۱۵	-۰/۰۲۰	۰/۱۸	تولید فلزات اساسی	۲۷
۰/۰۲	۰/۰۰۳	-۰/۰۶	-۰/۰۰۸	۰/۰۸	محصولات فلزی بجز ماشین-آلات	۲۸
۰/۰۳	۰/۰۰۷	-۰/۱۲	-۰/۰۱۶	۰/۱۶	تولید ماشین‌آلات و تجهیزات	۲۹
۰/۱۴	۰/۰۲۸	-۰/۴۸	-۰/۰۷۹	۰/۶۷	تولید ماشین‌آلات اداری	۳۰
۰/۰۴	۰/۰۱۰	-۰/۱۸	-۰/۰۲۵	۰/۲۳	تولید ماشین‌آلات تولید برق	۳۱
۰/۱۳	۰/۰۳۱	-۰/۵۵	-۰/۰۹۲	۰/۷۴	تولید تلویزیون و وسایل ارتباطی	۳۲
۰/۱۴	۰/۰۲۷	-۰/۴۸	-۰/۰۸۰	۰/۶۷	تولید ابزار پزشکی و اپتیکی	۳۳
۰/۰۱	۰/۰۰۴	-۰/۰۷	-۰/۰۰۸	۰/۰۸	تولید وسایل نقلیه و موتوری	۳۴
۰/۱۲	۰/۰۲۵	-۰/۴۸	-۰/۰۷۹	۰/۶۵	تولید سایر وسایل حمل و نقل	۳۵
۰/۰۶	۰/۰۱۰	-۰/۱۸	-۰/۰۲۷	۰/۲۶	تولید مبلمان و مصنوعات	۳۶
۰/۴۹	۰/۰۵۳	-۱/۱۳	-۰/۲۲۷	۱/۷۹	باز یافت	۳۷
۰/۰۸	۰/۰۱۶	-۰/۲۹	-۰/۰۵۰	۰/۴۱	کل صنعت	-

ماخذ: یافته‌های تحقیق

در جدول شماره ۷، به منظور بررسی هرچه بهتر صنایع از منظر سهم مصرف انرژی و مقدار شدت انرژی، به طبقه‌بندی کلی صنایع به دو دسته صنایع با شدت بالا (بالتر از مقدار متوسط صنعت) و صنایع با شدت کم (پایین‌تر از مقدار متوسط صنعت) پرداخته شده است. بر اساس جدول شماره ۷، تعداد ۱۵ صنعت از ۲۳ صنعت با کد ۲ رقمی، شدت انرژی کمتر از حد متوسط بخش صنعت ایران را در اختیار دارند (کارایی در مصرف انرژی بالاتر از مقدار متوسط بخش صنعت ایران). این دسته صنایع بیش از ۹۸ درصد (۹۸/۵۶ درصد) از کل حجم انرژی بخش صنعت را مصرف می‌نمایند. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که تقریباً کل انرژی مصرفی بخش صنعت در شرایط کارا و متناسبی مصرف می‌گردد. از سویی دیگر، صنایع با شدت بالاتر از مقدار متوسط بخش صنعت شامل صنایع با کد ۳۵ (صنعت تولید سایر وسایل حمل و نقل) کد ۳۷ (صنعت بازیافت) کد ۱۶ (صنعت تولید محصولات از توتون) کمتر از ۲ درصد انرژی کل صنعت را در جریان تولید و توزیع خود مصرف می‌نمایند. اما این مقدار ناچیز از سهم مصرف انرژی، در قیاس با دیگر صنایع و مقدار متوسط صنعت، به صورت ناکارتر مصرف می‌شود. در کل می‌توان به این نتیجه رسید که انرژی در بخش صنعت ایران تقریباً به صورت کارا مصرف می‌شود. همانطور که در بخش شدت انرژی (جداول ۴ و ۵) بیان گردید، مهمترین علت آن اثر منفی تولیدی و جانشینی بر مقدار شدت انرژی است.

جدول ۷- طبقه‌بندی صنایع بر اساس شاخص شدت انرژی (درصد)

درجه شدت انرژی	کد صنایع	تعداد صنایع	سهم مصرف انرژی
شدت بالاتر از شدت متوسط انرژی	۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۱، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۱، ۳۴، ۳۶، ۱۵	۱۵	۹۸/۵۶ *
شدت کمتر از شدت متوسط انرژی	۱۶، ۲۰، ۲۲، ۳۰، ۳۲، ۳۳، ۳۵، ۳۷	۸	۱/۴۴

ماخذ: یافته‌های تحقیق

۶- جمع‌بندی

هدف از این پژوهش بررسی شدت انرژی صنایع ۲۳ گانه اقتصاد ایران و تجزیه شدت انرژی با اولویت بررسی نقش تغییرات تکنولوژی بر شاخص شدت انرژی مصرفی صنایع ایران می‌باشد. بر اساس آمارهای مرکز آمار ایران، صنعت اساسی و انرژی‌بر تولید فلزات اساسی (کد ۲۷) و صنعت تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی (کد ۲۶)، در مجموع ۵۰ درصد از انرژی بخش صنعت را به خود اختصاص داده‌اند. به عبارت دیگر، حدود نیمی از میزان انرژی مصرفی کل صنعت ایران در دوره ۹۰-۱۳۷۸ در اختیار تنها ۲ صنعت قرار دارد و از منظر و دیدگاه میزان انرژی‌بری، صنایع کد ۲۶ و ۲۷ از صنایع مهم در زمینه مصرف انرژی می‌باشند.

بر اساس یافته‌ها، در سطح متوسط داده‌های صنایع ۲۳ گانه، با توجه به اینکه غالب صنایع مقادیر تکنولوژی مثبت دارند، تغییرات تکنولوژی کل صنعت مثبت ارزیابی شده و روند رو به صعودی با مقدار ۰/۴۹ درصدی در جهت کاهش هزینه را به خود اختصاص داده‌اند. تجزیه شاخص تغییرات تکنولوژی در سطح متوسط داده‌ها دلالت بر این دارد که تکنولوژی خالص مهمترین جزء در شاخص تغییرات تکنولوژی به شمار می‌رود. در حقیقت سرمایه گذاری صنایع در قسمت تجهیزات و روند تولیدات محصول، مهمترین فاکتور در کاهش هزینه واحد محصول در صنعت ایران به شمار می‌رود.

بررسی مقادیر شدت انرژی مصرفی با راهکار پارامتریک حاکی از آن است که شدت انرژی کلیه صنایع بزرگتر از صفر می‌باشد و دو صنعت تولید محصولات پلاستیکی (کد ۲۵) و تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی (کد ۲۶) با مقادیر شدت انرژی ۰/۰۲ درصد کمترین مقدار شدت انرژی (بالاترین مقدار کارایی مصرف انرژی) در میان ۲۳ صنعت را به خود اختصاص داده‌اند. تجزیه شدت انرژی به چهار اثر کلی بودجه‌ای، جانشینی، تولیدی و تکنولوژی، حاکی از آن است که اثر بودجه‌ای با متوسط مقدار ۰/۴۱ درصد، مهمترین عامل شدت انرژی به شمار می‌رود و اثر تکنولوژی با مقدار ۰/۱۶ درصد، کم‌اثرترین فاکتور تعیین کننده شدت انرژی در صنعت است. با در نظر گرفتن این مسئله، می‌توان دریافت که قیمت نهاده‌ها و بالاخص قیمت نهاده انرژی، مهمترین عامل شدت انرژی می‌باشد. در حقیقت با توجه به اثر مثبت بودجه‌ای (E_E) با مقدار متوسط ۰/۴۱ درصد و

همچنین اثر قیمت انرژی (e_{EE}) با مقدار متوسط ۰/۰۴ درصد، افزایش قیمت انرژی (با توجه به قیمت بسیار اندک انرژی در ایران به دلیل پرداخت یارانه به این نهاد توسط دولت) نه تنها موجب کاهش نسبت مصرف انرژی به تولید محصول نمی‌گردد، بلکه موجب افزایش این نسبت نیز می‌گردد و کارایی مصرف انرژی را کاهش می‌دهد. این مسئله ناشی از قیمت بسیار اندک انرژی و فراوانی این نهاد در ایران می‌باشد که موجب تقلیل هزینه تولید و نهایتاً موجب وابستگی بسیار زیاد صنایع به مصرف نهاد انرژی جهت تولید محصول می‌گردد.

با توجه به مقادیر محاسبه شده از ارتباط متقابل تکنولوژی تولید و شدت انرژی، فرایند تکنولوژی صنایع، فرایندی انرژی‌بر بوده و رشد تکنولوژی موجب افزایش مصرف انرژی در فرایند تولیدات صنعت و در نهایت افزایش شدت انرژی می‌شود که این مقدار در سطح متوسط صنایع به مقدار ۰/۰۱۶ درصد در دوره ۱۳۷۸-۱۳۹۰ می‌رسد. بررسی ارتباط میان سهم انرژی‌بری صنایع از کل انرژی صنعت یا شدت انرژی (صنایعی که سهم انرژی بالایی را دارند) شدت انرژی کمی را دارا هستند و برعکس، صنایعی که سهم انرژی پایینی را دارند، شدت انرژی بالایی را ثبت نموده‌اند. طبقه‌بندی صنایع به دو دسته صنایع با شدت بالاتر از مقدار متوسط انرژی کل صنعت (صنایع با شدت بالا) و صنایع با شدت پایین‌تر از مقدار متوسط انرژی کل صنعت (صنایع با شدت کم) نیز مؤید این مسئله هست و نشان می‌دهد که ۹۸/۵۶ درصد از کل انرژی مصرفی بخش صنعت توسط صنایع با شدت کم مصرف شده است و تنها بخش ناچیزی از انرژی مصرفی بخش صنعت ایران در فرآیند تولید صنایع با شدت بالا (۸ صنعت کد ۲ رقمی) به کار گرفته می‌شود.

۷- منابع

الف) فارسی

- ۱- آرمن، سید عزیز و سمیرا تقی زاده (۱۳۹۲)، «بررسی عوامل مؤثر بر شدت انرژی در صنایع کارخانه‌ای ایران»، فصلنامه اقتصاد انرژی، دوره ۲، صفحات ۲۰-۱.

- ۲- بنی اسدی، مصطفی و رضا محسنی (۱۳۹۳)، «اثر شوک‌های دائمی و موقت بهره‌وری بر شدت مصرف انرژی در ایران (کاربرد روش بلانچارد- کوآ)»، *فصلنامه اقتصاد انرژی ایران*، دوره ۳، صفحات ۴۱-۶۵.
- ۳- بهبودی، داوود، اصلانی نیا، نسیم میهن و سکینه سجودی (۱۳۸۹)، «تجزیه شدت انرژی و بررسی عوامل مؤثر بر آن در اقتصاد ایران»، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، دوره ۷، صفحات ۱۰۵-۱۳۰.
- ۴- جهانگرد، اسفندیار و هدیه تجلی (۱۳۹۰)، «تجزیه شدت انرژی‌بری در صنایع کارخانه-ای ایران»، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، دوره ۸، صفحات ۵۸-۲۵.
- ۵- حیدری، ابراهیم (۱۳۹۰)، «تخمین معادله رگرسیون خطی فازی شدت انرژی در بخش صنعت ایران»، *فصلنامه اقتصاد مقداری (فصلنامه بررسی‌های اقتصادی)*، دوره ۸، صفحات ۱-۲۸.
- ۶- شهیکی تاش، محمد نبی 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، صفحات ۹۳-۱۳۰.
- ۷- صادقی سید کمال و سکینه سجودی (۱۳۹۰)، «مطالعه عوامل مؤثر بر شدت انرژی در بنگاه‌های صنعتی ایران»، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، دوره ۸، صفحات ۱۸۰-۱۶۳.
- ۸- گلی، زینت و 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، صفحات ۳۵-۵۴.

(ب) انگلیسی

- 1- Akkemik, K. A., (2009), "Cost function Estimates, Scale Economies and Technological Progress in the Turkish Electricity Generation Sector", *Energy Policy*, Vol. 37, pp. 204-213.
- 2- Chontanawat, J., Wiboonchutikula, P. and A. Buddhivanich (2014), "Decomposition Analysis of the Change of Manufacturing Industries in Thailand", *Energy*, Vol. 77, pp. 171-182.
- 3- Christensen, L. R. and W. H. Greene (1976), "Economies of Scale in U.S. Electric Power Generation", *Journal of Political Economy*, Vol. 84, pp. 655-676.

- 4- Christensen, L. R., Jorgenson, D. W. and L. J. Lau (1973), "Transcendental Logarithmic Production Function", *Review of Economics and Statistics*, Vol. 55, pp. 28-45.
- 5- Ebadi, J. and M. S. Mousavi (2006), "The Economies of Scale in Iran Manufacturing establishments", *Iranian Economic Review*, Vol. 11.
- 6- Feng, G. and A. Serletis (2010), "Efficiency, Technical Change and Returns to Scale in Large US Banks: Panel Data Evidence from an Output Distance Function Satisfying Theoretical Regularity", *Journal of Banking & Finance*, Vol. 34, pp. 127-138.
- 7- Gonzalez, P. F. and R. P. Suarez (2003), "Decomposition the Variation of Aggregate Electricity Intensity in Spanish Industry", *Energy*, Vol. 28, pp. 171-184.
- 8- Hajko, V. (2014), "The Energy Intensity Convergence in the Transport Sector", *Procedia Economics and Finance*, Vol. 12, pp. 199-205.
- 9- Jingjing, L. (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).
- 10- Lin, B. and K. Du (2014), "Decomposition Energy Intensity Change: A Combination of Index Decomposition Analysis and Production-Theoretical Decomposition Analysis", *Applied Energy*, Vol. 129, pp. 158-165.
- 11- Ma, H., Oxley, L. and J. Gibson (2009), "Substitution Possibilities and Determinants of Energy Intensity for China", *Energy Policy*, Vol. 37, pp. 1793-1804.
- 12- Ma, H., Oxley, L., Gibson, J. and B. Kim (2009), "Modeling China's Energy Consumption Behavior and Changes in Energy Intensity", *Environmental Modeling & Software*, Vol. 24, pp. 1293-1301.
- 13- 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 Economic*, Vol. 30, pp. 2167-2183.
- 14- Nanag, D. M. and A. Ghebremichael (2006), "Inter Regional Comparisons of Production Technology in Canada's Timber Harvesting Industries", *Forest Policy and Economics*, Vol. 8, pp. 797-810.
- 15- Okajima, S. and H. Okajima (2013), "Analysis of Energy Intensity in Japan", *Energy Policy*, Vol. 61, pp. 574-586.
- 16- Shephard, R. S. (1970), "Theory of Cost and Production Functions", Princeton University Press, Princeton, NJ.
- 17- Su, B., and B. W. Ang (2012), "Structural Decomposition Analysis Applied to Energy and Emissions: Some Methodological Developments", *Energy Economics*, Vol. 34, pp. 177-188.
- 18- Tanase, I. and A. Tidor (2012), "Efficiency Progress and Productivity Change in Romania Machinery Industry 2001-2010", *Procedia Economics and Finance*, Vol. 3, pp. 1055-1062.