فصلنامهٔ اقتصاد و الگوسازی
دانشگاه شهید بهشتی، پاییز و زمستان ۱۳۹۱

Quarterly Journal of Economics and Modelling
Shahid Beheshti University

ارزیابی ویژگی‌های صنایع بر شدت انرژی صنایع تولیدی در ایران

دکتر محمود محمودزاده *
سمیه صادقی **
ثریا صادقی ***

چکیده

هدف این مقاله، شناسایی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر شدت انرژی در صنایع تولیدی ایران با تأکید بر ویژگی‌های صنایع طی دوره زمانی ۸۶-۱۳۷۴ با استفاده از روش پانل پویا (GMM) است. نتایج نشان می‌دهد هر یک از شاخص‌های شدت سرمایه‌بری، شدت کاربری، شدت تعمیرات‌بری، شدت صادرات بری، شدت سرمایه‌گذاری فاوا اثر مثبت و معنادار بر شدت انرژی دارند. شدت واردات تکنولوژی نیز اثر مثبت بر شدت انرژی دارد که به لحاظ آماری معنادار نمی باشد. همچنین آیتم‌های خطی و غیر خطی اندازهٔ صنعت، اثر منفی و معنادار بر شدت انرژی دارند. به عبارت دیگر، رابطهٔ یکنواخت کاهشی بین اندازهٔ صنعت و شدت انرژی برقرار است. علاوه بر آن، قیمت انرژی اثر منفی و معنادار بر شدت انرژی دارد.

کلید واژه‌ها: *شدت انرژی، قیمت انرژی، ویژگی‌های صنایع، الگوی GMM*
طبقه‌بندی JEL: *Q4, B23*

* عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فیروزکوه، گروه اقتصاد (نویسنده مسئول)، mahmod.ma@yahoo.com
** عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فیروزکوه، گروه اقتصاد، somysadeghi@yahoo.com
*** کارشناس ارشد علوم اقتصادی، soysadeghi@yahoo.com

تاریخ دریافت
۹۲/٤/۲٤
تاریخ پذیرش
۹۳/۳/۲٤

۱. مقدمه

در دهه‌های اخیر، همراه با فرایند رشد و توسعهٔ اقتصادی، تقاضای انرژی، به‌ویژه در بخش صنعت، به سرعت در حال افزایش است، طوری‌که انرژی به عنوان یکی از نهاده‌های مهم در الگوهای تولید به شمار می‌رود. از سوی دیگر، به دلیل محدودیت و کمیابی برخی منابع انرژی و تجدید ناپذیری آنها، صرفه‌جویی و بهینه‌سازی مصرف انرژی ضروری است. با توجه به این دو ویژگی مهم انرژی، بحث کارایی انرژی، به‌ویژه در صنایع تولیدی، بین محققان اقتصادی از اهمیت بسزایی برخوردار است. بدیهی است اولین و مؤثرترین گام در بحث کارایی انرژی، شناسایی مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر شدت انرژی است. برخی از صاحبنظران اقتصادی معتقدند با استفاده از سیاست‌هایی مانند اصلاح قیمت حامل‌های انرژی می‌توان صنایع را به سمت مصرف بهینه انرژی هدایت نمود. در مقابل، گروهی دیگر از صاحبنظران اقتصادی بر این باورند که اگر چه اصلاح قیمت حامل‌های انرژی مهم است اما تنها عامل مهم اثرگذار نیست و به ویژگی‌های هر صنعت نیز بستگی دارد. با توجه به اینکه در بیشتر مطالعات داخلی، فقط به دو عامل قیمت انرژی (به‌ویژه اصلاح قیمت‌های انرژی) و فناوری توجه شده، در نتیجه می‌توان گفت مجموعه‌ای از عوامل مهم اثرگذار بر شدت انرژی در ادبیات اقتصادی و تجربی صنایع تولیدی ایران گشوده نشده است. بنابراین، هدف مطالعهٔ حاضر، بررسی عوامل مهم اثرگذار بر شدت انرژی صنایع تولیدی با تأکید بر ویژگی‌های صنایع است. بی‌تردید نتایج این پژوهش، به سیاستگذاران و صاحبان صنایع تولیدی کمک می‌کند تا با توجه به اولویت‌ها، سیاست‌های مناسب در جهت مدیریت صحیح منابع انرژی اتخاذ نمایند.

ادامهٔ مقالهٔ حاضر به صورت زیر تدوین شده است: ابتدا ادبیات موضوع بیان می‌شود. در بخش بعد، پژوهش‌های تجربی مرور می‌گردد. سپس حقایق آشکار شده روند شدت انرژی در بخش صنعت و همچنین نمودارهای پراکنش بین شدت انرژی و ویژگی‌های هر صنعت ارائه می‌شود. در ادامه، روش پژوهش و نتایج تجربی آورده می‌شود. بخش پایانی به نتیجه‌گیری و توصیه‌های سیاستی اختصاص یافته است.

۲. ادبیات موضوع

شدت انرژی[1]، یکی از مؤلفه‌های کلیدی تعیین‌کنندهٔ تقاضای انرژی، به عنوان معیاری برای اندازه‌گیری و ارزیابی کارایی انرژی در اقتصاد است که به صورت عملیاتی از نسبت واحدهای انرژی مصرف شده (بشکهٔ نفت خام) به ارزش یک واحد تولید (بر حسب دلار) به دست می‌آید.

فیشر، جفرسون، لیو و تاو[2] (۲۰۰۴) با استفاده از روش حداقل‌سازی تابع هزینهٔ کل با فرم کاب- داگلاس مهم‌ترین عوامل اثرگذار را بر شدت انرژی استخراج کردند که عبارت است از:

$$C(P_K, P_L, P_E, P_M, Q) = T^{-1} P_K^{\propto_K} P_L^{\propto_L} P_E^{\propto_E} P_M^{\propto_M} Q \qquad (۱)$$

که در آن، C تابع هزینه، Q میزان تولید، P_K قیمت نهادهٔ سرمایه، P_L قیمت نهادهٔ کار، P_E قیمت نهادهٔ انرژی، P_M قیمت نهادهٔ مواد اولیه است. همچنین $\propto_K$، $\propto_L$، $\propto_E$ و $\propto_M$ به ترتیب کشش‌های قیمتی نهاده‌هاست. متغیر T نیز بیانگر فناوری است.

بر اساس لم شفرد، مقدار تقاضای هر نهاده برابر مشتق تابع هزینهٔ نسبت به قیمت آن نهاده است. بنابراین مقدار تقاضای نهاده برای نهاده انرژی (E) به صورت زیر است:

$$E = \frac{\propto_E T^{-1} P_K^{\propto_K} P_L^{\propto_L} P_E^{\propto_E} P_M^{\propto_M} Q}{P_E} \qquad (۲)$$

با توجه به تعریف شدت انرژی، اگر طرفین را بر Q تقسیم کنیم، شدت انرژی تعادلی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\frac{E}{Q} = \frac{\propto_E T^{-1} P_K^{\propto_K} P_L^{\propto_L} P_E^{\propto_E} P_M^{\propto_M}}{P_E} \qquad (۳)$$

رابطهٔ (۳) نشان می‌دهد که مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر شدت انرژی عبارت است از: فناوری (بهره‌وری کل عوامل) و قیمت نسبی سایر نهاده‌ها به نهادهٔ انرژی. به طور کلی، هر چه سطح فناوری پیشرفته باشد، برای دستیابی به میزان معین تولید، نهاده‌های تولید کمتری مورد نیاز است. بنابراین، پیشرفت فناوری امکان افزایش کارایی انرژی را در وسایل انرژی‌بر فراهم می‌کند و موجب کاهش شدت انرژی می‌شود. همچنین بین عامل قیمت

1. Energy Intensity
2. Fisher, Jefferson, Liu & Tao

نسبی سایر نهاده‌ها به قیمت انرژی و شدت انرژی، رابطهٔ مستقیم وجود دارد. به عبارت دیگر، هر چه قیمت سایر نهاده‌ها نسبت به نهادهٔ انرژی بیشتر باشد، انرژی نهادهٔ ارزان‌تری نسبت به سایر نهاده‌ها محسوب می‌شود. بنابراین، تمایل به جایگزینی نهاده انرژی به جای سایر نهاده‌ها بیشتر خواهد بود.

گروهی از پژوهشگران اقتصادی نیز معتقدند که عدم همگن بودن بنگاه‌های اقتصادی خرد، بررسی عوامل مؤثر بر شدت انرژی در سطح کلان را با چالش مواجه می‌سازد، زیرا شدت انرژی کل چیزی جز مجموع شدت انرژی بنگاه‌های اقتصادی با ویژگی‌های متفاوت نیست. در نتیجه توجه به متغیرهای خرد در تعیین شدت انرژی ضرورت دارد. به عبارت دیگر، این گروه بیان می‌کنند شدت مصرف انرژی علاوه بر متغیرهای قیمتی و فناوری، به ویژگی‌های هر صنعت نیز بستگی دارد. یکی از این ویژگی‌ها، اندازهٔ هر صنعت است. ادبیات نظری در بارهٔ چگونگی اثرگذاری اندازهٔ صنعت بر شدت انرژی متفاوت است، طوری‌که براساس نظریهٔ صرفه‌های مقیاس تولید، همراه با افزایش اندازهٔ صنعت، متوسط هزینه‌های تولید کاهش می‌یابد، زیرا صنایع بزرگ در خرید نهاده‌ها از جمله انرژی قدرت چانه‌زنی بالاتری دارند. از طرفی، توان مالی کافی جهت خرید یا خلق تکنولوژی‌های کاراتر را نیز دارا هستند. در نتیجه انتظار می‌رود به همراه افزایش اندازه صنعت، شدت انرژی کاهش یابد (Kleijweg et al., 1990; Kumar, 2003). برخی دیگر بیان می‌کنند چون صنایع کوچک و متوسط در محیط رقابتی‌تر قرار می‌گیرند، در نتیجه به منظور کاهش هزینه‌های تولید، انگیزهٔ لازم جهت استفاده از نوآوری‌ها و همچنین بکارگیری تجهیزات و فناوری‌های پیشرفته و کارا را دارند. بنابراین بازده انرژی در این صنایع بیشتر می‌شود. به عبارت دیگر، از شدت انرژی کمتری برخوردارند (Papadognas et al, 2005). در مقابل این دو نظریه، برخی مطالعات تجربی وجود رابطهٔ U معکوس بین اندازهٔ صنعت و شدت انرژی را تأیید نمودند. به عبارت دیگر، در ابتدای فرایند تولید، همراه با افزایش اندازهٔ صنعت، شدت انرژی افزایش می‌یابد و سپس به دلیل صرفه‌های مقیاس، کاهش می‌یابد (Sahu and Narayanan).

شدت سرمایه‌بری[1] هر صنعت، ویژگی مهم دیگری است که شدت انرژی صنایع را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به طور کلی، اثر سرمایهٔ فیزیکی بر شدت انرژی بستگی به رابطه جانشینی یا مکملی این دو نهاده تولید دارد و چون اقتصاددانان درباره جانشین یا مکمل بودن این دو نهاده اتفاق نظر ندارند، بنابراین نمی‌توان درباره اثر شدت سرمایه فیزیکی بر شدت انرژی نتیجه‌گیری کلی نمود (Griffin and Gregory, 1976; Graciela and Geoffrey, 1993). البته این اعتقاد کلی وجود دارد که صنایع با شدت سرمایهٔ فیزیکی بالاتر عمدتاً دارای تجهیزات و ماشین‌آلات انرژی‌بر بیشتری هستند. به عبارت دیگر، هر چه شدت سرمایه‌بری صنعتی بیشتر باشد، شدت انرژی‌بری آن نیز بالاتر است (Kumar, 2003; Goldar, 2010; Irawan et al., 2010).

شدت کاربری، مؤلفه دیگری است که بر شدت انرژی صنعت مؤثر است، طوری‌که با افزایش نرخ دستمزدها، صنایع تمایل بیشتری به جایگزینی سایر نهاده‌ها از جمله تجهیزات سرمایه‌ای به جای نیروی کار خواهند داشت. بنابراین در صورتی که رابطهٔ مثبت بین شدت سرمایه فیزیکی صنعت و شدت انرژی برقرار باشد، افزایش نرخ دستمزد اثر مثبت بر شدت انرژی دارد (Kumar, 2003).

شدت صادرات‌بری[2] متغیر اثرگذار دیگر بر شدت انرژی صنایع است. صنایع صادرات‌محور علاوه بر وجود صرفه‌های مقیاس تولید، عمدتاً از کارایی بالاتری نیز برخوردارند، در نتیجه انتظار می‌رود شدت انرژی کمتری داشته باشند. به عبارت دیگر، با افزایش صادرات، به دلیل پیامدهای خارجی صادرات، بهره‌وری، افزایش و شدت انرژی کاهش می یابد (Goldar, 2010).

متغیر دیگری که می‌تواند شدت انرژی صنایع را تحت تأثیر قرار دهد، شدت هزینهٔ تعمیرات[3] هر صنعت است که کارایی تجهیزات تولید را نشان می‌دهد. بنابراین هر چه هزینهٔ هزینهٔ تعمیرات تجهیزات و ماشین‌آلات تولید در صنعتی بالاتر باشد، شدت انرژی‌بری بیشتری دارد (Kumar, 2003; Sahu & Narayanan, 2009; Goldar, 2010).

1. Capital Intensity
2. Export Intensity
3. Repair Intensity

هزینهٔ واردات تکنولوژی مؤلفه دیگری است که بر شدت انرژی صنایع به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه اثر می‌گذارد. به طور کلی، واردات تکنولوژی مهم‌ترین منبع کسب دانش برای هر یک از صنایع است که در واقع نوعی سرمایه‌گذاری اقتصادی برای هر صنعت به شمار می‌رود. در این صورت انتظار می‌رود همراه با افزایش هزینه‌های واردات تکنولوژی، شدت مصرف انرژی نیز افزایش یابد، زیرا تلاش فنی برای جذب آن، انرژی بیشتری نیاز دارد (Kumar, 2003; Goldar, 2010).

سرمایه‌گذاری فناوری اطلاعات و ارتباطات (فاوا)[1] متغیر دیگری است که نقش مهمی در کارایی انرژی بویژه در تولیدات انرژی‌بر ایفا می‌کند. بر اساس ادبیات تئوریکی، سرمایه‌گذاری فاوا از دو طریق متفاوت بر مصرف انرژی اثر می‌گذارد: سرمایه‌گذاری فاوا از طریق فرایند ابداع (جانشینی تکنولوژی جدید با تکنولوژی قدیمی تولید) سبب تغییر در ساختار صنعتی و در نتیجه افزایش بهره‌وری می‌شود، طوری که با سطوح پایین‌تری از مصرف انرژی همراه است (اثر جانشینی[2]). از سوی دیگر، تولید کالاها و خدمات فاوا با تأثیر بر تولید ناخالص داخلی، سبب افزایش رونق اقتصادی می‌شود و در نتیجه مصرف انرژی افزایش می‌یابد. همچنین تجهیزات فاوا نوعاً با الکتریسیته کار می‌کنند، نصب و فعالیت تجهیزات جدید فاوا، تقاضای الکتریسیته را افزایش می‌دهد (اثر درآمدی[3]). بنابراین اثر کلی سرمایهٔ فاوا بر مصرف انرژی شفاف نیست و بستگی به برایند دو اثر جانشینی و درآمدی دارد (Pasinetti, 1981; Edquist et al., 2001).

شایان ذکر است در برخی از پژوهش‌های تجربی، متغیرهای مهم دیگری نیز در تابع شدت انرژی مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این میان می‌توان به متغیرهای R&D به عنوان مخارج پژوهش و توسعه (Kumar and Saqib, 1996; Narayanan and Banarjee, 2006; Sahu & Narayanan, 2009)، حاشیهٔ سود (Kumar, 2003)، مالکیت خارجی یا داخلی صنعت (Goldar, 2010) و مالکیت خصوصی یا دولتی (Irawan, 2010) اشاره نمود.

1. ICT investment
2. Substitution effect
3. Income effect

۳. مطالعات تجربی

وندن و همکاران (۲۰۰۲) به بررسی عوامل مؤثر بر شدت انرژی بنگاه‌های اقتصادی در کشور چین طی دوره زمانی ۹۹-۱۹۹۷ با نمونه‌گیری از ۲۵۰۰ بنگاه اقتصادی پرداختند. نتایج با استفاده از روش OLS نشان داد قیمت انرژی و مخارج R&D اثر معنی‌داری بر کاهش شدت انرژی دارند، در حالی‌که نوع مالکیت تأثیر چندانی نداشته است.

کومار (۲۰۰۳) عوامل مؤثر بر شدت انرژی را با توجه به ویژگی‌های بنگاه‌های اقتصادی در کشور هند طی دوره زمانی ۲۰۰۲- ۱۹۹۵ با استفاده از روش پانل دیتا ارزیابی کرد. نتایج نشان داد رابطهٔ معکوس بین اندازهٔ بنگاه و شدت انرژی وجود دارد. همچنین بنگاه‌ها دارای مالکیت خارجی در مقایسه با مالکیت داخلی، به دلیل برخورداری از سطح تکنولوژی کاراتر، شدت انرژی کمتری دارند. علاوه بر آن، مخارج R & D نقش قابل توجهی در کاهش شدت انرژی بری بنگاه‌ها دارد.

پاپادوگوناز و همکاران[1] (۲۰۰۷) به بررسی عوامل تعیین کننده شدت انرژی در یونان پرداختند. نتایج نشان داد اندازهٔ صنعت و فناوری اثر منفی و معنادار بر شدت انرژی دارند، در حالی‌که اثر شدت سرمایه فیزیکی بر شدت انرژی مثبت است.

ساهو و نارایان (۲۰۰۹) به بررسی عوامل تعیین‌کنندهٔ شدت انرژی با توجه به ویژگی‌های بنگاه‌های اقتصادی در صنایع کارخانه‌ای هند طی دوره زمانی ۰۸-۲۰۰۶ با استفاده از روش OLS پرداختند. نتایج نشان داد رابطهٔ U معکوس بین اندازهٔ بنگاه و شدت انرژی وجود دارد. همچنین بنگاه‌ها با مالکیت خارجی و بنگاه‌ها با مخارج R&D بالاتر، شدت انرژی پایین‌تری دارند.

ایرآون و همکاران (۲۰۱۰) عوامل اثرگذار بر شدت انرژی را با توجه به ویژگی‌های بنگاه‌های اقتصادی در صنایع کارخانه‌ای اندونزی پرداختند. نتایج نشان داد متغیرهای شدت سرمایه‌بری، مالکیت خصوصی در مقایسه با دولتی، عمر بنگاه و سطح دستمزد، اثر مثبت و معنی‌داری بر شدت انرژی دارند، در حالی‌که متغیرهای تکنولوژی و اندازهٔ بنگاه تأثیر منفی دارند.

1 Papadogonas et al

سادروسکی[1] (۲۰۱۲) اثر سرمایه‌گذاری فاوا را بر مصرف الکتریسیته در اقتصادهای نوظهور با استفاده از روش پانل پویا بررسی کرد. نتایج نشان داد که سرمایه‌گذاری فاوا اثر مثبت و معناداری بر مصرف الکتریسیته دارد؛ همچنین اثر فاوا بر مصرف الکتریسیته بیشتر از اثر افزایش رشد اقتصادی بر آن است.

بهبودی، اصلانی‌نیا و سجودی (۱۳۸۹) با استفاده از روش تجزیه به بررسی شناسایی عوامل مهم مؤثر بر تغییرات شدت انرژی در ایران در دوره زمانی ۸۵-۱۳۴۷ پرداختند. نتایج رگرسیونی ARDL نشان داد افزایش شدت انرژی در کشور، بر اثر تغییر ساختار فعالیت‌های اقتصادی و نیز کاهش بهره‌وری در بهره‌گیری از انرژی بوده است. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده، یکی از عوامل بسیار تأثیرگذار بر شدت انرژی، قیمت آن است، طوری که حساسیت شدت انرژی نسبت به قیمت انرژی، بسیار زیاد است.

محمودزاده و صادقی(۱۳۹۰) به بررسی اثر حذف یارانه انرژی برق بر شدت انرژی در صنایع تولیدی ایران طی دوره زمانی ۸۶-۱۳۷۴ با استفاده از روش GMM پرداختند. نتایج با استفاده از تابع هزینه با فرم کاب- داگلاس، نشان داد رابطهٔ منفی و معنی‌داری بین شدت انرژی برق و قیمت آن وجود دارد و افزایش شاخص قیمت سایر نهاده‌ها، موجب جایگزینی انرژی برق به جای سایر نهاده‌ها می‌شود. همچنین با پیشرفت فناوری در طی زمان، شدت انرژی کاهش می‌یابد. سپس نتایج حاصل از سناریوی آزادسازی قیمت برق، با فرض افزایش یکنواخت قیمت اسمی در دوره زمانی ۹۳-۱۳۸۹ نشان داد پس از آزادسازی قیمت برق، شدت انرژی کاهش می‌یابد، طوری که بیشترین میزان کاهش در سال اول اجرای سیاست آزادسازی بوده و در سال‌های بعد، از میزان کاهش شدت انرژی کاسته شده است.

صادقی و سجودی (۱۳۹۰) به بررسی رابطه بین شدت انرژی و برخی ویژگی‌های منتخب صنایع کارخانه‌ای ایران با استفاده از روش OLS در سال ۱۳۸۶ پرداختند. نتایج نشان داد رابطهٔ مستقیم بین اندازهٔ بنگاه و شدت انرژی وجود دارد. نوع مالکیت اثر معنی‌داری بر شدت انرژی دارد، طوری که بنگاه‌های خصوصی شدت انرژی کمتری دارند. متغیر مجازی مخارج پژوهش و توسعه اثر معنی‌داری بر کاهش شدت انرژی بنگاه نداشته است. همچنین شدت

1. Sadorsky

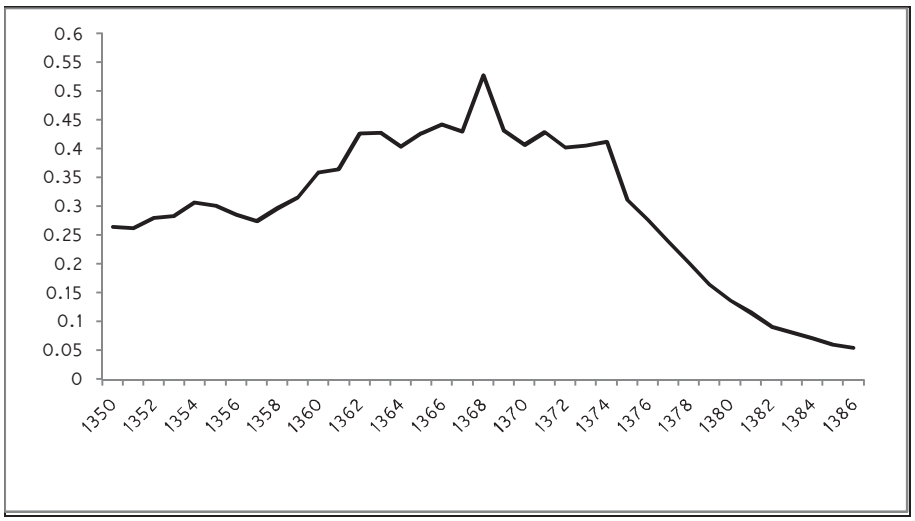
سرمایهٔ فیزیکی و نرخ دستمزد اثر مثبت بر شدت انرژی بنگاه دارند.

٤. حقایق آشکار شده

یکی از مؤلفه‌های کلیدی که نحوهٔ مصرف انرژی و میزان انرژی‌بری را نشان می‌دهد، شاخص شدت انرژی است. شدت انرژی کل صنعت از نسبت مجموع میزان مصرف نهایی انرژی شامل برق، بنزین، گاز طبیعی، گاز مایع، گازوئیل، نفت سفید، نفت سیاه و کوره (برحسب بشکه نفت خام) به ارزش افزوده کل صنعت (میلیون ریال) محاسبه می‌شود[1]. نمودار ۱ روند شدت انرژی کل صنعت را طی دوره ۸۶-۱۳۵۰ نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود شدت انرژی کل صنعت، پیش از سال ۱۳۷۰ نوسانات زیادی داشته، طوری که عمده این نوسانات را می‌توان در بی‌ثباتی‌های اقتصادی ناشی از وقوع انقلاب و جنگ تحمیلی و در نتیجه افت کارایی صنایع جستجو نمود. پس از پایان جنگ تحمیلی، آغاز برنامه‌های توسعه‌ای و سیاست‌های حمایتی دولت مبنی بر تجهیز صنایع به ماشین‌آلات وارداتی کارا، شدت انرژی کل صنعت طی سال‌های ۸۶-۱۳۷۴ از روند کاهشی برخوردار شد. دلیل اصلی این روند کاهشی، افزایش قیمت نفت و در نتیجه تاثیر مثبت آن بر ارزش افزوده صنایع می‌باشد و متأثر از بهبود کارایی مصرف انرژی نیست (بانک مرکزی ایران، ۱۳۸۹). جدول ۱ نیز صحت و درستی مطلب فوق را تأیید می‌کند. براساس این جدول، با افزایش ارزش افزودهٔ صنایع، مصرف انرژی نیز روندی افزایشی می‌یابد، بنابراین کاهش شدت انرژی صنایع تولیدی نمی‌تواند به دلیل بهبود کارایی مصرف انرژی باشد.

در ادامه، به منظور بررسی رابطه بین هر یک از ویژگی‌های صنایع و شدت انرژی از نمودار پراکنش استفاده می‌شود. نمودار پراکنش، توزیع دو متغیره دو متغیر کمی را نشان می‌دهد و بهترین تصویر برای نشان دادن همبستگی بین دو متغیر است. نمودار ۲ پراکنش بین ویژگی‌های صنایع و شدت انرژی را نشان می‌دهد. همان طورکه مشاهده می‌شود بین ویژگی‌های شدت سرمایه‌بری، شدت صادرات‌بری، شدت تعمیرات‌بری، شدت واردات تکنولوژی، شدت سرمایه‌گذاری فاوا و شدت انرژی رابطهٔ مثبت برقرار است، در حالی‌که بین اندازهٔ صنعت و شدت انرژی رابطهٔ منفی برقرار است.

۱. شاخص شدت انرژی بر حسب قیمت ثابت سال ۱۳۸۳ است.



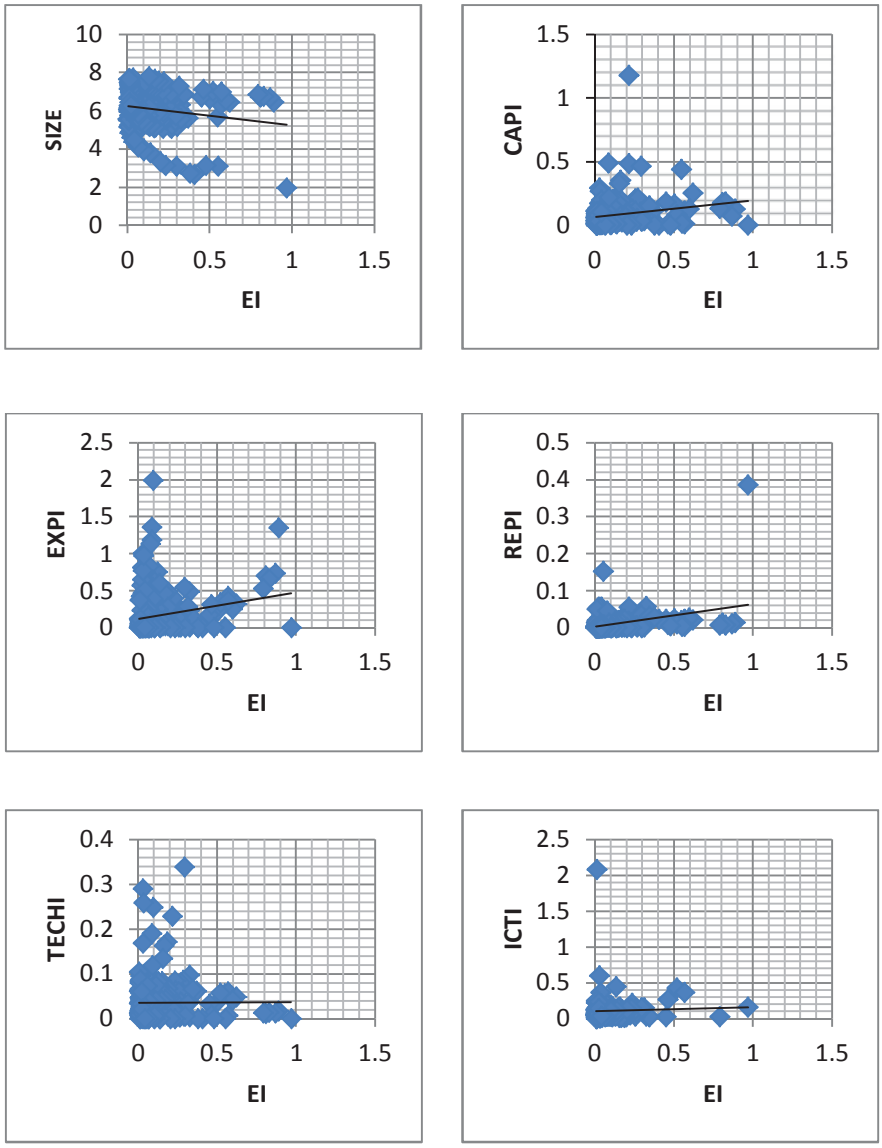
نمودار ۱. روند شدت انرژی کل صنعت طی دوره ۸۶-۱۳۵۰، (بشکهٔ نفت خام به میلیون ریال)

منبع: تهیه شده با استفاده از داده‌های مرکز آمار ایران

جدول ۱. مصرف انرژی، ارزش افزوده و شدت انرژی کل صنعت طی دوره زمانی ۸۶-۱۳۷۴

سال	مصرف انرژی (بشکه معادل نفت خام)	ارزش افزوده (میلیون ریال)	شدت انرژی (بشکه معادل نفت خام به میلیون ریال)
۱۳۷۴	۷۵۶/۷۹۰۸۳۸۷	۱۹۲۹۲۳۹۱	۴۰۹۹۲۳/۰
۱۳۷۵	۱۱۵/۸۷۴۶۱۷۷	۲۸۰۷۴۸۰۷	۳۱۱۵۳۱/۰
۱۳۷۶	۷۱۴/۹۶۸۴۰۹۵	۳۶۹۶۱۳۴۰	۲۶۲۰۰۶/۰
۱۳۷۷	۳۱/۱۰۰۶۴۵۴۹	۴۲۰۵۹۴۲۳	۲۳۹۲۹۴/۰
۱۳۷۸	۰۵/۱۱۶۵۸۳۳۸	۵۷۷۶۲۳۶۶	۲۰۱۸۳۳/۰
۱۳۷۹	۸۷/۱۲۲۸۹۱۲۶	۷۴۴۹۱۹۶۶	۱۶۴۹۷۳/۰
۱۳۸۰	۵۵/۱۱۸۵۹۵۳۶	۸۶۶۷۵۵۶۳	۱۳۶۸۲۷/۰
۱۳۸۱	۶۷/۱۲۶۷۹۰۹۵	۱۱۰۰۶۹۷۰۲	۱۱۵۱۹۲/۰
۱۳۸۲	۸۶/۱۳۰۲۱۶۰۰	۱۴۲۴۲۰۸۷۷	۰۹۱۱۴۳/۰
۱۳۸۳	۵۶/۱۴۷۵۶۷۹۵	۱۸۱۲۶۸۱۷۱	۰۸۱۴۰۹/۰
۱۳۸۴	۶۳/۱۴۸۹۶۲۶۷	۲۰۸۲۰۰۸۹۸	۰۷۱۵۴۸/۰
۱۳۸۵	۲۷/۱۶۲۲۶۳۳۹	۲۶۹۳۹۹۶۸۷	۰۶۰۲۳۱/۰
۱۳۸۶	۴۱/۱۷۹۳۱۳۳۰	۳۲۷۱۱۰۵۰۴	۰۵۴۸۱۷/۰

منبع: تهیه شده با استفاده از داده‌های مرکز آمار ایران



شدت انرژی EI، اندازهٔ صنعت SIZE، شدت سرمایه‌بری CAPI،
شدت صادرات‌بری EXPI، شدت تعمیرات‌بری REPI،
شدت واردات تکنولوژی TECHI، شدت فاوابری ICTI

نمودار ۲. رابطهٔ بین ویژگی‌های صنایع و شدت انرژی
منبع: تهیه شده با استفاده از داده‌های مرکز آمار ایران

۵. معرفی مدل و نتایج تجربی

در مطالعهٔ حاضر، مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر شدت انرژی در صنایع تولیدی ایران با در نظر گرفتن عوامل قیمتی و ویژگی‌های صنایع، با استفاده از روش پانل بررسی می‌شوند. با توجه به ادبیات موضوع و با لگاریتم‌گیری از رابطهٔ ۳ در بخش ادبیات موضوع و با اعمال تعدیلاتی، رگرسیون زیر به دست می‌آید:

$$(LEI)_{it} = \alpha_0 + \alpha_1(\mathrm{LP_E})_{\mathrm{it}} + \alpha_2(LTechmI)_{it} + \alpha_3(\mathrm{LCapI})_{\mathrm{it}} + \alpha_4(\mathrm{LLI})_{\mathrm{it}} + \alpha_5(\mathrm{LExpI})_{\mathrm{it}} + \alpha_5(\mathrm{LRepI})_{\mathrm{it}} + \alpha_6(\mathrm{LICTI})_{\mathrm{it}} + \alpha_7(\mathrm{Size})_{\mathrm{it}} + \alpha_7(\mathrm{Size})^2{}_{\mathrm{it}} + \varepsilon_{it} \quad (۴)$$

که در آن LEI لگاریتم شدت انرژی است که از نسبت میزان مصرف انرژی هر صنعت(بر حسب بشکهٔ نفت خام) به ارزش افزوده آن صنعت (میلیون ریال) به‌دست می‌آید. متغیر $\mathrm{LP_E}$ لگاریتم قیمت انرژی است که از متوسط وزنی قیمت حامل‌های انرژی به‌دست می‌آید. متغیر LTechmI مبین لگاریتم شدت واردات فناوری است که از نسبت مخارج ارزی جهت خرید تجهیزات و ماشین‌آلات وارداتی به ارزش افزوده هر صنعت به‌دست می‌آید. متغیر LCapI لگاریتم شدت سرمایه‌بری را نشان می‌دهد که از نسبت سرمایهٔ به‌کارگرفته شده به ارزش افزودهٔ هر صنعت به‌دست می‌آید. متغیر LLI لگاریتم شدت کاربری را نشان می‌دهد که از نسبت دستمزد نیروی کار به ارزش افزوده هر صنعت به‌دست می‌آید. متغیر LExpI معرف لگاریتم شدت صادرات‌بری است که از نسبت صادرات به ارزش افزوده هر صنعت بدست می‌آید. متغیر LRepI لگاریتم شدت تعمیرات را نشان می‌دهد که از نسبت هزینهٔ تعمیرات ماشین‌آلات تولید به ارزش افزوده هر صنعت به‌دست می‌آید. متغیر LICTI لگاریتم شدت سرمایه‌گذاری فاوا را نشان می‌دهد که از نسبت سرمایه‌گذاری فاوا به کل سرمایه‌گذاری هر صنعت به‌دست می‌آید. متغیر Size اندازهٔ صنعت را نشان می‌دهد که از لگاریتم ارزش افزودهٔ هر صنعت به‌دست می‌آید. متغیر Size^2 نیز به منظور بررسی وجود رابطهٔ U معکوس یا یکنواخت (کاهشی یا افزایشی) بین اندازهٔ صنعت و شدت انرژی صنایع در مدل لحاظ شده است. همچنین i و t به ترتیب نماد صنعت و دوره زمانی است. داده‌های آماری مورد استفاده از مرکز آمار ایران و ترازنامهٔ

انرژی استخراج شده و دوره زمانی با توجه به در دسترس بودن آمارها، ۸۶-۱۳۷۴ در نظر گرفته شده است.

یک مسئلهٔ اساسی در استفاده از روش‌های برآوردیابی معمول، مانند روش حداقل مربعات خطا و ماکزیمم درست‌نمایی این است که این برآوردگرها در وضعیت تعداد مشاهدات زیاد و دوره زمانی کم جهت برآورد ضرایب مدل پانل پویا، ناسازگار است. همچنین ممکن است بعضی از فرض‌های معمول در مدل رگرسیون، مانند ناهمبستگی متغیر توضیحی و اجزای خطا برقرار نباشد. بنابراین، روش‌های دیگری مانند متغیرهای ابزاری که بر اساس تفاضل‌ها عمل می‌کند، پیشنهاد شده است. زیرا به طور کلی، در یک مدل تعداد برآوردگرهای به دست آمده بر اساس این متغیرها، به ویژه برای یک پارامتر زیاد است، از این رو، روش گشتاوری تعمیم‌یافته GMM[1] به عنوان روشی جایگزین برای برآوردیابی مدل‌های رگرسیون خطی پویای پانلی ارائه می‌گردد. شایان ذکر است که در این روش، متغیر وابسته با یک دورهٔ تأخیری به عنوان متغیر توضیحی در مدل وارد می‌شود. بنابراین در مقالهٔ حاضر، به منظور تخمین الگوهای مذکور، از رویکرد پانل پویا مبتنی بر روش تعمیم‌یافتهٔ گشتاورها استفاده شده که آرلانو- باند[2] (۱۹۹۱) بسط داده است. در این روش، برای رفع همبستگی متغیر وابسته با وقفه و جملهٔ خطا، وقفهٔ متغیرها به عنوان ابزار در تخمین‌زن GMM دومرحله‌ای به کار می‌رود. همچنین برای بررسی معتبر بودن ماتریس ابزارها در این روش از آزمون سارگن[3] استفاده می‌شود. در این آزمون، فرض صفر مبین عدم همبستگی ابزارها با اجزای اخلال است. بنابراین، رد فرض صفر، اعتبار نتایج را تأیید می‌کند (Baltagi, 2005).

نخستین گام برای تخمین الگوی فوق این است که از ایستایی متغیرهای الگو، باید اطمینان حاصل شود. بدین منظور از آزمون ایستایی ایم، پسران و شین[4] استفاده می‌شود. این این آزمون برای هر متغیر به گونه‌ای انجام شده است تا در صورت لزوم، شرایط ویژه هر صنعت را در یک جزء ثابت لحاظ کند. برای انتخاب وقفه بهینه، از معیار شوارز- بیزین

1. Generalized Method of Moments
2. Arellano & Bond
3. Sargan Test
4. Im, Pesaran and Shin

استفاده شده است. نتایج آزمون ایستایی در جدول ۲ نشان می‌دهد که همه متغیرها در سطح اطمینان ۹۵ درصد، ایستا هستند، به عبارت دیگر، دارای درجه همجمعی I(0) می‌باشند.

جدول ۲. نتایج آزمون ایستایی شین و پسران

متغیر	آماره		نتیجه
LEI	-۴,۶۰	(۰,۰۰۰)*	I(0)
LP_E	-۲,۶۱	(۰,۰۰۴)	I(0)
LTechmI	-۲,۱۸	(۰,۰۱۴)	I(0)
LCapI	-۲,۰۲	(۰,۰۲۱)	I(0)
LLI	-۴,۶۷	(۰,۰۰۰۰)	I(0)
LExpI	-۳,۹۴	(۰,۰۰۰)	I(0)
LRepI	-۴,۲۶	(۰,۰۰۰)	I(0)
LICTI	-۴,۲۷	(۰,۰۰۰۰)	I(0)
Size	-۳,۳۹	(۰,۰۰۰۳)	I(0)

*اعداد داخل پرانتز، مقدار احتمال است.

منبع: یافته‌های پژوهش

با توجه به نتایج آزمون ریشهٔ واحد و ماهیت پویای متغیرهای مدل، مناسب‌ترین روش جهت کنترل درون‌زایی متغیرها و تحلیل داده‌ها، روش پانل مبتنی بر گشتاورهای تعمیم‌یافته (GMM) است. نتایج الگوی برآوردی در جدول ۳ نشان می‌دهد اثر قیمت انرژی بر شدت انرژی منفی و معنی‌دار است، به طوری که هر یک درصد افزایش قیمت انرژی، سبب می‌شود شدت انرژی ۰/۰۳ درصد کاهش یابد. همچنین نتایج نشان می‌دهد اثر ویژگی‌های صنایع بر شدت انرژی متفاوت است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، شدت سرمایه‌بری اثر مثبت و معنی‌دار بر شدت انرژی دارد، به طوری که یک درصد افزایش سبب می‌شود شدت انرژی ۰/۰۹۶ درصد افزایش یابد. از آنجاکه جانشینی تجهیزات سرمایه‌ای به جای سایر نهاده‌های تولید از جمله نیروی کار، انرژی‌بری در صنایع تولیدی افزایش می‌یابد. بنابراین منطقی است.

شدت کاربری اثر مثبت و معنی‌دار بر شدت انرژی دارد، به طوری که یک درصد افزایش آن سبب می‌شود شدت انرژی ۰/۰۵۲ درصد افزایش یابد. با توجه به اینکه افزایش نرخ دستمزد در نهایت سبب جانشینی سرمایه به جای نیروی کار شده، بنابراین شدت سرمایه‌بری صنایع افزایش می‌یابد. در نتیجه شدت انرژی افزایش می‌یابد.

شدت صادرات‌بری اثر مثبت و معنی‌دار بر شدت انرژی دارد، طوری که یک درصد افزایش آن سبب می‌شود شدت انرژی ۰/۱۲۶ درصد افزایش یابد. با توجه به اینکه در دورهٔ مورد بررسی، صنایع تولیدی ایران به دلیل ارزان بودن قیمت انرژی، مزیت نسبی در نهاده انرژی داشته‌اند، در نتیجه اکثر کالاهای صادراتی ایران انرژی‌برند. بنابراین منطقی به نظر می‌رسد.

شدت تعمیرات‌بری اثر مثبت بزرگ و معنی‌دار بر شدت انرژی دارد، طوری که یک درصد افزایش آن سبب می‌شود شدت انرژی ۱/۰۴ درصد افزایش یابد. با کشش بودن شدت انرژی نسبت به هزینه‌های تعمیرات گویای آن است که کاهش کیفیت و کارایی ماشین‌آلات و تجهیزات، انرژی‌بری صنایع تولیدی را به شدت افزایش می‌دهد.

شدت واردات تکنولوژی اثر مثبت بر شدت انرژی دارد. از آنجا که واردات تکنولوژی صنایع تولیدی ایران عمدتاً سرمایه‌بر است، انرژی‌بری صنایع افزایش می‌یابد، اما این ضریب از نظر آماری معنی‌دار نیست.

سرمایه‌گذاری فاوا اثر مثبت کوچک و معنی‌دار بر شدت انرژی دارد، به طوری که یک درصد افزایش سرمایه‌گذاری فاوا سبب می‌شود شدت انرژی ۰/۰۰۳ افزایش یابد. به عبارت دیگر، اثر درآمدی فاوا بر اثر جانشینی غالب می‌شود. این نتیجه به درجهٔ ناهمگنی ساختار صنایع و الگوهای انتشار فاوا در صنایع تولیدی بستگی دارد.

آیتم‌های خطی و غیرخطی اندازهٔ صنعت اثر منفی و معنی‌دار بر شدت انرژی دارند. به عبارت دیگر، رابطهٔ یکنواخت کاهشی بین اندازهٔ صنعت و شدت انرژی وجود دارد. با توجه به اینکه از لگاریتم ارزش افزودهٔ صنعت به عنوان معیار اندازه صنعت استفاده شده و همچنین در دورهٔ مورد بررسی ارزش افزودهٔ صنایع به دلیل افزایش قیمت نفت، افزایش قابل توجهی داشته است. در نتیجه منطقی به نظر می‌رسد.

شایان ذکر است نتایج آزمون سارگن در الگوی برآوردی نشان دهندهٔ صحت و اعتبار

ابزارهای انتخابی است، طوری‌که هیچ همبستگی معنی‌داری بین ابزارها و باقیمانده‌ها وجود ندارد. به عبارت دیگر نتایج برآوردی با استفاده از روش GMM معتبر می‌باشند.

جدول ۳. نتایج تخمین GMM

متغیر	مقدار ضریب	
LEI(-1)	۰,۵۱۶	(۶۱,۴۲)*
LP_E	-۰,۰۳۱	(-۲,۲۸)
LTechmI	۰,۰۴۷	(۰,۲۶)
LCapI	۰,۰۹۶	(۲,۶۱)
LLI	۰,۰۵۲	(۷,۷۱)
LExpI	۰,۱۲۶	(۵,۷۶)
LRepI	۱,۰۴	(۱۳,۱۸)
LICTI	۰,۰۰۳	(۲,۱۳)
Size	-۰,۰۵۹	(-۳,۴۷)
Size^2	-۰,۰۰۶	(-۴,۳۳)
آماره آزمون سارگن	۰,۲۹۸	

*اعداد داخل پرانتز، بیانگر آماره t است.

منبع: یافته‌های پژوهش

٦. نتیجه

هدف از مقالهٔ حاضر، شناسایی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر شدت انرژی در صنایع تولیدی ایران با تأکید بر ویژگی‌های صنایع طی دوره زمانی ۸۶-۱۳۷۴ با استفاده از روش پانل پویا (GMM) است. نتایج نشان می‌دهد که اثر ویژگی‌های صنایع بر شدت انرژی متفاوت است. هر یک از شاخص‌های شدت سرمایه‌بری، شدت کاربری، شدت صادرات‌بری، شدت تعمیرات‌بری، شدت سرمایه‌گذاری فاوا، اثر مثبت و معنی‌دار بر شدت انرژی دارد. شدت واردات تکنولوژی نیز اثر مثبت بر شدت انرژی دارد، اما این ضریب از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. همچنین آیتم‌های خطی و غیرخطی اندازهٔ صنعت اثر منفی و معنی‌دار

بر شدت انرژی دارند. به عبارت دیگر، رابطهٔ یکنواخت کاهشی بین اندازهٔ صنعت و شدت انرژی وجود دارد. علاوه بر آن، همان طور ی که انتظار می‌رفت، قیمت انرژی اثر منفی و معنی‌دار بر شدت انرژی دارد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده و اینکه در میان عوامل مورد بررسی، شاخص شدت تعمیرات‌بری تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر شدت انرژی دارد؛ می‌توان گفت کاهش کیفیت و کارایی ماشین‌آلات و تجهیزات، انرژی‌بری صنایع تولیدی ایران را به شدت افزایش داده است. بنابراین پیشنهاد می‌شود همراه با اصلاح قیمت‌های انرژی، سیاست‌های حمایتی مناسب برای افزایش توان مالی صنایع در جهت بهینه‌سازی و نوسازی تجهیزات تولید اتخاذ شود، تا بدین ترتیب صنایع تولیدی از بهره‌وری بالای تکنولوژی‌های پیشرفته برخوردار شوند و در نتیجه با صرفه‌جویی در مصرف انرژی، شدت انرژی کاهش یابد.

۷. منابع

مرکز آمار ایران، نتایج آمارگیری از کارگاه‌های صنعتی ده نفر کارکن و بیشتر سال‌های ۸۶-۱۳۷۴.

وزارت نیرو، ترازنامهٔ انرژی سال (۱۳۸۸).

Arellano, M. & Bond, S; (1991), "Some Tests of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations", *Review of Economic Studies*, 58, 277-297.

Baltagi, B; (2005), *Econometric Analysis of Panel Data*, New York: John Wiley and Sons.

Fisher-Vanden, K., Jefferson, G. H., Liu, H., & Tao, Q; (2004), "*What Is Driving China's Decline in Energy Intensity*", Resource and Energy Economics**,** 26, 77–97.

Griffin J. M. and Gregory P.R.; (1977), "An Inter-country Translog Model of Energy Substitution Responses", *American Economic Review*, 66, 845–858

Graciela, C. & Geoffrey, H; (1993), *"Energy-Capital Substitution: A General Equilibrium Analysis*", MPRA Paper 8329, University Library of Munich, Germany.

Goldar, B; (2010), "Energy Intensity of Indian Manufacturing Firms: Effect of Energy Prices, Technology and Firm Characteristics", Institute of

Economic Growth, University of Delhi Enclave.

Im, K., Pesaran, M. & Shin, Y; (2007), "Testing for Unit Roots in Heterogeneous Panels", *Journal of Econometrics*, 115, 53-74.

International Energy Agency (IEA), (2007) 'World Energy Outlook 2007 Highlights'

Irawan, T., Djoni, H. and Noer, A. A; (2010), *An Analysis Of Energy Intensity In Indonesian Manufacturing. Department of Economics Padjadjaran University*, Working Paper in Economics and Development Studies No. 201007.

Kleijweg, A., R. Huigen., G. van Leeuwen., and K. Zeelenberg; (1990), *Firm Size and the Demand for Energy in Dutch Manufacturing, 1978-1986*, Small Business Economics, 2, 171-181.

Kumar, A; (2003), Energy Intensity: A Quantitative Exploration for Indian Manufacturing. SSRN Paper No. 468440.

Kumar, N. and M. Saqib; (1996), Firm Size, Opportunities for Adaptation, and In-House R&D Activity in Developing Countries: The Case of Indian Manufacturing, Research Policy, 25, 712-722

Narayanan K, Banerjee S; (2006), ″R & D and Productivity in Select Indian Industries", *ICFAI Journal of Industrial Economics*,3(2), 9-17

Papadogonas, T., Mylonakis J., and Georgopoulos, D. (2007), "Energy Consumption and firm Characteristics in the Hellenic Manufacturing Sector", *International Journal of Energy Technology and Policy*, 5: 89-96

Sadorsky, P., (2012). Information Communication Technology and Electricity Consumption in Emerging Economies. *Energy Policy*, *48*: *130-136*

Sahu, Santosh and Narayanan, K.; (2009), "Determinants of Energy Intensity in Indian Manufacturing Industries: A Firm Level Analysis", MPRA Paper No. 21646.

Vanden K.F., Jeferson G.H., Hangmei L., Quan T; (2002), ″What is Driving China's Decline in Energy Intensity", *Resources and Energy Economics*, 26, 77-97.