

تجزیه شاخص شدت انرژی در بخش صنعت: رویکرد شاخص دیویزیا

مهران امیرمعینی

عضو هیئت علمی مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی

amirmoeini@yahoo.com

در این مقاله شاخص شدت انرژی در بخش صنعت به عوامل اثرگذار بر آن تجزیه شده است. برای تحلیل کارایی انرژی شاخص‌های متفاوتی تعریف و به کار گرفته شده‌اند. در این مقاله، شدت انرژی به دو اثر ساختار و اثر شدت تجزیه می‌شود تا امکان تحلیل بهتر آن فراهم گردد. نتایج حاکی از آن است که اثر تغییر ساختار و تغییر شدت خالص انرژی در دوره ۱۳۸۲-۱۳۹۲ منجر به افزایش شدت انرژی در بخش صنعت شده است. در حقیقت افزایش شدت انرژی به دلیل تغییر در ترکیب تولید یا تغییر در ترکیب صنایع مختلف بوده است که بیانگر رشد صنایع انرژی‌بر طی دهه منتهی به سال ۱۳۹۲ است. تجزیه شدت انرژی بر اساس سری زمانی حاکی از نتایج مشابهی است با این تفاوت که روند با ثباتی را نشان نمی‌دهد و با نوسان همراه است این نوسان در اثر ساختار و اثر خالص شدت مشاهده می‌شود. اثر خالص شدت انرژی بیانگر عدم وجود الگوی خاصی برای آن است لذا، می‌توان گفت که بهبود تکنولوژی در این دوره رخ نداده است. عدم وجود الگوی خاص برای اثر ساختار و اثر شدت خالص انرژی حاکی از آن است که کارایی مصرف انرژی در این بخش رخ نداده است. بنابراین، بخش صنعت و زیربخش‌های آن به‌ویژه صنایع انرژی‌بر پتانسیل صرفه‌جویی انرژی را دارا هستند و تدوین سیاست‌های صرفه‌جویی انرژی همراه با اجرا و نظارت بر اجرای آن توسط یک نهاد مستقل قدرتمند منجر به کاهش شدت انرژی می‌گردد و توسعه پایدار را ایجاد می‌نماید.

واژگان کلیدی: شدت انرژی، شاخص دیویزیا، اثر ساختار، اثر شدت خالص انرژی

۱. مقدمه

مصرف انرژی در بخش‌های مختلف اقتصادی تحت تأثیر پیشرفت‌های تکنولوژی، اختراع و نوآوری دست‌خوش تحول شده است. در دو دهه گذشته جایگزینی نیروی مکانیکی با نیروی کار که ناشی از پیشرفت‌های تکنولوژی بوده سبب رشد اقتصادی، رشد بهره‌وری و بهبود استانداردهای زندگی مردم شده و نقش کلیدی در توسعه اقتصادی و اجتماعی و همچنین رفاه کشورهای ایفا کرده است. کمبود انرژی در تأمین نیاز فعالیت‌های اقتصادی به ویژه بخش صنعت منجر به کند شدن یا توقف رشد اقتصادی و همچنین کاهش استاندارد زندگی می‌شود.

در بررسی و تحلیل‌های مربوط به تقاضای انرژی در بخش صنعت لازم است تغییر ساختاری و بهبود تکنولوژی را در نظر گرفت. در کشورهای در حال توسعه تغییر در ساختار صنعت و تحولات تکنولوژیکی دو عامل مهم و اثرگذار در شکل‌گیری تقاضای انرژی خواهند بود. (بهاتاچاریا و تیمسلینا، ۲۰۰۹). تحلیل تقاضای انرژی و شناسایی عوامل مؤثر بر آن امکان کمک به تصمیم‌گیری برای توسعه پایدار انرژی را فراهم می‌آورد.

از دهه ۱۹۹۰ با توجه به تغییرات تکنولوژی، پیشرفت ارتباطات و بهبود فرآیند ساخت که در جهت کاهش هزینه‌ها عمل کرده‌اند، مدیریت سمت تقاضا دچار تغییر شده است. حاصل و نتیجه مدیریت سمت تقاضا بهبود کارایی انرژی و در نتیجه توسعه پایدار است (سوغانتی و ساموئل^۲، ۲۰۱۲). مدیریت تقاضای انرژی به مفهوم استفاده کارآمد از منابع انرژی، اطمینان از عرضه، مدیریت مؤثر منابع انرژی، بهینه‌سازی انرژی، سیستم‌های ترکیبی برق و بخار، سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر، سیستم یک پارچه انرژی و نظایر آن است. همچنین مدیریت تقاضا شامل مباحث فنی، سازمانی و راه‌حل‌های رفتاری برای کاهش مصرف انرژی است. مدیریت تقاضا دربرگیرنده برنامه‌ریزی، اجرا و رصد فعالیت‌های تعدیل‌الگوی مصرف است که برای تشویق مصرف‌کنندگان طراحی شده‌اند.

1. Bhattacharyya and Timilsina
2. Suganthi and Samuel

برای شناخت و درک بیشتر تقاضای انرژی به کارگیری روش‌های تحلیلی اهمیت دارد، لذا تحلیل تاریخی تحولات تقاضای انرژی و تفسیر آن، بخش مهمی از تحلیل تقاضای انرژی است. چنین تحلیل‌هایی امکان شناسایی عوامل مهم تأثیرگذار بر تقاضای انرژی را فراهم می‌آورد. طی چهار دهه گذشته برنامه‌ریزی انرژی نقش اساسی در روند توسعه کشورها ایفا کرده است. در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری انرژی لازم است تحلیل عوامل مؤثر و تعیین میزان تأثیر آن بر تقاضای انرژی انجام شود. (محمدی و همکاران، ۱۳۹۳)

تقاضای انرژی در بخش صنعت پس از شوک اول نفتی مورد توجه بیشتر قرار گرفت و به منظور ارزیابی کارایی انرژی، شاخص شدت انرژی تعریف شد. برای تحلیل کارایی انرژی شاخص‌های متفاوتی تعریف و به کار گرفته شده‌اند. شدت انرژی از جمله شاخص‌هایی است که استفاده از آن بسیار رایج است که میزان مصرف انرژی به ازای یک واحد تولید را نشان می‌دهد. تولید می‌تواند به صورت واحد فیزیکی یا ارزش آن (به قیمت ثابت) باشد. بنابراین می‌توان گفت که تغییر شدت انرژی از دو بعد یعنی سطح مصرف انرژی و سطح تولید قابل تحلیل است. تجزیه شدت انرژی به دو اثر ساختار و اثر شدت تحلیل بهتر و دقیق‌تری، را در اختیار قرار می‌دهد. اثر ساختار بیانگر تغییر در ترکیب یا سهم فعالیت‌های اقتصادی است که می‌تواند متأثر از سیاست‌های توسعه صنعتی و سیاست‌های کلان اقتصادی باشد.

اثر شدت نیز نشان‌دهنده تغییر در شدت انرژی خالص است که با ترکیب فعالیت‌ها و ساختار صنعتی ارتباط و همبستگی ندارد و عواملی مانند پیشرفت تکنولوژی، قیمت انرژی، جانشینی حامل‌های انرژی، تغییر در کارایی انرژی و سیاست‌های صرفه‌جویی انرژی بر آن اثرگذار است. هرچند رشد مصرف انرژی در بخش صنعت می‌تواند منجر به افزایش تولید و نهایتاً رشد تولید ناخالص داخلی گردد، ولی چگونگی استفاده از انرژی و کارایی انرژی در تحلیل تقاضای انرژی بخش صنعت بسیار اهمیت دارد. بررسی شاخص شدت انرژی به عنوان شاخصی برای انعکاس مصرف کارآمد و بهینه انرژی اهمیت دارد. به منظور تحلیل تغییرات شدت انرژی در یک دوره زمانی مشخص لازم است عوامل تأثیرگذار بر آن بررسی و تحلیل گردد.

در این مقاله تلاش شده است با استفاده از رویکرد تجزیه شدت انرژی در بخش صنعت و زیربخش‌های آن به روش شاخص دیویزیا^۱ نقش عوامل مؤثر بر تغییرات شدت انرژی در این بخش بررسی گردد. لذا، برای دستیابی به این هدف، ابتدا پیشینه و سپس روش‌شناسی تحقیق ارائه می‌شود. در بخش چهارم حقایق آشکار شده بررسی شده و در بخش پنجم تحلیل نتایج با استفاده از رویکرد دیویزیا ارائه می‌شود و در پایان جمع‌بندی خواهیم داشت.

۲. پیشینه تحقیق

از اوایل دهه ۱۹۸۰ میلادی، روش تجزیه به‌طور گسترده‌ای در تحلیل تقاضای بخش‌های مختلف اقتصادی به منظور ارزیابی و تحلیل تقاضا و سیاست‌گذاری انرژی استفاده شده است. استفاده از رویکرد شاخص دیویزیا و روش‌های گوناگون تجزیه^۲ اثرات در بسیاری از مطالعات بین‌المللی رواج یافته است. هوانگ^۳ (۱۹۹۳) مدل ضریبی میانگین حسابی دیویزیا را برای تجزیه تغییرات شدت انرژی طی دوره ۱۹۸۸-۱۹۸۰ در صنعت چین و در شش بخش بکار گرفت. نتایج نشان داد که کاهش شدت انرژی در فعالیت‌ها به دلیل بهبود تکنولوژی در زیر بخش‌ها رخ داده است.

آنگ^۴ (۱۹۹۳) مصرف انرژی صنایع تایوان و سنگاپور را با استفاده از شاخص دیویزیا و دو تکنیک ضرب‌پذیری و جمع‌پذیری بررسی و مطالعه کرد و نتیجه گرفت که در تقاضای انرژی در بخش صنعت سنگاپور در دوره ۱۹۸۸-۱۹۷۱، عامل ساختاری در جهت کاهش مصرف انرژی و عامل شدت در جهت افزایش مصرف انرژی عملکردهاست، ولی در صنعت تایوان طی این دوره، عامل ساختاری در جهت افزایش مصرف انرژی و عامل شدت در جهت کاهش مصرف انرژی نقش داشته‌اند.

بهاتاچاریا و پل^۵ (۲۰۰۱) با بکارگیری روش تجزیه کل مصرف و شدت انرژی هند در بخش‌های کشاورزی، صنعت، حمل‌ونقل و خانگی و تجاری به این نتیجه رسیدند که طی دوره

1. Divisia Index
2. Decomposition
3. Huang
4. Ang
5. Bhattacharya and Paul

۱۹۹۶-۱۹۸۰ اثر شدت بر صرفه جویی انرژی بیشتر بوده است. بهاتاچاریا و اوساناراسامه^۱ (۲۰۰۵) تغییرات شدت انرژی در صنعت تایلند را در دوره ۲۰۰۵-۱۹۸۱ و با بکارگیری روش میانگین لگاریتمی دیویزیا محاسبه و ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که کاهش شدت انرژی به دلیل اثر ساختاری و اثر شدت بوده است. ما و استرن^۲ (۲۰۱۰) با استفاده از شاخص میانگین لگاریتمی دیویزیا تغییرات شدت انرژی در چین را در دوره ۲۰۰۳-۱۹۸۰ بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که تغییر تکنولوژی عامل اصلی کاهش شدت انرژی بوده است. تغییر ساختاری در صنعت سبب افزایش شدت انرژی در دوره مورد بررسی شده است.

اوکاجیما و همکاران^۳ (۲۰۱۳) با استفاده از روش شاخص ایده آل فیشر به تجزیه شاخص شدت انرژی ژاپن طی دوره ۲۰۰۴-۱۹۷۰ اقدام کردند و به این نتیجه دست یافتند که اثر ساختاری و اثر شدت در دوره ۱۹۹۰-۱۹۷۰ در شاخص شدت انرژی کاهش یافته است. در دوره ۲۰۰۴-۱۹۹۰ نیز اثر شدت روبه افزایش گذاشته و با وجود روند کاهشی اثر ساختاری، شدت انرژی اندکی افزایش یافت. چوی و او^۴ (۲۰۱۴) با استفاده از شاخص دیویزیای چوی و آنگ (۲۰۱۲) کارایی صنعت در کره جنوبی را بررسی کردند و نشان دادند که شدت واقعی انرژی در بخش صنعت ۸۵/۸۵٪ کاهش یافته در حالی که تغییرات ساختاری شدت انرژی ۶۹/۳۷٪ رشد نشان می دهد که در حقیقت نشان دهنده رشد صنایع انرژی بر در کره جنوبی است.

بونخام و لیپریچان^۵ (۲۰۱۵) تغییرات شدت انرژی در بخش صنعت تایلند را در دوره ۲۰۱۳-۱۹۹۱ با استفاده از میانگین لگاریتمی شاخص دیویزیای ضربی بررسی کردند و به این نتیجه دست یافتند که اثر تولیدی بر مصرف انرژی اثرگذار بوده و شدت انرژی در بخش صنعت تایلند طی ۲۲ سال بهبود یافته است.

1. Bhattacharya and Ussanarassamee
2. Ma and Stern
3. Okajima et all.
4. Kim-Hong Choi and Wankeun Oh
5. Boonkham and Leeprechnon

علیمراد شریفی و همکاران (۱۳۸۷) در مقاله خود با تجزیه شدت انرژی در صنایع ایران به بررسی عوامل مؤثر بر شدت انرژی پرداختند. تجزیه شدت انرژی در دوره ۱۳۸۳-۱۳۷۴ نشان می‌دهد که در بیشتر صنایع نه‌گانه اثر ساختاری سهم اندکی در تغییرات اثر کل شدت انرژی داشته و سهم اثر شدت بیشتر بوده است. اثر شدت در جهت کاهش شدت انرژی حرکت کرده در حالی که اثر ساختاری سهم اندکی در کاهش شدت انرژی نشان می‌دهد.

باصری و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه خود به تجزیه عوامل مؤثر در تغییر مصرف انرژی در شرکت‌های پگاه فارس، تهران و اصفهان طی دوره ۱۳۸۶-۱۳۷۵ پرداختند و با استفاده از میانگین لگاریتمی شاخص دیویزیا تغییر در مصرف انرژی را به اثر فعالیت، اثر ساختاری و اثر شدت انرژی خالص تجزیه نمودند. نتایج حاکی از آن بود که تغییر اثر فعالیت و اثر ساختاری مثبت و تغییر اثر شدت انرژی خالص دارای اثر منفی بر کل مصرف انرژی آن‌ها بوده است.

گلی و اشرفی (۱۳۸۹) با استفاده از شاخص ایده آل فیشر به محاسبه مقادیر شدت انرژی و تجزیه شاخص شدت انرژی در چهار بخش صنعت، کشاورزی، حمل و نقل و خدمات در دوره ۱۳۸۵-۱۳۶۰ پرداختند. بر اساس نتایج بدست آمده بخش حمل و نقل بالاترین شدت انرژی را داراست و بخش کشاورزی دارای کمترین میزان شدت انرژی است.

جهانگرد و تجلی (۱۳۹۰) با بهره‌گیری از شاخص لاسپیرز و شاخص میانگین حسابی در تحلیل شدت انرژی صنایع کارخانه‌ای ایران به این نتیجه رسیدند که در شدت انرژی بخش صنعت، اثر شدت در مقایسه با اثر ساختاری بیشتر است و تغییر فناوری تولید، اصلاح قیمت انرژی، جانشینی حامل‌های انرژی و تغییر کارایی انرژی نقش مؤثری در میزان شدت انرژی دارند.

محسن پورعبادالهیان کوچی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی تجزیه عوامل مؤثر بر تغییرات مصرف انرژی در زیربخش‌های صنعتی ایران با استفاده از روش‌های لاسپیرز و دیویزیا پرداختند. نتایج حاکی از آن است که عامل اصلی افزایش مصرف انرژی، تغییر اثر فعالیت و در نقطه مقابل مهمترین عامل کاهش مصرف انرژی، تغییرات اثر شدت انرژی است و تغییرات اثر ساختاری سهم ناچیزی در تغییرات مصرف انرژی داشته است.

لازم به ذکر است که دامنه زمانی داده‌های این مطالعه در مقایسه با سایر مطالعات متفاوت بوده ضمن آن که داده‌های این مطالعه بر اساس آخرین اطلاعات مرکز آمار بروز شده است. همچنین در مورد مطالعه پورعبادالهان و همکاران نیز باید گفت که تجزیه به سه عامل صورت گرفته است در حالی که در این مقاله شدت انرژی به دو عامل تجزیه شده است. تفاوت دیگری که این مقاله با سایر مقالات دارد این است که علاوه بر محاسبه و تحلیل بر اساس تغییرات سری زمانی تغییرات و تحلیل در دو مقطع زمانی نیز محاسبه و ارائه شده و بر این اساس جمع‌بندی ارائه شده نیز متفاوت است.

۳. روش‌شناسی

شدت انرژی از جمله شاخص‌هایی است که استفاده از آن بسیار رایج است. بر اساس تعریف شدت انرژی میزان انرژی مصرفی به ازای یک واحد تولید است. بنابراین می‌توان گفت که تغییر شدت انرژی از دو بعد یعنی سطح مصرف انرژی و سطح تولید قابل تحلیل است. عوامل مؤثر بر میزان مصرف و شدت انرژی را می‌توان به عواملی همچون تکنولوژی تولید، میزان استفاده از نهاده‌های تولید، و قیمت انرژی تفکیک کرد (ژا و همکاران^۱، ۲۰۱۲). میزان مصرف انرژی در هر یک از زیر بخش‌های صنعت با توجه به ساختار و تجهیزات صنعتی، و نوع تکنولوژی تولید متفاوت است (ما و همکاران^۲، ۲۰۱۰). بررسی روند تغییرات کارایی مصرف و شدت انرژی در صنایع مختلف امکان ایجاد بستر مناسب برای تصمیم‌سازی را فراهم می‌آورد.

از روش‌های مورد استفاده برای بررسی و تحلیل کمی علل تغییر در مصرف انرژی روش تجزیه است. این روش به صورت گسترده‌ای در پژوهش‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. با این روش می‌توان شدت انرژی در بخش صنعت را به عوامل مؤثر بر آن تجزیه کرد. به منظور تجزیه شاخص شدت انرژی در بخش صنعت می‌توان از دو رویکرد داده‌های سری زمانی و دوره‌ای استفاده کرد. برای تجزیه بر اساس روش دو زمانه اطلاعات دو مقطع زمانی را با یکدیگر مقایسه می‌کنیم، هر چند

1. Zha, Zhou and Ding
2. Ma, Oxley and Gibson

برای تحلیل دقیق‌تر لازم است تحولات در سری زمانی نیز مورد توجه قرار گیرد. در روش دوره‌ای، تغییرات بین یک سال پایه و سال مشخص t در نظر گرفته می‌شود ولی، در روش سری زمانی برای محاسبه اثر از اطلاعات تمام سال‌ها استفاده می‌شود. برای این کار ابتدا الگوی تجزیه برای محاسبه مقادیر هر اثر در فاصله‌های یک ساله ($t+1$) یا تغییرات متوالی سالانه برآورد می‌گردد.

شاخص لاسپیرز به طور گسترده در مطالعات اولیه روش تجزیه مورد استفاده قرار گرفته است. هوارث و همکاران^۱ (۱۹۹۱) و همچنین پارک^۲ (۱۹۹۲) به صورت جزئی این روش را توسعه دادند. روش ترنکوئیست^۳ مشابه شاخص لاسپیرز در تجزیه مصرف و شدت انرژی کاربرد فراوان دارد و با نام شاخص میانگین حسابی دیویزیا نیز شناخته می‌شود. این روش توسط بوید و همکاران (۲۰۰۲)^۴ معرفی شد که به آن شاخص دیویزیا هم گفته می‌شود. آنگ و چوی^۵ نیز روش Sato-Vartia را پیشنهاد دادند لیو و آنگ^۶ روش تجزیه کامل را ارائه دادند که با نام شاخص میانگین لگاریتمی دیویزیا نیز شناخته می‌شود. البته در بسیاری موارد محاسبه آن سخت و پیچیده است که در نهایت از شاخص میانگین حسابی دیویزیا استفاده می‌گردد (جهانگرد، ۱۳۹۰).

الگویی که در این مقاله برای تجزیه عوامل مؤثر بر شدت انرژی به کار گرفته می‌شود شاخص دیویزیا است که روشی ضرب‌پذیر است در الگوی تجزیه عوامل مؤثر بر شدت انرژی در بخش صنعت و زیربخش‌های آن بر اساس کد ISIC دو رقمی در نظر گرفته شده است. بر این اساس نسبت شدت انرژی در دو دوره مشخص به اثرات جداگانه یعنی خالص شدت انرژی و شدت ساختار تجزیه می‌گردد. برای این منظور از یک بسط ریاضی استفاده می‌شود. بسط ریاضی با توجه به تعریف شدت انرژی به شکل زیر خواهد بود:

1. Howarth et al.
2. Park
3. Turnquist
4. Boyd et al.
5. Ang and Choi
6. Liu and Ang

$$I = \frac{E}{Q} = \sum_i \frac{E_i Q_i}{Q_i Q} = \sum_i I_i S_i \quad (1)$$

با گرفتن دیفرانسیل نسبت به زمان و تقسیم طرفین بر $I = \sum_i I_i S_i$ خواهیم داشت:

$$\frac{1}{I} \frac{dI}{dt} = \sum_i \frac{I_i S_i}{\sum_i I_i S_i} \cdot \frac{dS_i}{S_i dt} + \sum_i \frac{I_i S_i}{\sum_i I_i S_i} \cdot \frac{dI_i}{I_i dt} \quad (2)$$

حال با در نظر گرفتن $\omega_i = \frac{I_i S_i}{I} = \frac{E_i}{E}$ (سهم هر زیربخش از کل مصرف انرژی بخش صنعت)

خواهیم داشت:

$$\frac{dI}{I dt} = \sum_i \omega_i \frac{dS_i}{S_i dt} + \sum_i \omega_i \frac{dI_i}{I_i dt} \quad (3)$$

$$\frac{d}{dt} \ln I = \sum_i \omega_i \frac{d}{dt} \ln S_i + \sum_i \omega_i \frac{d}{dt} \ln I_i \quad (4)$$

با انتگرال گیری از رابطه (۴-۹) در فاصله زمانی ۰ تا t، لگاریتم نسبت شدت انرژی در این دو

فاصله زمانی حاصل می گردد و بنابراین خواهیم داشت:

$$\ln \left(\frac{I^t}{I^0} \right) = \int_0^t \sum_i \omega_i \frac{d}{dt} \ln S_i + \int_0^t \sum_i \omega_i \frac{d}{dt} \ln I_i \quad (5)$$

می توان نسبت شدت انرژی در سال t و 0 را با استفاده از رابطه بالا به دست آورد و لذا خواهیم داشت:

$$\ln \left(\frac{I^t}{I^0} \right) = \sum_i \omega_i \ln \left(\frac{S_i^t}{S_i^0} \right) + \sum_i \omega_i \ln \left(\frac{I_i^t}{I_i^0} \right) \quad (6)$$

حال با گرفتن آنتی لگاریتم خواهیم داشت:

$$\frac{I^t}{I^0} = e^{\sum_i \omega_i \ln \left(\frac{S_i^t}{S_i^0} \right) + \sum_i \omega_i \ln \left(\frac{I_i^t}{I_i^0} \right)} \quad (7)$$

$$\frac{I^t}{I^0} = e^{\sum_i \omega_i \ln \left(\frac{S_i^t}{S_i^0} \right)} \cdot e^{\sum_i \omega_i \ln \left(\frac{I_i^t}{I_i^0} \right)} = D_{st} * D_{int} \quad (8)$$

لذا، نسبت شدت انرژی در سال t و سال 0 به دو اثر ساختار و اثر خلص شدت انرژی تجزیه شد.

اثر ساختاری (D_{st}) بیانگر تغییر در مصرف انرژی به دلیل تغییر در ساختار و ترکیب زیربخش‌های صنعت است. اگر تغییر در ترکیب و ساختار صنعت به گونه‌ای باشد که رشد صنایع کمتر انرژی‌بر نسبت به صنایع پرمصرف انرژی بیشتر باشد، در این صورت رشد مصرف انرژی کاهش می‌یابد. برعکس، با افزایش سهم صنایع انرژی‌بر در کل تولید صنعت، مصرف انرژی در بخش صنعت افزایش می‌یابد. اثر خالص شدت انرژی (D_{int}) نیز نشان می‌دهد که چه میزان از تغییر در مصرف انرژی حاصل تغییر در شدت انرژی در زیربخش‌های صنعت است.

با کاهش شدت انرژی در زیربخش‌های صنعت (بافرض ثابت ماندن سایر عوامل)، مصرف انرژی زیربخش‌های صنعت و در نتیجه مصرف کل انرژی بخش صنعت کاهش می‌یابد. البته باید توجه داشت که تغییر در شدت انرژی می‌تواند نتیجه عواملی چون بهبود تکنولوژی تولید، مدیریت انرژی، تغییر در ترکیب حامل‌های انرژی و هم‌چنین بهبود کیفیت سوخت باشد. مقدار کمتر از یک این اثر بین دو سال مشخص بیانگر کاهش مصرف انرژی به ازای یک واحد ارزش افزوده ایجاد شده است و می‌تواند حاصل بهبود تکنولوژی یا صرفه‌جویی انرژی باشد. در صورتی که مقدار آن بیشتر از یک باشد نشان می‌دهد که مصرف انرژی برای ایجاد یک واحد ارزش افزوده افزایش یافته است که حاکی از ناکارایی سیستم در استفاده از انرژی است.

۴. حقایق آشکار شده

تقاضای انرژی در کشورها تحت تأثیر سیاست‌های توسعه‌ای و مراحل مختلف توسعه قرار دارد. بخش صنعت نقش مهمی را در مراحل مختلف توسعه کشورها ایفا می‌کند و سیاست‌های صنعتی که کشورها در پیش می‌گیرند تعیین‌کننده میزان تقاضای انرژی این بخش است. انرژی در بخش صنعت به عنوان یک نهاده تولیدی تقاضا می‌شود و تقاضا برای آن با توجه به قیمت سایر عوامل تولید شکل می‌گیرد. تقاضای انرژی در این بخش نیز همچون سایر بخش‌ها، با توجه به انرژی ارزان در کشور شکل گرفته است و لذا کارایی انرژی از یک سو و توسعه صنایع کمتر انرژی‌بر و با تکنولوژی بالا کمتر مورد توجه سیاست‌گذار و سرمایه‌گذار قرار داشته است. بنابراین، می‌توان گفت که نوع و

انتخاب تکنولوژی تولید در این بخش نقش مهمی در تعیین سطح تقاضای انرژی آن ایفا می‌نماید. (امیرمعینی، ۱۳۹۴)

بخش صنعت در بیشتر کشورهای توسعه یافته سهم عمده‌ای در تقاضای انرژی نهایی دارد. این بخش همیشه مورد توجه تحلیل‌گران انرژی بوده است. ذکر دو نکته ضروری است، اول آن‌که باید توجه داشت افزایش یا کاهش شدت انرژی، به معنای افزایش یا کاهش مصرف انرژی در یک بخش خاص یا در سطح کلان نیست، زیرا ممکن است به‌رغم کاهش شدت انرژی، مصرف انرژی نیز افزایش یابد. نکته دوم آن است که نزدیک شدن شاخص شدت انرژی کشورهای توسعه یافته به یکدیگر به دلیل اقدامات و تمهیدات گوناگون در جهت کارایی و صرفه‌جویی انرژی است که امکان کاهش رشد مصرف انرژی در بخش‌های مختلف را فراهم آورده است.

با توجه به تغییرات و بازنگری در تعاریف و استانداردهای ISIC¹ و نیاز به اطلاعات یکپارچه، داده‌های مرکز آمار که بر اساس اطلاعات کارگاه‌های بزرگ صنعتی با کارکن ده نفر و بیشتر که بر اساس کد ISIC دو رقمی برای دوره زمانی ۱۳۹۲-۱۳۸۲ منتشر شده، مورد استفاده قرار گرفته است. تعداد صنایع بر اساس کد ISIC دو رقمی ۲۳ گروه صنعتی است که اطلاعات آن توسط مرکز آمار ایران منتشر شده است. در جدول زیر داده‌های مصرف انرژی و ارزش افزوده مربوط به کارگاه‌های بزرگ صنعتی با ده نفر کارکن و بیشتر ارائه شده است. لازم به ذکر است که تنها اطلاعات پنج گروه از صنایع یعنی کدهای ۱۵، ۲۳، ۲۴، ۲۶ و ۲۷ در این جداول ارائه شده است زیرا این گروه در دوره مورد بررسی بیش از ۹۰ درصد از انرژی کارگاه‌های بزرگ صنعتی با کارکن بیشتر از ۱۰ نفر را به خود اختصاص داده‌اند و در سال ۱۳۹۲ سهم آنها به ۹۲/۸ درصد افزایش یافته است. و سایر گروه‌ها نیز به عنوان سایر صنایع در جدول آمده است.

بر اساس اطلاعات مربوط به آمار کارگاه‌های بزرگ صنعتی با کارکن ده نفر و بیشتر، بزرگترین مصرف‌کننده انرژی در میان صنایع مختلف گروه سایر محصولات کانی غیرفلزی است. در

1. International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC)

سال ۱۳۹۲ سهم این گروه از کل مصرف انرژی حدود ۲۹/۷ درصد است در حالی که سهم آن در ارزش افزوده کارگاه‌های بزرگ صنعتی ۹/۲ درصد را نشان می‌دهد. گروه تولید فلزات اساسی در سال ۱۳۹۲ سهمی حدود ۲۲/۹ درصد را داراست و سهم آن در ارزش افزوده ۱۷/۷ درصد است. رتبه بعدی در اختیار صنایع ساخت مواد و محصولات شیمیایی با سهم ۲۳/۲ درصدی از مصرف انرژی و ۲۶/۴ درصدی از ارزش افزوده است. صنایع تولید زغال کک- پالایشگاه‌های نفت و سوخت هسته‌ای در سال ۱۳۹۲، سهمی معادل ۱۱ درصد از مصرف انرژی را در اختیار داشته در حالی که سهم ارزش افزوده آن نیز میزان ۱۳/۳ درصد را نشان می‌دهد. سهم صنایع غذایی و آشامیدنی در مصرف انرژی در این سال حدود ۶/۸ درصد را نشان می‌دهد و ارزش افزوده این گروه سهمی در حدود ۱۰ درصد را در اختیار دارد. سایر صنایع با داشتن سهمی در حدود ۷/۲ درصد از کل مصرف انرژی کارگاه‌های بزرگ صنعتی با کارکن ۱۰ نفر و بیشتر ۲۳/۴ درصد از ارزش افزوده را به خود اختصاص داده‌اند.

شدت انرژی در گروه سایر محصولات کانی غیرفلزی بیشتر از صنایع دیگر است، به طوری که در سال ۱۳۹۲ این صنایع برای ایجاد یک میلیون ریال ارزش افزوده حدود ۱/۲ بشکه معادل نفت، انرژی مصرف کرده‌اند. در حالی که متوسط شدت انرژی کارگاه‌های بزرگ صنعتی، عدد ۰/۴ را برای این سال نشان می‌دهد. شدت انرژی گروه فلزات اساسی ۰/۵ است و در سایر گروه‌ها عدد کمتر از متوسط صنعت را نشان می‌دهد. در بخش سایر صنایع شدت انرژی حدود ۰/۱ بشکه برای هر یک میلیون ریال ارزش افزوده است. نمودار (۱) روند شدت انرژی در زیر بخش‌های مهم مصرف‌کننده انرژی را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مصرف انرژی به تفکیک صنایع بر اساس کد ISIC و رقمی
(واحد: هزار بشکه معادل نفت)

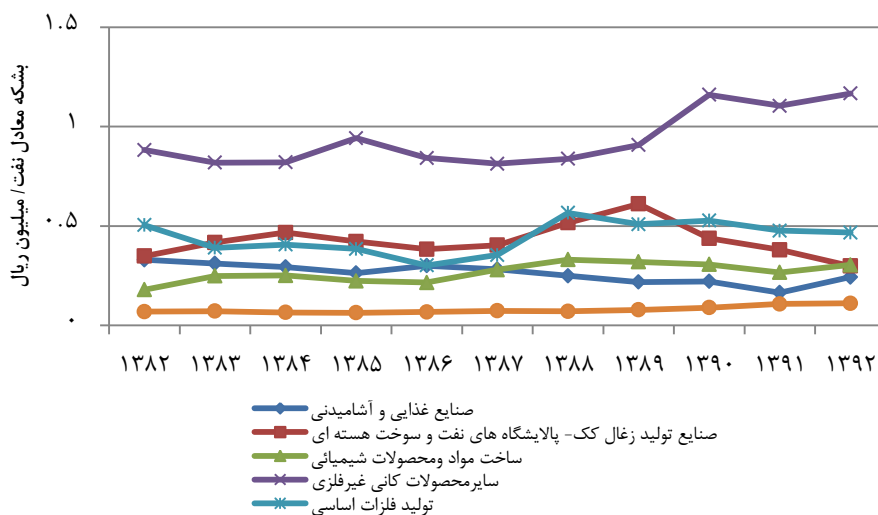
کد	۱۳۹۱	۱۳۹۰	۱۳۸۹	۱۳۸۸	۱۳۸۷	۱۳۸۶	۱۳۸۵	۱۳۸۴	۱۳۸۳	۱۳۸۲	کد	گروه
۱۵	۱۱۵۰۸	۱۳۳۴۱	۱۲۶۱۶	۱۲۹۳۷	۱۳۶۷۸	۱۵۵۴۶	۱۳۷۱۶	۱۴۹۹۷	۱۳۷۲۲	۱۴۸۴۷	۱۵	صنایع غذایی و آشامیدنی
۲۳	۲۲۶۳۲	۲۶۹۶۸	۲۲۷۶۴	۲۹۸۱۶	۳۱۳۱۵	۳۵۳۶۰	۲۹۵۰۴	۲۴۴۱۳	۲۳۴۹۷	۱۸۰۴۵	۲۳	صنایع تولید زغال کک- پالایشگاه‌های نفت و ...
۲۴	۴۹۳۲۴	۴۳۷۷۶	۳۹۴۷۰	۳۵۵۱۱	۳۰۳۰۷	۲۳۱۹۰	۲۰۸۰۵	۱۸۱۲۱	۲۰۱۷۳	۱۱۵۴۸	۲۴	ساخت مواد و محصولات شیمیایی
۲۶	۶۹۱۸۹	۶۹۸۶۶	۶۰۳۴۶	۵۸۷۱۸	۵۴۷۷۶	۵۳۱۰۰	۵۰۸۳۹	۴۵۶۸۴	۴۴۴۸۰	۴۴۷۸۲	۲۶	سایر محصولات کانی غیرفلزی
۲۷	۶۰۹۸۱	۵۲۷۹۴	۴۸۲۰۸	۴۴۱۷۲	۳۹۵۵۱	۳۹۱۱۴	۴۰۸۶۸	۳۷۸۵۲	۳۶۵۶۷	۳۲۰۰۰	۲۷	تولید فلزات اساسی
	۱۶۷۸۲	۱۷۸۲۸	۱۷۸۹۳	۱۷۰۸۳	۱۶۹۷۰	۱۶۵۴۴	۱۵۸۷۱	۱۴۷۰۷	۱۴۷۸۴	۱۴۳۹۷		سایر صنایع
	۲۳۰۴۱۶	۲۴۴۵۷۳	۲۱۱۲۹۷	۱۹۸۳۳۷	۱۸۶۵۹۷	۱۸۲۸۵۴	۱۷۱۶۰۳	۱۵۵۷۷۴	۱۵۳۲۲۳	۱۳۵۶۱۹		کل مصرف انرژی

مأخذ: مرکز آمار ایران

جدول ۲. ارزش افزوده (ثابت ۱۳۹۰) به تفکیک صنایع بر اساس کد ISIC و رقمی
(واحد: میلیارد ریال، ۱۳۹۰=۱۰۰)

کد	۱۳۹۱	۱۳۹۰	۱۳۸۹	۱۳۸۸	۱۳۸۷	۱۳۸۶	۱۳۸۵	۱۳۸۴	۱۳۸۳	کد	گروه	
۱۵	۶۹۵۶۳	۶۰۲۱۳	۵۷۸۱۳	۵۱۸۹۸	۴۸۳۵۶	۵۱۶۹۰	۵۲۰۸۶	۵۱۰۶۸	۴۳۹۸۳	۱۵	صنایع غذایی و آشامیدنی	
۲۳	۵۹۵۲۴	۶۱۵۳۶	۵۳۵۶۳	۵۷۷۱۷	۷۷۶۷۰	۹۲۱۴۱	۶۹۹۳۱	۵۲۲۹۷	۵۶۳۰۴	۲۳	صنایع تولید زغال کک- پالایشگاه‌های نفت و ...	
۲۴	۱۸۱۳۱۵	۱۸۴۸۰۵	۱۴۲۶۶۳	۱۳۳۵۱۲	۱۰۷۴۰۹	۱۰۸۱۷۶	۱۰۷۵۱۷	۹۳۷۸۰	۷۲۱۶۴	۸۱۱۵۸	۲۴	ساخت مواد و محصولات شیمیایی
۲۶	۶۲۸۳۲	۶۲۶۰۰	۶۰۱۸۶	۶۶۵۰۷	۷۰۰۴۵	۶۷۳۴۰	۶۳۰۳۶	۵۳۹۳۹	۵۵۶۹۱	۵۴۳۲۱	۲۶	سایر محصولات کانی غیرفلزی
۲۷	۱۲۷۱۱۷۶	۱۲۷۹۰۳	۱۰۰۰۵۳	۹۴۵۶۶	۷۷۹۹۷	۱۱۱۵۲۹	۱۲۹۴۱۲	۱۰۶۳۳۵	۹۳۱۰۲	۹۳۵۲۳	۲۷	تولید فلزات اساسی
	۱۶۰۵۴۳	۱۵۵۴۰۲	۱۹۹۶۸۳	۲۲۸۸۷۱	۲۴۰۶۵۰	۲۳۰۳۴۲	۲۴۴۶۹۶	۲۴۹۸۳۷	۲۲۴۷۰۹	۲۰۶۶۲۹		سایر صنایع
	۶۸۵۴۲۹	۶۵۹۷۹۷	۶۲۴۳۳۴	۶۲۵۰۳۲	۶۰۵۷۱۶	۶۴۳۴۱۴	۶۸۸۴۹۲	۶۲۴۸۰۹	۵۴۹۰۳۰	۵۳۵۹۱۸		کل ارزش افزوده

مأخذ: مرکز آمار ایران



نمودار ۱. روند شدت انرژی در زیربخش‌های صنعت

۵. نتایج

به منظور تحلیل دقیق‌تر شدت انرژی در بخش صنعت و با استفاده از این روش نیاز به آمار تفصیلی به تفکیک زیر بخش‌های صنعت وجود دارد. تجزیه شدت انرژی با استفاده از شاخص دیویزیا در بخش صنعت با توجه به زیربخش‌های آن بر اساس کد ISIC دو رقمی انجام شده است. بر این اساس نسبت شدت انرژی در دو دوره خاص به اثرات جداگانه یعنی خالص شدت انرژی و شدت ساختار تجزیه می‌گردد.

محاسبات با توجه به اطلاعات مربوط به زیربخش‌های صنعت و در نهایت با استفاده از فرمول‌های ریاضی استخراج شده، رابطه (۸)، و با کمک نرم افزار اکسل انجام شده است. لذا تغییرات نسبت شدت انرژی در فاصله سال‌های ۱۳۸۲-۱۳۹۲ بر این اساس محاسبه شده است، هرچند به منظور تحلیل بهتر و دقیق‌تر، تغییرات نسبت شدت انرژی نسبت به سال قبل از آن نیز برآورد شده است. همان‌طور که در جدول (۱) نیز قابل مشاهده است، اثر تغییر ساختار و تغییر خالص شدت در

دوره ۱۳۹۲-۱۳۸۲ منجر به افزایش شدت انرژی در بخش صنعت شده است. در حقیقت مقدار این دو عامل در این دوره بیشتر از یک است و بیانگر افزایش شدت انرژی به دلیل رشد صنایع انرژی‌بر بوده طی دهه منتهی به سال ۱۳۹۲ بوده است. رشد خالص شدت انرژی نیز حاکی از آن است که بهبود تکنولوژی در این دوره حاصل نشده و در نتیجه کارایی انرژی محقق نشده است. این پدیده حاصل عدم توجه سرمایه‌گذار به عامل قیمت انرژی در انتخاب نوع تکنولوژی از یک سو و سیاست‌های دولت در سرمایه‌گذاری در بخش صنایع انرژی‌بر از سوی دیگر بوده است.

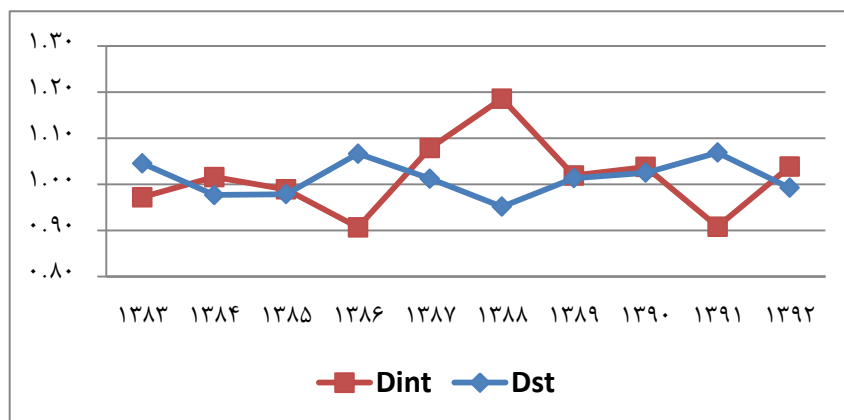
بررسی روند تغییرات سالانه این دو عامل نیز نشان می‌دهد که تغییرات ساختار بخش صنعت در بیشتر سال‌ها منجر به افزایش شدت انرژی شده است (سال‌هایی که بیشتر از یک برآورد شده است)، ولی نکته قابل توجه آن است که از الگویی خاص پیروی نمی‌کند (نمودار ۲). ولی می‌توان گفت که تغییر ساختار بخش صنعت در این دوره اتفاق افتاده است. در مورد اثر خالص شدت نیز الگویی خاصی حاکم نیست (نمودار ۲) و بهبود تکنولوژی مشاهده نمی‌شود. در حقیقت می‌توان گفت که از یک سو سرمایه‌گذاری مؤثری در پروژه‌های صرفه‌جویی انرژی صورت پذیرفته و از سوی دیگر در مورد سرمایه‌گذاری‌های جدید نیز نوع تکنولوژی انتخاب شده انرژی‌بر بوده است.

البته لازم به ذکر است که در برخی از سال‌ها مقدار اثر خالص شدت انرژی و اثر ساختار کمتر از یک است ولی با توجه به این که الگوی خاصی وجود ندارد نمی‌توان ناکارآمد بودن مصرف انرژی در این بخش را رد کرد. ذکر این نکته نیز ضروری است که ممکن است در برخی از سال‌ها صنایع کمتر انرژی‌بر وارد مدار تولید شده باشد که در این صورت احتمال کاهش شدت انرژی در مقایسه با سال قبل وجود دارد. ولی، با توجه به این که اثر کل شدت انرژی در بیشتر سال‌ها بیشتر از یک است می‌توان نتیجه گرفت که کارایی و صرفه‌جویی انرژی در بخش صنعت رخ نداده است. در یک جمع‌بندی کلی می‌توان گفت وجود قوانین و استانداردهای تدوین شده تنها شرط لازم برای افزایش کارایی انرژی است و لذا شرط کافی اجرا و نظارت بر اجرای آن توسط یک نهاد مستقل و قدرتمند است.

جدول ۳. برآورد اثر عوامل مؤثر بر تغییر شدت انرژی بخش صنعت

۱۳۹۲	۱۳۹۱	۱۳۹۰	۱۳۸۹	۱۳۸۸	۱۳۸۷	۱۳۸۶	۱۳۸۵	۱۳۸۴	۱۳۸۳	۱۳۸۲-۱۳۹۲	
۰/۹۹	۱/۰۷	۱/۰۳	۱/۰۱	۰/۹۵	۱/۰۱	۱/۰۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۱/۰۵	۱/۱۳	اثر ساختار
۱/۰۴	۰/۹۱	۱/۰۴	۱/۰۲	۱/۱۹	۱/۰۸	۰/۹۱	۰/۹۹	۱/۰۲	۰/۹۷	۱/۱۴	اثر خالص شدت انرژی
۱/۰۳	۰/۹۷	۱/۰۶	۱/۰۳	۱/۱۳	۱/۰۹	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۹	۱/۰۲	۱/۲۹	نسبت شدت انرژی
۱/۰۳	۰/۹۷	۱/۰۶	۱/۰۳	۱/۱۳	۱/۰۹	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۹	۱/۰۲	۱/۲۸	نسبت شدت انرژی در ۱۳۸۲ و ۱۳۹۲

مأخذ: محاسبات تحقیق



نمودار ۲. روند تغییرات اثر خالص شدت انرژی و اثر ساختار بر شدت انرژی بخش صنعت

البته نکته قابل ذکر این است که بخشی از اهداف برنامه پنجم توسعه شامل توسعه زنجیره ارزش صنایع انرژی‌بر است ولی، رویکرد اصلی برنامه پنجم توسعه که مبتنی بر صنایع با فناوری‌های برتر (صنایع نوین)، تقویت و توسعه سرمایه‌گذاری‌های خطرپذیر و توسعه قابلیت‌های فناوری است، محقق نشده است.

۶. جمع بندی

بررسی رفتار مصرف انرژی در بخش های مختلف از جمله صنعت، گامی اساسی و مهم برای برنامه ریزی انرژی است. قبل از اتخاذ سیاست مطلوب برای مدیریت مصرف انرژی، شناخت عوامل مؤثر بر مصرف انرژی در بخش های مختلف و تحلیل کمی آنها ضروری است.

به منظور ارزیابی کارایی انرژی، شاخص شدت انرژی تعریف شده است و برای تحلیل کارایی انرژی نیز شاخص های متفاوتی به کار گرفته شده اند. شدت انرژی از جمله شاخص هایی است که استفاده از آن بسیار رایج است. برای تحلیل شدت انرژی در بخش صنعت شاخص دیویزیا مورد استفاده قرار گرفت. این روش که روش تجزیه به عوامل تأثیرگذار است به شکل گسترده ای در تحلیل تقاضای انرژی در بخش های مختلف اقتصادی و سیاست گذاری انرژی به کار گرفته می شود. در این روش شدت انرژی به دو اثر ساختار و اثر شدت تجزیه می شود. اثر ساختار بیانگر تغییر در ترکیب یا سهم فعالیت های اقتصادی است که می تواند متأثر از سیاست های توسعه صنعتی و سیاست های کلان اقتصادی باشد. اثر خالص شدت انرژی نیز نشان دهنده تغییر در شدت انرژی است که ارتباط و همبستگی با ترکیب فعالیت ها و ساختار صنعتی ندارد و عواملی مانند پیشرفت تکنولوژی، قیمت انرژی، جانشینی حامل های انرژی، تغییر در کارایی انرژی و سیاست های صرفه جویی انرژی بر آن اثرگذار است.

در مبحث مصرف انرژی چگونگی استفاده از انرژی و کارایی انرژی در تحلیل تقاضای انرژی بخش صنعت بسیار اهمیت دارد. به منظور تجزیه شدت انرژی در بخش صنعت از داده های مرکز آمار که بر اساس اطلاعات کارگاه های بزرگ صنعتی با کارکن ده نفر و بیشتر که بر اساس کد ISIC دو رقمی برای دوره زمانی ۱۳۹۲-۱۳۸۲ منتشر شده، استفاده شده است. نتایج حاکی از آن است که اثر تغییر ساختار و تغییر خالص شدت انرژی در دوره ۱۳۹۲-۱۳۸۲ منجر به افزایش شدت انرژی در بخش صنعت شده است. در حقیقت افزایش شدت انرژی به دلیل تغییر در ترکیب تولید یا صنایع مختلف بوده که می تواند ناشی از رشد صنایع انرژی بر طی دهه منتهی به سال ۱۳۹۲ است.

تجزیه شدت انرژی بر اساس سری زمانی یا برآورد سالانه حاکی از نتایج مشابهی است با این تفاوت که روند با ثباتی را نشان نمی‌دهد و با نوسان همراه است که خود حاصل اثر ساختار و اثر خالص شدت است. روند برآورد شده برای اثر خالص شدت انرژی نیز وجود الگوی خاصی را نشان نمی‌دهد و لذا می‌توان نتیجه گرفت که در این دوره شدت انرژی در بخش صنعت به دلیل توسعه صنایع انرژی‌بری که کارایی انرژی آن‌ها نیز بالا نیست بهبود نیافته است. تغییرات ساختار بخش صنعت نیز در بیشتر سال‌های دوره مورد بررسی منجر به افزایش شدت انرژی شده است. با توجه به این که الگوی خاصی برای اثر ساختار و اثر شدت خالص انرژی وجود ندارد نمی‌توان ناکارآمد بودن مصرف انرژی در این بخش را رد کرد.

منابع

- اداره حساب‌های اقتصادی، بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، حساب‌های ملی، (سال‌های مختلف). امیرمعینی، مهران (۱۳۹۴)، "اندازه‌گیری اثر عوامل برون زای غیراقتصادی بر تقاضای انرژی بخش صنعت ایران" فصل‌نامه اقتصاد انرژی، شماره ۴۵، سال دهم، صص ۱۰۵-۱۲۸.
- باصری، بیژن، درخشانیان، شهاب و سعیده شفیعی (۱۳۸۹)، "بررسی سیاست‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی با استفاده از روش مجزاسازی انرژی مطالعه موردی شرکت‌های پگاه فارس، تهران و اصفهان"، فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی، شماره ۲۵، صص ۱۳۱-۱۱۴.
- پورعبادالهان کویچ، محسن؛ پناهی، حسین؛ شهبازی هومونلو، شهریار و خدیجه صالحی ابر (۱۳۹۴)، "تجزیه عوامل مؤثر بر تغییرات مصرف انرژی در زیربخش‌های صنعتی ایران: مقایسه روش‌های لاسپیرز و دیویزیا"، فصل‌نامه نظریه‌های کاربردی اقتصاد، شماره ۴، صص ۴۹-۷۰.
- جهانگرد، اسفندیار و هدیه تجلی (۱۳۹۰)، "تجزیه شدت انرژی‌بری در صنایع کارخانه‌ای ایران"، فصل‌نامه اقتصاد انرژی، شماره ۳۱، سال دهم، صص ۲۵-۵۸.
- شریفی، علی‌مراد؛ صادقی، مهدی؛ نفر، مهدی و زهرا دهقان‌شانی (۱۳۸۷)، "تجزیه شدت انرژی در صنایع ایران"، فصل‌نامه پژوهش‌های اقتصادی ایران، شماره ۳۵، صص ۷۹-۱۱۰.
- 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، شماره ۵۴، صص ۳۵-۵۴.
- محمدی، تیمور؛ خورسندی، مرتضی و مهران امیرمعینی (۱۳۹۳)، "مدل‌سازی تقاضای انرژی برق در بخش صنعت ایران: رویکرد مدل سری زمانی ساختاری"، فصل‌نامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی، شماره ۱۸، سال پنجم، صص ۸۷-۱۱۷.
- مرکز آمار ایران، نتایج آمارگیری از کارگاه‌های صنعتی ده نفر کارکن و بیشتر، سال‌های مختلف.

- Ang, B. w. (1993) , “Decomposition of Industrial Energy Consumption: the Energy Intensity Approach” *Energy Economics*, Vol. 16, pp 163-174.
- Ang, B. W. (1993) , “Sector Structural Change and Industrial Energy Consumption: An Approach to Analyze the Interrelationship” *Energy Economics*, Vol. 10, pp.1032-1044
- Bhattacharya, R.N. and S. Paul (2001), “Sectoral Changes in Consumption and Intensity of Energy in India” *Indian Economic Review*. Vol. 36 No.2 pp. 381-392.
- Bhattacharyya, S. and A. Ussanarassamee (2005). “Changes in Energy Intensities of Thai Industry between (1981) and (2000) : A Decomposition Analysis”. *Energy Policy*, Vol. 33, pp. 995–1002.
- Bhattacharyya, Subhes C. and R. Timilsina Govinda (2009) , “Energy Demand Models for Policy Formulation: A Comparative Study of Energy Demand Models “, *Policy Research Working Paper*, The World Bank.
- Boonkham P. and N. Leeprechanon (2015) “Decomposition Analysis of Changes in Energy Intensity of the Thai Manufacturing Sector during 1991-2013” *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*, Vol. 3, No. 3, pp. 152-15.
- Boyd, A. G. and M.J. Roop (2002) , “A Note on the Fisher Index Decomposition for Structural Change in Energy Intensity” *Energy Journal*, Vol. 25, pp. 575-673.
- ChoiKim-Hong and Oh,Wankeun (2014) ,“Extended DivisiaIndex Decomposition of Changes in Energy Intensity: A Case of Korean Manufacturing Industry”, *Energy Policy*, Vol. 65, pp. 275–283.
- Howarth, R.B. and L. Schipper (1991), “Manufacturing Energy Use in Eight OECD Countries: Trends Through 1988”, *Energy Journal*, Vol. 12, Issue 4, pp. 15-40.
- Huang Jin-Ping (1993) , “Industry Energy Use and Structural Change: A Case Study of People Republic of China”, *Energy Economics*, Vol. 115, pp. 131-136.
- Lui, F.L. and B. W. Ang (2003), “Eight Method for Decomposition the Aggregate Energy Intensity of Industry”, *Applied Energy*, Vol. 76, pp. 15-23.
- Ma, Hengyun, Oxley, Les and John Gibson (2010), “China's Energy Economy: A Survey of the Literature”, *Economic Systems*, Vol. 34, pp. 105-132.
- Okajima, Shigeharu, Okajima and Hiroko (2013), “Analysis of Energy Intensity in Japan”, *Energy Policy*, Vol. 61, pp. 574–586.
- Park, Se-Hark (1992), “Decomposition of Industrial Energy Consumption: An Alternative Method”, *Energy Economics*, Vol.14, Issue 4, pp. 265-270.
- Suganthi L. and A. Samuel Anand (2012), “Energy Models for Demand Forecasting - A Review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, Issue 2, pp.1223-1240.