

بررسی روند کارایی انرژی در بخش حمل و نقل

زین العابدین صادقی، استادیار، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
فریبا السادات هاشمی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
حسین اکبری فرد، استادیار، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
پست الکترونیکی نویسنده مسئول: abed_sadeghi@yahoo.com

دریافت: 95/08/20 - پذیرش: 95/12/05

چکیده

در این مطالعه تلاش شده است تا روند کارایی انرژی در بخش حمل و نقل با استفاده از رویکرد تحلیل تجزیه شاخص IDA و روش LMDI در سالهای 1383 تا 1390 بررسی شود. در این روش ابتدا تغییر مصرف انرژی به اثرات آن تجزیه می‌شود و با استفاده از اثر شدت، صرفه جویی‌های ناشی از بهبود کارایی مشخص شده، سپس با استفاده از شاخص عملکرد انرژی روند کارایی بررسی می‌شود. بخش حمل و نقل به دلیل استفاده از شاخص‌های اندازه‌گیری فیزیکی به دو زیر بخش حمل و نقل کالا و حمل و نقل مسافر تقسیم شده است. در مورد حمل و نقل مسافر نتایج، عدم کارایی در این بخش را نشان می‌دهد و تنها در سال 1386 بهبود کارایی باعث صرفه جویی مثبت در این بخش شده است. در بخش حمل و نقل کالا برخلاف حمل و نقل مسافر، کارایی در اکثر سالها به جز دو سال 1384 و 1387 افزایش یافته و صرفه جویی‌های مثبت ناشی از افزایش کارایی وجود داشته است.

واژه‌های کلیدی: IDA، LMDI، صرفه جویی انرژی، شاخص عملکرد انرژی، کارایی انرژی

1- مقدمه

چندانی به آن نشده است، به طوری که در سال 1390 بعد از بخش خانگی بیشترین سهم مصرف انرژی به این بخش اختصاص می‌یابد. بخش حمل و نقل با سهم 28 درصدی بعد از بخش خانگی که دارای سهم 48 درصد است دومین بخش مصرف کننده انرژی می‌باشد (ترازنامه انرژی، 1390).
بیشترین سهم آلودگی ناشی از مصرف انرژی با 70 درصد مربوط به بخش حمل و نقل می‌باشد (سالنامه آماری حمل و نقل، 1390). همین موضوع اهمیت استفاده از سوخت‌های فسیلی با توجه به آلودگی‌های ناشی از تولید گازهای گلخانه‌ای در بخش حمل و نقل را به وضوح بیان می‌کند.
با توجه به اهمیت این بخش در مصرف انرژی و انتشار آلودگی بررسی روند کارایی انرژی و صرفه‌جویی انرژی ناشی از کارایی انرژی در این بخش از اهمیت بالایی برخوردار است.

مطالعه کارایی انرژی به عنوان یکی از مقرون به صرفه‌ترین راه‌های کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، افزایش امنیت عرضه انرژی، بهبود رقابت پذیری در صنعت و کاهش گازهای گلخانه‌ای به عنوان بخشی اساسی از توسعه پایدار، دارای نقشی حیاتی در راستای تلاش برای رسیدن به سه هدف اساسی سیاست‌های انرژی یعنی رقابت اقتصادی، امنیت عرضه انرژی و سازگاری با محیط زیست می‌باشد. روند کارایی انرژی شامل تلاش قابل توجهی در طراحی سیستم‌های محاسبه و توسعه و جمع‌آوری داده‌ها است و ارزیابی عملکرد کارایی انرژی برای سیاست‌گذاران لازم است (آنگ، مو و زو، 2009).
اصلاح الگوی مصرف منجر به کاهش و مدیریت مصرف انرژی می‌شود. این راهکاری است که متأسفانه به دلیل دسترسی به انرژی ارزان در همه بخش‌ها به ویژه حمل و نقل، توجه

در این مطالعه برای اولین بار سطح فرضی مصرف انرژی در شرایط فقدان کارایی انرژی برآورد شده و در تحلیل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین کارایی انرژی و صرفه‌جویی ناشی از آن از طریق شاخص عملکرد انرژی بررسی می‌شود.

2- پیشینه تحقیق

تحلیل تجزیه‌ی شاخص (IDA) براساس تئوری عدد شاخص است. که با استفاده از شاخص‌هایی چون لاسپیرز، پاشه و مارشال-اچ ورث بیان شده است. بوید و همکاران^۲ (1988) شاخص دیویژیا را با توجه به اینکه مشکلات مربوط به تحلیل تجزیه در ادبیات انرژی مشابه مشکلات مربوط به عدد شاخص در اقتصاد است معرفی کردند، پس از آن روش تطبیق وزنی دیویژیا توسط لیو و همکاران^۳ (1992) مطرح شد که پایه‌ای برای پیشنهاد رویکرد پارامتریک عمومی دیویژیا^۴ توسط آنگ و لی^۵ (1993) بود. آنگ^۶ (1994) و آنگ (1995) تجزیه چند سطحی را با روش‌های متعدد مصرف انرژی، شدت انرژی و ضریب انرژی با احتساب تاثیر عواملی از قبیل تغییر در سطح جداسازی اطلاعات معرفی کرد و رویکرد پارامتریک دیویژیا را گسترش داد. پس از آن فرمول‌های تجزیه، بسط و گسترش یافته و به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفت. آنگ و چویی^۷ (1997) روش میانگین لگاریتمی دیویژیا که تابعی وزنی است را با اصطلاح LMDI پیشنهاد کردند که این روش ریشه در مطالعات انجام شده توسط سیگل^۸ (1945) و شیلی^۹ (1953) دارد. تحلیل IDA به دو صورت فرم جمع‌پذیری و ضرب‌پذیری بیان می‌شود. در حال حاضر روش LMDI بیش از روش لاسپیرز و به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. اکثر مطالعات محاسبه کارایی رویکرد IDA و روش LMDI را به طور گسترده به کار می‌گیرند که در آن‌ها از تفاوت تغییرات انرژی، نسبت تغییرات، و یا هر دوی آنها استفاده شده است. در این مطالعه از شاخص دیویژیا میانگین لگاریتمی از نوع مونت گمری وارتیا (LMDI-I) و تفاوت تغییرات در محاسبات استفاده شده و منظور از (LMDI) همان شاخص (LMDI-I) می‌باشد.

آنگ^{۱۰} (1994) مصرف انرژی صنایع تایوان و سنگاپور را طی سالهای 1971-1990 مورد مطالعه قرار داد. او از شاخص دیویژیا و روش‌های جمع‌پذیر و ضرب‌پذیر استفاده کرد. مطالعه او نتایج عکسی را برای سنگاپور و تایوان نشان داد. نتایج در تایوان عامل ساختاری را در جهت افزایش مصرف انرژی و

عامل شدت را در جهت کاهش مصرف انرژی نشان داده اما در سنگاپور عامل ساختاری در جهت کاهش مصرف انرژی و عامل شدتی را در جهت افزایش مصرف انرژی بوده است.

باتاچاریا و پل^{۱۱} (2001) در مقاله‌ای با عنوان "تغییرات بخشی مصرف و شدت انرژی در هند" به تجزیه مصرف و شدت انرژی هند در سطح بخش‌های صنعت، حمل و نقل و کشاورزی طی سالهای 1980-1996 پرداختند. نتایج نشان دهنده حفظ انرژی به دلیل کاهش اثر شدت انرژی می‌باشد.

آنگ (2004) در مقاله‌ای با عنوان "تجزیه و تحلیل تجزیه برای سیاست‌گذاری در انرژی: کدام روش ترجیح داده می‌شود؟" از میان روش‌های متعدد موجود، خلاصه‌ای از روش‌های پیشنهادی را در یک چارچوب ساده بر اساس شاخص دیویژیا و پاشه مطرح می‌کند. این مقاله ویژگی‌های این روشها را مورد بحث و بررسی قرار داده و روش LMDI ضرب‌پذیر و جمع‌پذیر را به دلیل پایه نظری آن، سازگاری، سهولت استفاده و تفسیر نتایج و برخی خواص مطلوب در زمینه تجزیه و تحلیل معرفی می‌کند. همچنین استفاده از روشهای دیگر در شرایط خاص به جای اتخاذ روش LMDI را نیز مورد توجه قرار می‌دهد.

باتاچاریا و اوساناراسامی^{۱۲} (2005) در مقاله‌ای با عنوان "تغییرات شدت انرژی در صنایع تایلند طی سالهای 2000-1981؛ یک تحلیل تجزیه" به شناسایی عوامل موثر بر مصرف انرژی و تجزیه و تحلیل تغییرات شدت انرژی برای حساب‌های صنعتی حدود 30 درصد از تقاضای انرژی نهایی کل صنایع تایلند در یک دوره زمانی 20 ساله (1981-2000) با استفاده از روش تحلیل تجزیه میانگین لگاریتمی دیویژیا پرداختند. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد مجموع شدت انرژی صنایع تایلند با در نظر گرفتن سال 1988 به عنوان سال پایه از (toe/million^{۱۳} baht) 17.6 در سال 1981 به (toe/million^{۱۳} baht) 15.8 در سال 2000 کاهش یافته است، البته لازم به ذکر است که شدت انرژی به صورت منحنی u شکل تا سال 1988 روند کاهشی و پس از آن روند افزایشی را دنبال می‌کند. این مطالعه صنایع را به زیربخش‌های آن از جمله؛ صنایع معدنی، فلزات اساسی، مواد غذایی و آشامیدنی، مواد شیمیایی و کاغذ، و صنعت غیرفلزی تفکیک کرده و روند شدت انرژی را برای هر کدام مورد بررسی قرار داده است. به طور کلی نتایج تحلیل عوامل، کاهش 8 درصدی مجموع شدت انرژی کل در طول

1981-1986 را نشان می‌دهد که در نتیجه 2 درصد کاهش به دلیل اثر ساختاری و 6 درصد کاهش به دلیل اثر شدت بخشی بوده و در طول بقیه دوره مورد مطالعه این اثرات عکس دوره قبل عمل می‌کند و بنابراین تغییرات در شدت کل به طور قابل ملاحظه ای تحت تاثیر قرار نمی‌گیرد.

زو و آنگ^{۱۴} (2008) در مقاله ای با عنوان "مدل برنامه ریزی خطی جهت اندازه گیری کارایی عملکرد انرژی در اقتصاد گسترده"^{۱۵} طی یک مطالعه تجربی برای اندازه گیری عملکرد کارایی انرژی، داده‌های 21 کشور عضو OECD را مورد بررسی قرار داده و با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) در تجزیه و تحلیل کارایی انرژی از چند مدل برنامه ریزی خطی برای اندازه گیری عملکرد کارایی انرژی در اقتصاد گسترده استفاده کردند. در این مطالعه رفتار مصرف انرژی به عنوان یک ورودی در چارچوب تولید بدون در نظر گرفتن خروجی‌های نامطلوب لحاظ می‌شود و از شاخص عملکرد انرژی (EPI) در جهت بررسی کارایی استفاده شده است.

ما واسترن^{۱۶} (2008) در مطالعه‌ای با عنوان "روند تغییرات شدت انرژی در چین: یک تحلیل تجزیه" با استفاده از رویکرد تحلیل تجزیه و روش LMDI روند تغییرات شدت انرژی در کشور چین را طی دوره 1980-2003 بررسی کردند. نتایج مطالعه آنها دلیل اصلی کاهش شدت انرژی را تغییر تکنولوژی بیان می‌کند به طوری که افزایش شدت انرژی از سال 2000 به دلیل تضعیف تکنولوژی است. تغییر ساختاری عاملی برای افزایش یا کاهش شدت انرژی است و بنابراین تغییر ساختاری در سطح بخش صنعت باعث افزایش شدت انرژی و تغییر ساختاری بین زیربخش‌ها باعث کاهش شدت انرژی می‌شود.

آنگ، مو و زو^{۱۷} (2009) در مقاله ای با عنوان "چارچوب محاسبه جهت مدیریت روند کارایی انرژی" به بررسی رابطه دقیق و معنی دار بین دو شاخص پایه انرژی یعنی شاخص کارایی انرژی و صرفه جویی انرژی ناشی از بهبود کارایی با استفاده از تحلیل تجزیه شاخص (IDA) بر اساس روش LMDI پرداختند. آنها با بیان مثال‌های موردی و تفکیک بخش‌های صنعت و حمل و نقل به زیر بخش‌ها، ارتباط بین شاخص عملکرد انرژی و صرفه جویی انرژی را توسط تجزیه و تحلیل زنجیره ای نشان دادند.

آنگ و چویی^{۱۸} (2012) در مقاله‌ای با عنوان "تغییر در شاخص دیویزیای شدت واقعی انرژی؛ تحلیل تجزیه شاخص" با

استفاده از روش تحلیل تجزیه شاخص (IDA) سهم کمی کردن ویژگی‌های منحصر به فرد در تغییر درصدی عوامل مانند شاخص شدت انرژی واقعی و شاخص تغییرات ساختاری را در مطالعات انرژی گسترش دادند. و با اعمال روش پیشنهادی به شاخص واقعی شدت انرژی در چارچوب روش میانگین لگاریتمی دیویزیای (M-LMDI)، به عنوان یک تکنیک بارز روش IDA می‌پردازد. روش M-LMDI بر اساس شاخص میانگین هندسی و محاسبه آن از نوع پیوسته است. در این مطالعه از انرژی مصرفی و ارزش افزوده واقعی داده‌های تولید صنعت ایالات متحده آمریکا استفاده شده و نتایج به دست آمده توسط شاخص شدت واقعی انرژی فیشر مقایسه شده است.

زنگ و همکاران^{۱۹} (2013) در مقاله ای با عنوان "بازنگری عوامل شدت انرژی در چین طی دوره (1997-2007)؛ تحلیل تجزیه ساختاری" با استفاده از مدل داده ستانده، و تحلیل تجزیه ساختاری (SDI^{۲۰}) به بررسی عوامل اساسی در نوسان شدت انرژی چین طی سالهای 1997-2007 پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که بهبود کارایی انرژی بخشی بیشتر به کاهش شدت انرژی مجموع سال‌های 1997 تا 2007 کمک کرده است. افزایش شدت انرژی چین طی سال‌های 2002-2007 به علت تغییر در ترکیب تقاضا و ساختار نهایی تولید توضیح داده شده است. تغییر در ترکیب تقاضای نهایی عمدتاً به دلیل افزایش سهم صادرات بوده و گسترش صنایع انرژی بر به طور عمده باعث تغییر در ساختار تولید در چین شده است. شدت انرژی در چین به تغییرات ساختار تقاضای نهایی و ترکیب انرژی در دوره مطالعه حساس بوده و از دیدگاه مصرف، رشد صادرات محصولات انرژی بر مانند فولاد، و افزایش مطالبات زیرساخت‌ها برای ساخت و ساز، فعالیت‌ها و صنایع سنگین می‌تواند علت افزایش شدت انرژی در سال‌های 2002-2007 باشد. به منظور دستیابی به اهداف کاهش شدت انرژی در دوازدهمین برنامه پنج ساله و در درازمدت علاوه بر بهبود کارایی و پیشرفت فنی، دولت چین باید توجه بیشتری به تنظیم ساختار تولید و هدایت مصرف تقاضای نهایی داشته باشد. علاوه بر این، سیاست‌های مختلف با هدف کاهش شدت انرژی باید برای به حداقل رساندن هزینه‌های اجرای سیاست به صورت جامع و یکپارچه ارزیابی شوند.

گنزلز، لندیو و پرسنو^{۲۱} (2013) در مقاله ای با عنوان "دیویزیای شاخص واقعی شدت انرژی؛ تکامل و نسبت درصد تغییرات

شدت انرژی در 20 کشور اروپایی 2010-1995" به بررسی تغییر در شدت انرژی در مجموع 20 کشور اروپایی طی سالهای 2010-1995 با تکیه بر روش میانگین لگاریتمی دیویژیا Sato-Vartia- به تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای شاخص واقعی شدت انرژی پرداختند. در این مطالعه از تجزیه و تحلیل شاخص^{۲۲} (IDA) ارایه شده توسط آنگ و چوی^{۲۳} (2012) به منظور ارزیابی سهم هر یک از بخش‌های انفرادی به درصد تغییر در شدت انرژی واقعی استفاده شده است. نتایج حاکی از آن است که بهبود شدید در کارایی انرژی به ویژه در کشورهای کمونیستی سابق مشاهده می‌شود. این کاهش به نتیجه‌ای از نوسازی، مرتبط می‌شود. بزرگترین کمک کننده به این بهبود، بخش صنعت (از جمله تولید)، و پس از آن به ترتیب بخش‌های حمل و نقل، هتل‌ها و رستوران‌ها بوده است. تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد به منظور دستیابی به کاهش در شدت انرژی واقعی، اعضای کشورهای کمونیستی سابق اتحادیه اروپا به استراتژی‌هایی شامل ارتقاء و انطباق روش‌های کارآمدتر، نوآوری، بهبود استفاده از فن آوری‌ها، R&D، و جایگزینی برای کیفیت بالاتر انرژی؛ که در راستای بخش صنعت می‌باشد؛ توجه خاصی نشان می‌دهند و در کشورهای غربی علاوه بر صنعت و حمل و نقل به هتل‌ها و رستوران‌ها نیز اهمیت داده می‌شود.

چوی و او^{۲۴} (2013) در مطالعه‌ای با عنوان "دیویژیا شاخص تجزیه گسترش یافته جهت تغییرات در شدت انرژی. مطالعه موردی صنایع تولیدی کره" به بررسی کارایی انرژی در صنعت تولیدی کره جنوبی پرداختند. آنها با استفاده از گسترش شاخص تجزیه دیویژیا با استناد به چوی و چانگ^{۲۵} (2012) توسط شاخص تجزیه Sato-Vartia- به تجزیه کاربردی شدت انرژی در صنعت تولیدی کره جنوبی پرداخته و نرخ رشد شدت انرژی کل را به 10 صنعت زیربخش تولید از طریق دو کانال: شدت انرژی واقعی و تغییرات ساختاری نسبت داده اند. نتیجه تجزیه نشان می‌دهد که در مجموع شاخص شدت انرژی در دوره 2010-1981 کاهش یافته است. تحلیل تجزیه شاخص کاهش 85.85٪، در شدت انرژی واقعی و افزایش 69.37٪ تغییر در شدت ساختاری در زمانی بیش از مدت مشابه را نشان می‌دهد اثر منفی تغییر ساختاری تا حدی نتیجه افزایش بخش انرژی بر صنعت، در تولید است. نتایج این مطالعه حاکی از آن است که ساختار صنعتی کره می‌تواند عاملی مهم برای بهبود

کارایی انرژی باشد.

جیمز و مرکادو^{۲۶} (2013) در مقاله‌ای با عنوان "یک تجزیه و کاربرد متقابل برای کشورهای امریکای لاتین" به بررسی روند شدت انرژی بر اساس یک نمونه از 75 کشور که کشورهای امریکای لاتین را نیز شامل می‌شود پرداختند. آنها از شاخص ایده‌آل فیشر برای تجزیه شدت انرژی در جهت سهم نسبی کارایی انرژی و ساختار اقتصادی استفاده کردند. یافته‌های این مطالعه که از طریق رگرسیون داده‌های پانل صورت گرفته است حاکی از کاهش شدت انرژی در محدوده بین 40 و 54 درصد به ترتیب در کشورهای با درآمد کم و درآمد متوسط است در حالیکه در کشورهای آمریکای لاتین این کاهش 20 درصد می‌باشد. نتایج این مقاله بیانگر این است روند شدت انرژی در این کشورها علاوه بر درآمد سرانه به قیمت نفت، تولید ناخالص داخلی و رشد اقتصادی نیز بستگی دارد.

ایکسو و آنگ^{۲۷} (2014) در مقاله‌ای با عنوان "تحلیل تجزیه چند سطحی؛ روشها و کاربردها" به معرفی و مقایسه دو روش تجزیه چند سطحی با استفاده از داده‌های مصرف انرژی آمریکا و چین می‌پردازند. این دو روش با عنوان‌های مدل چند سطحی موازی (MP²⁸) و مدل چند سطحی سلسله مراتبی (MH²⁹) نامیده می‌شود. روش MP با استفاده از روش تجزیه مشابه در روش یک سطحی IDA، صورت می‌گیرد در حالی که روش MH از روش تجزیه گام به گام استفاده می‌کند. اگر سلسله مراتب داده‌های مصرف انرژی متقارن باشد، از هر دو مدل می‌توان جهت تجزیه یک سطحی IDA، استفاده کرد، در حالی که اگر سلسله مراتب داده‌ها نامتقارن باشد، مدل MH توصیه می‌شود. برای انجام تجزیه و تحلیل چند سطحی با تلاش محاسباتی کمتر، مدل MP ترجیح داده می‌شود. در این مطالعه نتایج تجزیه از طریق روش جمع پذیر و ضرب پذیر LMDI-I صورت می‌گیرد. مقاله صنعت چین را به هشت بخش تقسیم کرده و با استفاده از مدل MH سهم اثرات زیربخش‌ها را نیز در تحلیل‌ها وارد کرده است. نتایج درمورد چین حاکی از آن است که تقریباً تمام بخش‌های صنعت به خصوص در سواحل شمالی، مرکزی و مناطق غربی با توجه به اثر فعالیت تمایل به سمت انرژی‌بری داشته‌اند. تنها استثنا در منطقه شمال شرقی است که در آن خدمات حمل و نقل، ذخیره سازی، پستی و مخابراتی و دیگر صنایع غیر تولیدی به سرعت در حال توسعه است. در حالی که اثر ساختار و شدت انرژی در زیربخش‌های صنعت

در تمام مناطق کاهشی و به عنوان یک نتیجه صرفه جویی انرژی نسبتاً بزرگ در سطح ملی بوده است.

این مقاله تغییر مصرف انرژی را برای صنعت آمریکا از سال 1985 تا 2004 با استفاده از روش LMDI ضرب پذیر و مدل MH به اثرات آن به تفکیک زیربخش‌ها تجزیه می‌کند. به دلیل نامتقارن بودن داده‌ها از روش MH استفاده شده است و تغییر مصرف انرژی و اثرات آن را در رابطه با تغییر ساختار از تولیدی به غیرتولیدی بررسی می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که اثر فعالیت در بخش صنعت باعث انرژی‌بری بیشتر صنایع شده است اما اثر شدت کاهش یافته و باعث صرفه جویی شده است. در مورد زیربخش‌ها اثر ساختاری و اثر شدت منفی بوده است.

در ادامه به محدود مطالعات انجام شده در حوزه‌ی تجزیه‌ی شدت انرژی و عوامل مؤثر بر آن در ایران پرداخته می‌شود.

حیدری و صادقی (1383) در مطالعه‌ی با عنوان "شناخت و بررسی رفتار صرفه جویی انرژی در صنایع بزرگ ایران" روش‌های مجزا سازی (تجزیه) دیویژیا را در مورد سه حامل مهم انرژی شامل برق، گاز طبیعی، فرآورده‌های نفتی و کل مصرف انرژی در صنایع بزرگ ایران به کاربرده و به تجزیه اثرها و عوامل تولیدی، ساختاری و شدت خالص در تغییرات مصرف کل، طی دوره 1380-1358 برای محاسبه میزان صرفه جویی در مصرف انرژی پرداخته و نتایج محاسبات را برای قبل و بعد از سال 1368 مقایسه کردند. نتایج بیانگر این است که تغییرات ساختاری در صنایع بزرگ ایران در مورد غالب حامل‌ها و کل مصرف منجر به صرفه جویی در مصرف انرژی شده است، هرچند اثرگذاری آن ضعیف بوده است.

قاسمی نژاد (1384) در پایان نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان "بررسی تغییرات شدت انرژی در بخش ریلی ایران" از روش دیویژیا در تجزیه انرژی، مصرف و شدت انرژی را به اثرات تولیدی، ساختاری و شدت خالص تجزیه کرده این تحقیق در سطح کلی، تغییرات مصرف و شدت انرژی را بطور تحلیلی بر روی بخشهای اقتصادی کشور و بویژه روی حمل و نقل زمینی (ریلی و جاده ای) مورد بررسی قرار داده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که سهم اثر ساختاری (تغییر در ترکیب فعالیتهای اقتصادی) بسیار پایین می باشد. اثر شدت خالص مصرف انرژی دارای بیشترین سهم در توضیح تغییرات مصرف و شدت انرژی می باشد. به عبارت دیگر مصرف زیاد انرژی بخاطر انرژی بری (اثر ساختاری) در بخش حمل و نقل

نمی باشد بلکه بخاطر شدت مصرف انرژی (اثر شدت خالص) می باشد.

عباسی، صادقی و خسروی (1388) در مقاله ای با عنوان "بررسی عوامل مؤثر بر شدت مصرف انرژی؛ رهیافت تجزیه شدت انرژی؛ مطالعه موردی گروه صنایع سیمان کرمان" شدت مصرف انرژی در گروه صنایع سیمان کرمان را به اثرات ساختاری، تولیدی و شدت خالص، تجزیه کردند که این تجزیه بر اساس داده‌های سری زمانی طی سالهای 1375-1385 و با استفاده از روشهای چهارگانه ویژه شدت مصرف انرژی صورت گرفته است. نتایج با استناد بر روش (AVE_PDMI) که دارای کمترین میزان پسماند می باشد حاکی از آن است که اثر ساختاری دارای سهم اندکی در توضیح تغییرات مصرف انرژی بوده و اثرات شدت خالص و تولیدی سهم غالبی در این توضیح دارند. بر پایه نتایج این مطالعه علت شکست در کاهش شدت انرژی و به تبع آن افزایش کارایی در برخی سالها عدم انعطاف تابع تولید سیمان کرمان می باشد.

صادقی و سجودی (1389) در مقاله‌ی با عنوان "مطالعه عوامل مؤثر بر شدت انرژی در بنگاه‌های صنعتی" به بررسی تجربی رابطه بین شدت انرژی و برخی از ویژگی‌های منتخب بنگاه در بخش صنایع کارخانه ای ایران پرداختند. تحلیل‌های تجربی این مطالعه با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی و با به کارگیری نمونه‌های مقطعی شامل 12298 بنگاه صنعتی فعال انجام گرفته است. نتایج مطالعه نشان دهنده یک رابطه مستقیم بین اندازه بنگاه و شدت انرژی در بنگاه می باشد و دلیل آن می تواند دولتی بودن اغلب بنگاه‌های بزرگ باشد همچنین نتایج تحلیل‌های تجربی این مطالعه نشان دهنده اثر معنی دار نوع مالکیت بنگاه بر شدت انرژی بنگاه می باشد به طوری که بنگاه‌های خصوصی دارای شدت انرژی کمتری بودند. مخارج R&D اثر معنی داری بر کاهش شدت انرژی بنگاه نداشته است. شدت سرمایه فیزیکی و نرخ دستمزد دارای اثر مثبت بر شدت انرژی بنگاه بودند.

بهبودی، اصلانی نیا و سجودی (1389) در مقاله ای با عنوان "تجزیه شدت انرژی و بررسی عوامل مؤثر بر آن در اقتصاد ایران" دو عامل کلیدی مؤثر بر تغییرات شدت انرژی یعنی افزایش کارایی و تغییر در فعالیت‌های اقتصادی را در ایران و در بازه زمانی 1347-1385 مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تجزیه به روش شاخص ایده آل فیشر نشان می‌دهد که

LMDI وجود دارد ساده کرد (آنگ، 2004). رابطه اجازة می‌دهد تا از هر یک از دو نسخه استفاده کرد و در عین حال نتایجی که برای هر دوی EPI و ES به دست خواهد آمد یکسان خواهد شد. نسخه جمع پذیر LMDI برای استفاده ساده‌تر می‌باشد. بنابراین فرمول مرتبط با هر دو تجزیه و تحلیل پیوسته و غیر پیوسته در زیر ارایه شده است.

3-2- تحلیل تجزیه شاخص (IDA)

با فرض اینکه یک اقتصاد به m بخش عمده مصرف کننده انرژی تقسیم شود. همچنین فرض شود کل مصرف انرژی در بخش i (E_i)، مجموع مصرف انرژی در n_i زیر بخش است و همان شاخص فعالیت برای همه زیر بخش‌ها به کار گرفته شود، داریم:

$$E_i = \sum_{j=1}^{n_i} E_{ij} = \sum_{j=1}^{n_i} Q_i \frac{Q_{ij} E_{ij}}{Q_i Q_{ij}} = \sum_{j=1}^{n_i} Q_i S_{ij} I_{ij} \quad (1)$$

که در آن:

E_{ij} = مصرف انرژی

Q_{ij} = سطح فعالیت زیر بخش j از بخش i

Q_i = سطح فعالیت کل بخش i است،

S_{ij} (= Q_{ij}/Q_i) = سهم فعالیت زیر بخش j از بخش i ام،

و I_{ij} (= E_{ij}/Q_{ij}) = شدت انرژی از زیربخش j است.

3-3- برآورد اثرات ساختار، فعالیت و شدت انرژی

معادله (2) سه عامل اساسی فرمول IDA را فراهم می‌کند. با توجه به معادله (2)، تغییر در E_i در طول زمان، از سال 0 تا T ، با سه اثر هدایت می‌شود: سطح فعالیت (اثر فعالیت)، ساختار فعالیت (اثر ساختار) و شدت انرژی زیر بخش (اثر شدت). بر اساس IDA جمع پذیر، رابطه زیر برقرار است:

$$\Delta E_i^{0,T} = E_i^T - E_i^0 = \Delta E_{i-act}^{0,T} + \Delta E_{i-str}^{0,T} + \Delta E_{i-int}^{0,T} \quad (2)$$

فرمول تجزیه LMDI برای کمی کردن اثرات فعالیت، ساختار

و شدت در معادله (2) به صورت زیر می‌باشد:

$$\Delta E_{i-act}^{0,T} = \sum_{j=1}^{n_i} L(E_{ij}^T, E_{ij}^0) \ln(Q_i^T/Q_i^0) \quad (3)$$

$$\Delta E_{i-str}^{0,T} = \sum_{j=1}^{n_i} L(E_{ij}^T, E_{ij}^0) \ln(S_{ij}^T/S_{ij}^0) \quad (4)$$

$$\Delta E_{i-int}^{0,T} = \sum_{j=1}^{n_i} L(E_{ij}^T, E_{ij}^0) \ln(I_{ij}^T/I_{ij}^0) \quad (5)$$

افزایش شدت انرژی در کشور در اثر تغییر ساختار فعالیت‌های اقتصادی و نیز کاهش کارایی در بهره‌گیری از انرژی بوده است. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده در این مقاله یکی از عوامل بسیار تاثیرگذار بر شدت انرژی، قیمت انرژی می‌باشد. به طوری که حساسیت شدت انرژی نسبت به قیمت انرژی بسیار بالا می‌باشد. جهانگرد و تجلی (1390) در مقاله‌ای با عنوان "تجزیه شدت انرژی بری در صنایع کارخانه‌ای ایران" تجزیه شدت انرژی به دو اثر ساختاری و شدت بخشی را در کل صنعت و صنایع 9 گانه ایران با استفاده از شاخص لاسپیرز و شاخص میانگین حسابی دیویژیا انجام دادند. نتایج این مقاله نشان می‌دهد که در کل صنعت اثر شدت نسبت به اثر ساختار سهم بیشتری در تغییرات اثر کل دارد. در بیشتر صنایع نیز اثر شدت از اثر ساختار تاثیرگذارتر بوده و در برخی موارد نیز هر دو اثر، موثر بوده اند. در بیشتر موارد اثر شدت در جهت کاهش شدت انرژی حرکت کرده است.

صادقی، حری و محمد میرزایی (1392) در مطالعه‌ای با عنوان "تحلیل تجزیه آلودگی در ایران: رهیافت داده- ستانده" با استفاده از روش تحلیل تجزیه ساختاری (SDA) به تحلیل تجزیه انتشار CO_2 به سه اثر ساختاری لئونتیف، تقاضای نهایی و شدت انتشار و مقایسه آنها پرداخته‌اند. در این مطالعه از جداول داده- ستانده برای سال‌های 1370-1365 و 1385-1380 و همچنین از روش راس برای به دست آوردن ماتریس مبادلات بین بخشی استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که سه اثر مذکور در سطح گروه‌ها عمدتاً در جهت افزایش انتشار مشارکت دارند، در حالی که در سطوح زیرگروه‌ها در سال‌های 1370-1365 نزدیکی بالایی بین سه روش در اثر شدت انتشار مشاهده می‌شود، اما در سال‌های 1385-1380 چنین نزدیکی و تقریبی مشاهده نمی‌شود.

3- مبانی نظری

3-1- محاسبه کارایی انرژی در چارچوب روش LMDI

و رویکرد IDA

در این تحقیق یک چارچوب محاسبه کارایی انرژی LMDI با استفاده از رویکرد IDA ارائه شده است. در این چارچوب به طور خاص، شاخص‌های عملکرد انرژی (EPI) و صرفه جویی انرژی (ES) در نظر گرفته می‌شود. محاسبات را می‌توان با توجه به رابطه‌ای که بین نسخه‌های جمع پذیر و ضرب پذیر از روش

و نقل مسافر و حمل و نقل کالا باشد. شدت اثرات این دو بخش در ابتدا با استفاده از معادله (5) تخمین زده شده و سپس جمع می‌شود. مجموع از طریق معادلات (6) تا (9) به منظور برآورد صرفه جویی و انرژی فرضی برای حمل و نقل صورت می‌گیرد، به همین ترتیب، صرفه جویی‌های گسترده اقتصادی و استفاده از انرژی فرضی را می‌توان به روش یکسان به دست آورد.

3-6- محاسبه شاخص عملکرد انرژی

به جز در موارد خاص، در بقیه موارد کاهش شدت انرژی بهبود شاخص عملکرد انرژی (EPI) را نشان می‌دهد و بهبود (EPI) نیز باعث صرفه‌جویی مثبت در انرژی می‌شود. صرفه جویی (ES) منفی حاکی از وخامت کارایی و مصرف انرژی در سطحی بالاتر می‌باشد.

(EPI) با نسبت تغییر در مصرف انرژی (ΔE) ارتباط نزدیکی دارد و اغلب از فرمول‌هایی که به صورت ضربی بیان می‌شود پیروی می‌کند. برآورد اقتصاد گسترده به عنوان مجموع وزنی (درارتباط با EPI) و یا مجموع (درارتباط با ES) برای بخش‌ها و زیربخش‌ها می‌باشد. عموماً برآوردهایی مشابه برای اثرات دیگر، موجود در تعریف رایج IDA؛ اثر فعالیت و اثر ساختار صورت می‌گیرد.

3-6-1 رابطه (EPI) و (ES)

باتوجه به اینکه رابطه دقیقی بین دو شاخص (EPI) و (ES) ثابت نشده است اما روابط ذیل همواره برقرار است:

$$\begin{aligned} ES > 0 &\rightarrow EPI < 1 \\ ES = 0 &\rightarrow EPI = 1 \\ ES < 0 &\rightarrow EPI > 1 \end{aligned}$$

شاخص عملکرد انرژی از روش LMDI ضرب پذیر به دست آمده که برای سادگی EPI نوشته شده است. به استناد رابطه تحلیلی ساده بین LMDI جمع پذیر و ضرب پذیر (آنگ 2004) می‌توان EPI بخش i برای سال T را از نتایج به دست آمده توسط LMDI جمع پذیر به شرح زیر استخراج کرد:

$$EPI_i^{0,T} = \exp\left(\Delta E_{i-int}^{0,T} \frac{\ln(E_i^T/E_i^0)}{E_i^T - E_i^0}\right) = \left(\frac{E_i^T}{E_i^0}\right)^{\Delta E_{i-int}^{0,T}/(E_i^T - E_i^0)} \quad (10)$$

متغیرهای اقتصاد گسترده در سطح مربوطه (و یا متغیرهای سطح

که در آن تابع $L(B, A)$ متوسط لگاریتمی دو عدد مثبت a و b است که بوسیله عبارت زیر معین شده است (آنگ، 2004).

$$L(a, b) = \begin{cases} (a-b)/\ln(a/b) & \text{if } a \neq b \\ 0 & \text{if } a = b \end{cases}$$

3-4- صرفه‌جویی انرژی

صرفه‌جویی انرژی در معادله (6) با توجه به بهبود کارایی انرژی بخش i در دوره T صورت گرفته، به عنوان مثال

$$ES_i^T = -\Delta E_{i-int}^{0,T} \quad (6)$$

هنگامی که داده‌ها برای سال‌های متوالی در طی یک دوره زمانی (مثلاً $T=1, 0, \dots, T$) در دسترس باشد، ممکن است از نتایج تجزیه پیوسته (زنجیری) استفاده شود و صرفه جویی توسط فرمول زیر به دست می‌آید:

$$ES_i^t = -\sum_{k=1}^t \Delta E_{i-int}^{k-1,k} \quad (7)$$

3-5- سطح فرضی مصرف انرژی در غیاب بهبود

کارایی و صرفه جویی انرژی (EH)

سطح فرضی مصرف انرژی مجموع مصرف انرژی و صرفه جویی انرژی در غیاب بهبود کارایی را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر تفاوت مصرف انرژی و شدت انرژی همان مصرف فرضی انرژی می‌باشد.

از معادلات (8) و (9)، سطح فرضی مصرف انرژی (EH) برای بخش i در دوره‌های مربوطه، با فرض اینکه بهبودی در کارایی انرژی صورت نگرفته، به ترتیب بوسیله عبارت زیر به دست می‌آید:

$$EH_i^T = E_i^T - \Delta E_{i-int}^{0,T} \quad (8)$$

$$EH_i^t = E_i^t - \sum_{k=1}^t \Delta E_{i-int}^{k-1,k} \quad (9)$$

رابطه (6) تا (9) برای به دست آوردن تخمین‌های مربوطه برای یک گروه که شامل چند بخش است مورد استفاده قرار می‌گیرد. در چنین مواردی اثر شدت در این معادلات توسط مجموعه ای از اثرات شدت بخشی داده شده توسط معادله (5) برای همه بخش‌های گروه، جایگزین خواهد شد. به عنوان مثال، فرض کنید حمل و نقل یک گروه است و شامل دو بخش: حمل

در معادله (10) استفاده انرژی بخشی و اثرات شدت توسط

گروه)، جایگزین شده است EPI اقتصاد گسترده^{۳۱} با روش زیر به دست می آید :

$$EPI_i^{0,T} = \left(\frac{\sum_{i=1}^m E_i^T}{\sum_{i=1}^m E_i^0} \right)^{\frac{\sum_{i=1}^m \Delta E_{i-int}^{0,T}}{\sum_{i=1}^m (E_i^T / E_i^0)}} = \left(\frac{E^T}{E^0} \right)^{\frac{\sum_{i=1}^m \Delta E_{i-int}^{0,T}}{(E^T - E^0)}} \quad (11)$$

معادله (12) تفسیر EPI را به طور مستقیم به ES مرتبط می کند. به عنوان مثال، EPI، 0/9 به دست آمده از اثر شدت 10-keto

در تجزیه و تحلیل زنجیره ای که در آن $t = 0, 1, \dots, T$ می باشد، سری EPI برای بخش i به صورت زیر تعریف می شود:

$$EPI_i^0 = 1$$

$$EPI_i^t = \prod_{k=1}^t EPI_i^{k-1,k} = \prod_{k=1}^t \left(\frac{E_i^k}{E_i^{k-1}} \right)^{\frac{\Delta E_{i-int}^{k-1,k}}{(E_i^k - E_i^{k-1})}} \quad t = 1, \dots, T \quad (12)$$

و سری EPI اقتصاد گسترده به صورت زیر است :

$$EPI^0 = 1$$

$$EPI^t = \prod_{k=1}^t EPI^{k-1,k} = \prod_{k=1}^t \left(\frac{E^k}{E^{k-1}} \right)^{\frac{\sum_{i=1}^m \Delta E_{i-int}^{k-1,k}}{(E^k - E^{k-1})}} \quad , t = 1, \dots, T \quad (13)$$

4- داده ها و اطلاعات بخش حمل و نقل

شاخص مسافر- کیلومتر در بخش حمل و نقل مسافر به عنوان داده های تولید در این فرمولها استفاده شده است. یکی از مزیت های استفاده از شاخص های فیزیکی این است که به جای داده پولی مورد استفاده واقع می شود. با توجه به افزایش قیمت ها، داده های پولی (ارزش افزوده) را باید براساس یک سال ثابت (به عنوان سال پایه) محاسبه نمود. این کار باعث می شود که بهره وری انرژی هر ساله با مقادیر متفاوت بیان شود. در صورتی که در مورد شاخص های فیزیکی نیازی به این گونه محاسبات نمی باشد.

اطلاعات بخش حمل و نقل از سالنامه های آماری حمل و نقل جاده ای، ریلی و هوایی جمع آوری شده است. پردازش بر روی داده های این بخش به صورت تبدیل واحدهای سوختی به کیلو تن بشکه معادل نفت خام (keto) و واحدهای فیزیکی به جای واحدهای پولی و اقتصادی می باشد.

در این مطالعه با جمع آوری داده های بخش های جاده ای، ریلی و هوایی به عنوان زیر بخش هایی از بخش حمل و نقل به بررسی کارایی انرژی در بخش حمل و نقل می پردازد، اما به علت تفاوت در واحد داده ها، اطلاعات مربوط به این زیربخش ها در دو بخش حمل و نقل کالا (بار) و حمل و نقل مسافر وارد شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد. با توجه به وجود آمار مربوط به جابجایی بار برحسب تن-کیلومتر و مسافر بر حسب مسافر-کیلومتر از این شاخص ها به جای شاخص ارزش افزوده در فرمول های مختلف مصرف و بهره وری انرژی استفاده شده است. این شاخص ها فعالیت بخش حمل و نقل را برحسب واحدهای فیزیکی اندازه گیری می کند. بنابراین از شاخص تن- کیلومتر در بخش حمل و نقل کالا و از

4-1- روند مصرف انرژی در بخش حمل و نقل

مصرف فرآورده های نفتی بخش حمل و نقل در سال 1390 بیش از 80 درصد کل مصرف فرآورده های نفتی کشور را به خود اختصاص داده است. لازم به ذکر است مصرف انرژی در بخش جاده ای با 92/11 درصد بیشترین سهم را از مصرف انرژی بخش حمل و نقل داشته، و بخش های هوایی و ریلی به ترتیب با 2/84 و 0/78 درصد درمقایسه با بخش حمل و نقل جاده ای

از سهم بسیار ناچیزی برخوردار بوده اند. در سال 1390 بیشترین سهم در انتشار آلاینده‌های مونوکسیدکربن، اکسیدهای نیتروژن، هیدروکربن‌های نسوخته و $SPM_{3.2}$ مربوط به بخش حمل و نقل بوده است. همانطور که قبلاً نیز ذکر شد بخش حمل و نقل جاده‌ای در بین روشهای مختلف حمل و نقل کالا همواره با بیش از 90 درصد از جابه جایی در سطح کشور به عنوان عمده‌ترین

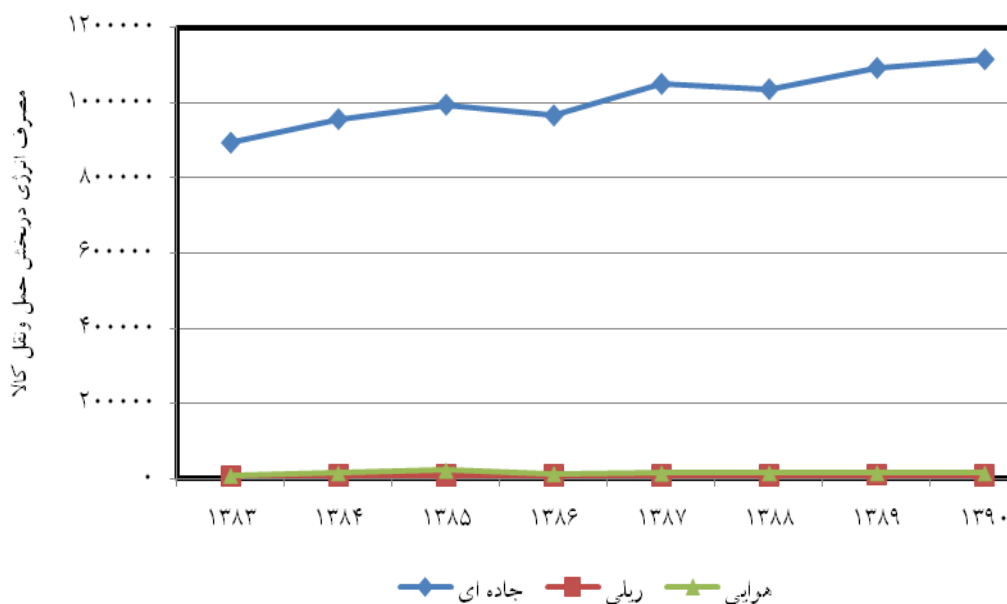
روش حمل و نقل کالا و مسافر محسوب می‌شود و بیشترین مصرف انرژی نیز مربوط به بخش حمل و نقل جاده‌ای بوده و بخش‌های هوایی و ریلی سهم بسیار اندکی از مصرف را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول 1. مصرف انرژی در بخش حمل و نقل کالا و مسافر طی دوره 1383-1390 (کیلو تن معادل نفت خام)

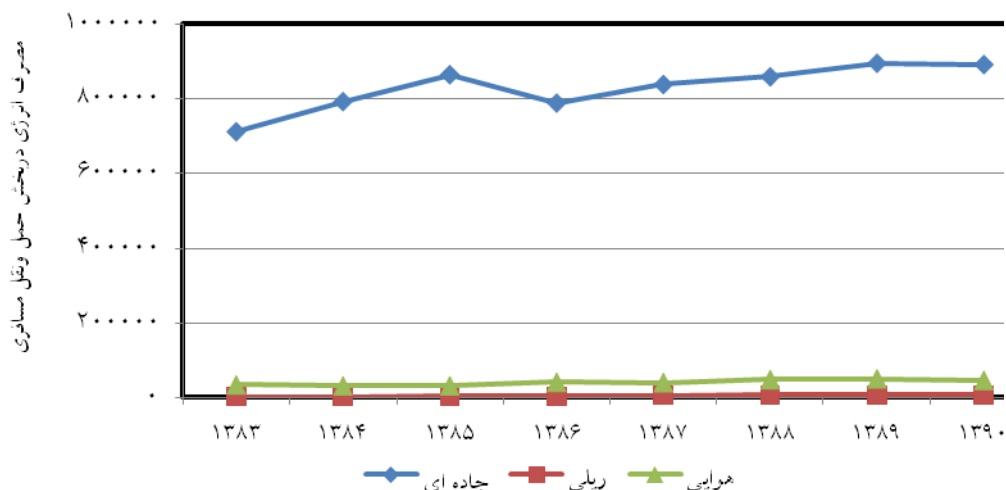
مصرف انرژی در بخش حمل و نقل مسافر (کیلو تن معادل نفت خام)			مصرف انرژی در بخش حمل و نقل کالا (کیلو تن معادل نفت خام)			سال
هوایی	ریلی	جاده ای	هوایی	ریلی	جاده ای	
35184	3298/5	712402/7	7696/5	8209/6	895359/5	1383
32325/3	3738/3	792666/2	14440/1	8796	957591/2	1384
32765/1	4471/3	864500/2	21916/7	9822/2	995560/6	1385
42587/3	4984/4	788854/6	12900/8	9529	967706/6	1386
41781	5790/7	838258/8	14293/5	9822/2	1051122	1387
49624/1	6303/8	858929/4	14879/9	9602/3	1036828/5	1388
51456/6	6523/7	895066/3	14953/2	10188/7	1092976/3	1389
47498/4	7036/8	891621/2	14513/4	9968/8	1116065/8	1390

منبع: سالنامه آماری حمل و نقل جاده ای، ریلی و هوایی و محاسبات تحقیق

نمودار شماره 1. مصرف انرژی در بخش حمل و نقل کالا طی دوره 1383-1390 (کیلو تن معادل نفت خام)



نمودار 2. مصرف انرژی در بخش حمل و نقل مسافر طی دوره 1383-1390 (کیلو تن معادل نفت خام)



4-2- فعالیت‌های بخش حمل و نقل

با توجه به نقش فعالیت‌های بخش حمل و نقل در اقتصاد از طریق ارزش افزوده ای که این بخش به خود اختصاص می‌دهد و همچنین اهمیتی که در راستای محیط زیست دارد در اینجا فعالیت‌های بخش حمل و نقل در دو بخش حمل و نقل کالا و مسافر و زیربخش‌های جاده ای، ریلی و هوایی توسط واحدهای میلیون تن-کیلومتر برای حمل و نقل کالا و میلیون نفر-کیلومتر برای حمل و نقل مسافر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

روند مصرف انرژی در بخش حمل و نقل جاده‌ای کالا به استثنای سال 1386 افزایشی است و مصرف انرژی در بخش‌های هوایی و ریلی روند نسبتاً ثابتی را دنبال کرده است. مصرف انرژی در بخش جاده‌ای در مقایسه با بخش‌های ریلی و هوایی بیش از ده برابر می‌باشد.

در بخش مسافری نیز روندی مشابه بخش کالا مشاهده می‌شود.

جدول 2. فعالیت در بخش حمل و نقل کالا و مسافر طی دوره 1383-1390

مسافر جابجا شده در بخش حمل و نقل مسافر (میلیون نفر کیلومتر)			بار حمل شده در بخش حمل و نقل کالا (میلیون تن کیلومتر)			سال
هوایی	ریلی	جاده ای	هوایی	ریلی	جاده ای	
15411	10010	54779	1112	18179	110618	1383
14007	11149	54881	2011	19127	116889	1384
16521	12549	56001	3591	20542	132070	1385
24161	13900	60107	2441	20229	142942	1386
18325	15312	63685	1943	20540	152996	1387
17645	16814	64787	1694	20247	159814	1388
21090	17611	59892	1982	21779	173983	1389
21753	17877	58400	2171	21008	178679	1390

منبع: سالنامه آماری حمل و نقل جاده ای، ریلی و هوایی

مواجهه شده و جابجایی مسافر در بخش‌های هوایی و ریلی نیز با شیب ملایمی طی دوره افزایش یافته است.

همانطور که در جدول شماره 4 و نمودارهای شماره 3 و 4 مشاهده می‌شود بیشترین جایه جایی کالا در بخش حمل و نقل به بخش جاده‌ای اختصاص دارد و طی دوره مورد بررسی دارای روند صعودی بوده است. بخش‌های هوایی و ریلی سهم بسیار ناچیزی در جابجایی کالا داشته‌اند و روندی ثابت را دنبال کرده‌اند.

5- یافته‌های تحقیق

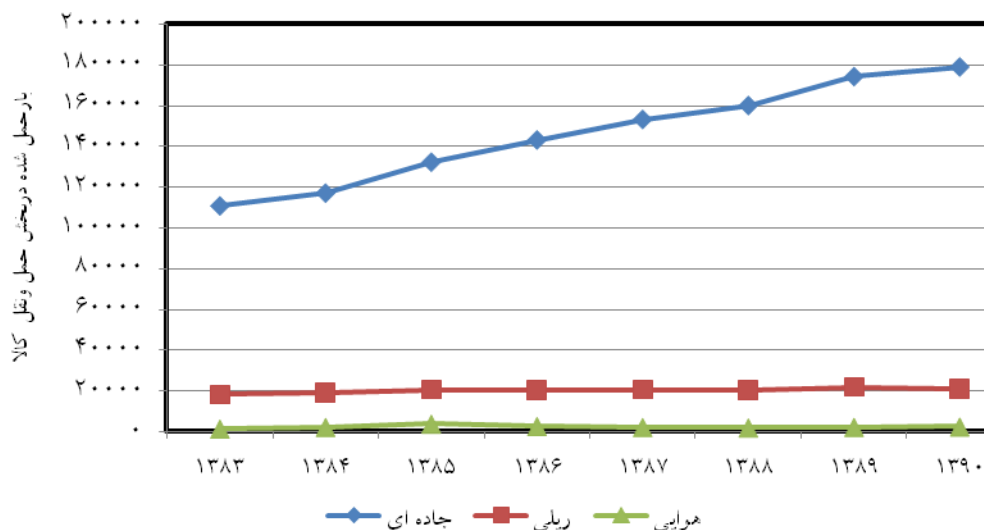
5-1- محاسبه اثرات شدت انرژی به تفکیک زیر

بخش‌های حمل و نقل

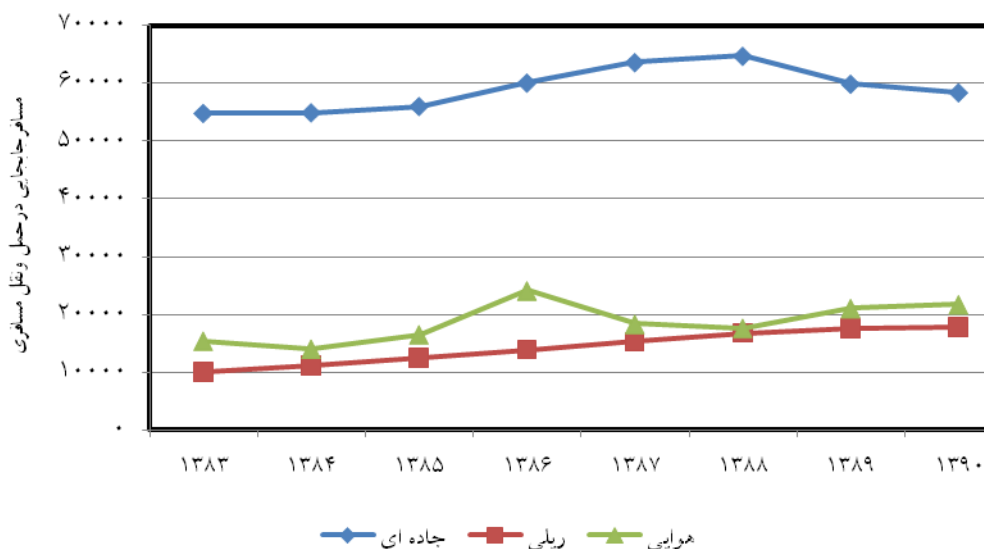
در این بخش اثرات شدت انرژی در زیر بخش‌های حمل و نقل طی سال‌های (1383-1390) محاسبه شده است.

اما در مورد بخش حمل و نقل مسافری با وجود اینکه بیشترین سهم از آن بخش جاده‌ای بوده است و تا سال 1388 روند صعودی داشته است، از سال 1388 تا 1390 با کاهش

نمودار 3. فعالیت در بخش حمل و نقل کالا طی دوره 1383-1390 (میلیون تن-کیلومتر)



نمودار 4. فعالیت در بخش حمل و نقل مسافر طی دوره 1383-1390 (میلیون نفر-کیلومتر)



جدول 3. تجزیه تغییرات مصرف حمل و نقل جاده ای به اثرات شدتی، ساختاری و فعالیت طی دوره (1383-1390)

تجزیه مصرف انرژی به اثرات در حمل و نقل مسافر بخش جاده ای			تجزیه مصرف انرژی به اثرات در حمل و نقل کالا بخش جاده ای			سال
Eact	Estr	Eint	Eact	Estr	Eint	
*	*	*	*	*	*	1383
-1529/57	2928/18	78864/89	56137/29	-5068/85	11163/26	1384
50509/56	-33780/73	55105/17	120794/18	-1562/14	-81262/64	1385
118292/68	-59840/50	-134097/78	57413/13	20235/62	-105502/75	1386
-7039/35	54066/98	2376/58	58383/24	10190/44	14841/72	1387
16611/72	-2054/04	6112/92	36684/98	8830/44	-59808/92	1388
-5788/55	-63100/43	105025/88	89764/99	674/26	-34291/45	1389
-5115/92	-17420/48	19091/30	22742/60	6673/37	-6326/48	1390

منبع: محاسبات تحقیق

جدول 4. تجزیه تغییرات مصرف انرژی حمل و نقل ریلی به اثرات شدتی، ساختاری و فعالیت طی دوره (1383-1390)

تجزیه مصرف انرژی به اثرات در حمل و نقل کالا ریلی			تجزیه مصرف انرژی به اثرات در حمل و نقل مسافری ریلی			سال
Eact	Estr	Eint	Eact	Estr	Eint	
*	*	*	*	*	*	1383
515/19	-83/13	154/34	-7/15	385/82	61/13	1384
1150/43	-486/71	362/48	249/71	234/55	248/73	1385
565/89	-714/45	-144/65	676/34	-193/40	30/16	1386
559/90	-412/29	145/59	-46/54	566/80	286/04	1387
341/28	-480/81	-80/36	118/31	447/22	-52/43	1388
834/08	-112/52	-135/16	-42/34	339/34	-77/10	1389
207/53	-570/78	143/35	-38/81	140/41	411/50	1390

منبع: محاسبات تحقیق

جدول شماره 5. تجزیه تغییرات مصرف انرژی حمل و نقل هوایی به اثرات شدتی، ساختاری و فعالیت طی دوره (1383-1390)

تجزیه مصرف انرژی به اثرات در حمل و نقل کالا هوایی			تجزیه مصرف انرژی به اثرات در حمل و نقل مسافری هوایی			سال
Eact	Estr	Eint	Eact	Estr	Eint	
*	*	*	*	*	*	1383
649/61	5699/91	394/08	-68/63	-3153/83	363/76	1384
2216/73	8172/79	-2912/92	1985/14	3387/19	-4932/52	1385
995/08	-7562/27	-2448/71	5364/31	8875/21	-4417/32	1386
786/20	-3886/01	4492/51	-365/10	-11297/34	10856/15	1387
512/51	-2512/67	2586/56	892/50	-2616/44	9567/04	1388
1257/67	1084/43	-2268/80	-333/60	9346/31	-7180/21	1389
303/35	1038/48	-1781/63	-283/19	1813/84	-5488/84	1390

منبع: محاسبات تحقیق

صرفه جویی انرژی با توجه به معادلات 7 تا 10 از برآورد اثر شدتی مصرف انرژی به دست می آید. شاخص عملکرد انرژی نیز با استفاده از معادلات 11 و 12 برآورد شده است. با توجه به معادله شماره 12 سطح فرضی مصرف انرژی بیانگر مصرف انرژی در صورت عدم وجود کارایی و نادیده گرفتن صرفه جویی طی دوره می باشد. به علت اینکه کارایی انرژی

5-2- سطح فرضی مصرف، اثر شدت، صرفه جویی و شاخص عملکرد انرژی

جدول شماره 6 و 7 به ترتیب نتایج محاسبات تحقیق برای سطح فرضی مصرف، اثر شدت، صرفه جویی و شاخص عملکرد انرژی در بخش های حمل و نقل کالا و مسافر را نشان می دهند. همان طور که در قبلا نیز ذکر شد سطح فرضی مصرف انرژی و

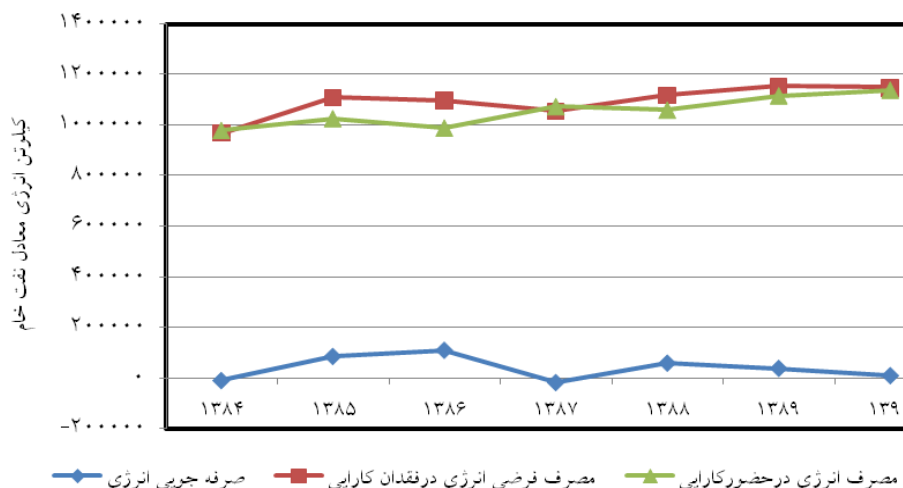
باعث صرفه جویی در مصرف می‌شود، بنابراین سطح مصرف فرضی حاصل جمع مصرف انرژی طول دوره با صرفه جویی‌های صورت گرفته ناشی از کارایی طی دوره می‌باشد.

جدول 6. سطح فرضی مصرف، اثرشدت، صرفه جویی، و شاخص عملکرد انرژی در حمل و نقل کالا طی دوره (1383-1390)

EPI	ES	ΔE_{i-int}	EH	دوره
1/01	-11711/68	11711/68	969115/62	1383-1384
0/92	83813/09	-83813/09	1111112/59	1384-1385
0/90	108096/11	-108096/11	1098232/51	1385-1386
1/02	-19479/82	19479/82	1055757/88	1386-1387
0/95	57302/73	-57302/73	1118613/43	1387-1388
0/97	36695/42	-36695/42	1154813/62	1388-1389
0/99	7964/75	-7964/75	1148512/75	1389-1390

منبع: محاسبات تحقیق

نمودار 5. مصرف انرژی، سطح فرضی مصرف، و صرفه جویی انرژی در حمل و نقل کالا طی دوره (1383-1390)



اما در سال‌های 1384 و 1387 کاهش بهره‌وری باعث صرفه جویی منفی و افزایش مصرف همراه بوده و به همین علت سطح مصرف فرضی کمتر از مصرف واقعی نشان داده می‌شود که البته تفاوت در اینجا بسیار ناچیز بوده به طوری که در نمودار مصرف انرژی واقعی و فرضی به هم نزدیکند.

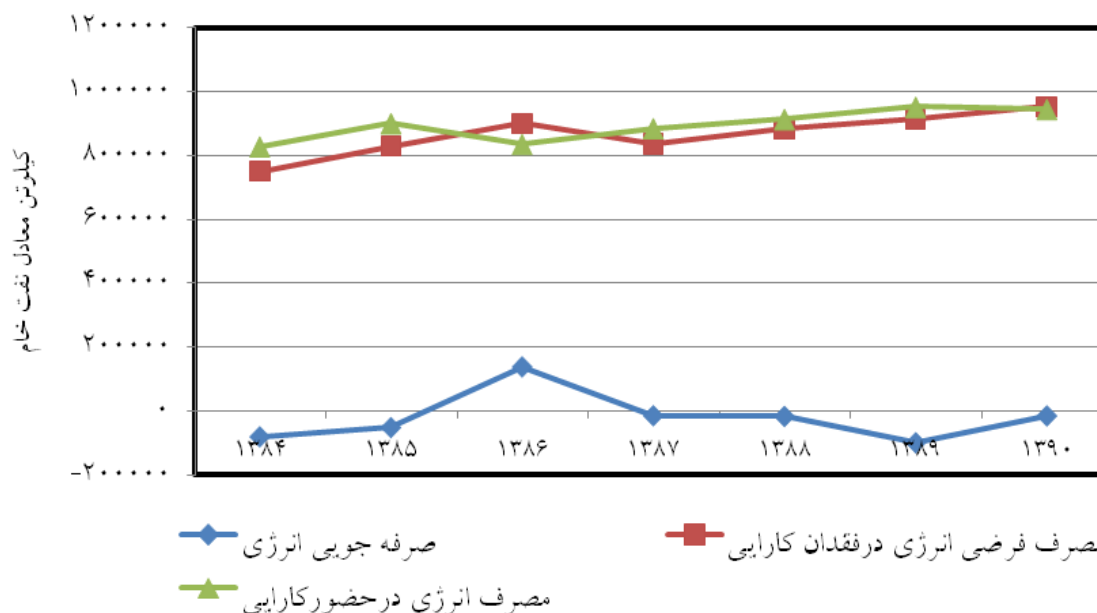
باتوجه به نمودار شماره 5 ملاحظه می‌شود سطح فرضی مصرف انرژی در بخش حمل و نقل کالا در سال‌های 1388، 1386، 1385 و 1389 به دلیل صرفه جویی‌های مثبت در اثر بهبود کارایی و کاهش مصرف انرژی با افزایش مواجه شده است.

جدول 7. سطح فرضی مصرف، اثرشدت، صرفه جویی، و شاخص عملکرد انرژی در حمل و نقل مسافر طی دوره (1383-1390)

EPI	ES	ΔE_{i-int}	EH	دوره
1/1	-79289/79	79289/79	750885/20	1383-1384
1/09	-50421/38	50421/38	828729/80	1384-1385
0/93	138484/94	-138484/94	901736/60	1385-1386
1/06	-13518/76	13518/76	836426/30	1386-1387
1/03	-15627/52	15627/52	885830/50	1387-1388
1/04	-97768/57	97768/57	914857/30	1388-1389
1/01	-14013/96	14013/96	953046/60	1389-1390

منبع: محاسبات تحقیق

نمودار 6. مصرف انرژی، سطح فرضی مصرف، و صرفه جویی در حمل و نقل مسافر طی دوره (1383-1390)



کاسته خواهد شد. در این مورد نیز هر چه (EPI) به 1 نزدیکتر باشد با افزایش کمتری در کارایی از صرفه جویی منفی کاسته خواهد شد.

با مشاهده نمودارهای شماره 8 تا 10 روابط بالا در بخش‌های صنعت، حمل و نقل کالا و مسافر طی دوره (1383-1390) به راحتی قابل تفسیر بوده و کارایی انرژی با توجه به این شاخص‌ها قابل توضیح است.

روابط بین EPI و ES بیانگر وجود نقاطی است که در نمودارهای پراکنده، این دو شاخص در ربع دوم و چهارم قرار دارند. نقاط موجود در ربع چهارم حاکی از آن است که بهبود عملکرد شاخص انرژی از طریق افزایش کارایی باعث صرفه‌جویی مثبت در مصرف انرژی به میزان اثر شدت انرژی می‌شود. لازم به ذکر است برآوردهای به دست آمده در تحقیق حاضر مطابق روابط بالا می‌باشد. در ادامه این روابط توسط نمودارهای پراکنده که با استفاده از نرم افزار Mini tab ترسیم شده‌اند نشان داده شده است.

همانطور که در نمودار شماره 6 ملاحظه می‌شود سطح فرضی مصرف انرژی در بخش حمل و نقل مسافری در همه سال‌ها به استثنای سال 1386 به دلیل صرفه جویی در اثر کاهش بهره‌وری با کاهش مواجه شده است و تنها سال 1386 بهبود کارایی باعث صرفه جویی مثبت و کاهش مصرف شده است و به همین علت سطح مصرف فرضی بیش از مصرف واقعی نشان داده می‌شود.

3-5- روابط موجود بین (EPI) و (ES)

باتوجه به روابطی که در بخش 3 بین شاخص‌های عملکرد انرژی (EPI) و صرفه جویی انرژی (ES) به صورت زیر بیان شد:

$$ES > 0 \rightarrow EPI < 1$$

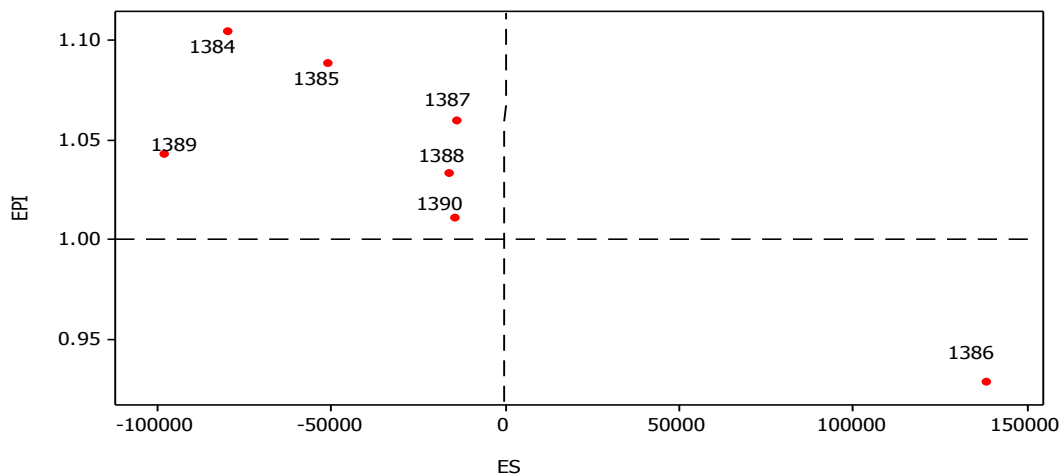
$$ES = 0 \rightarrow EPI = 1$$

$$ES < 0 \rightarrow EPI > 1$$

باتوجه به توضیحات ذکر شده در مورد (EPI) و روابط بالا می‌توان نتیجه گرفت که چنانچه $0 < EPI < 1$ باشد، افزایش کارایی صرفه جویی مثبت وجود دارد و هرچه (EPI) به 1 نزدیکتر باشد افزایش کمتری در کارایی به سبب صرفه‌جویی خواهد شد.

چنانچه $EPI > 1$ باشد با افزایش کارایی از صرفه جویی منفی

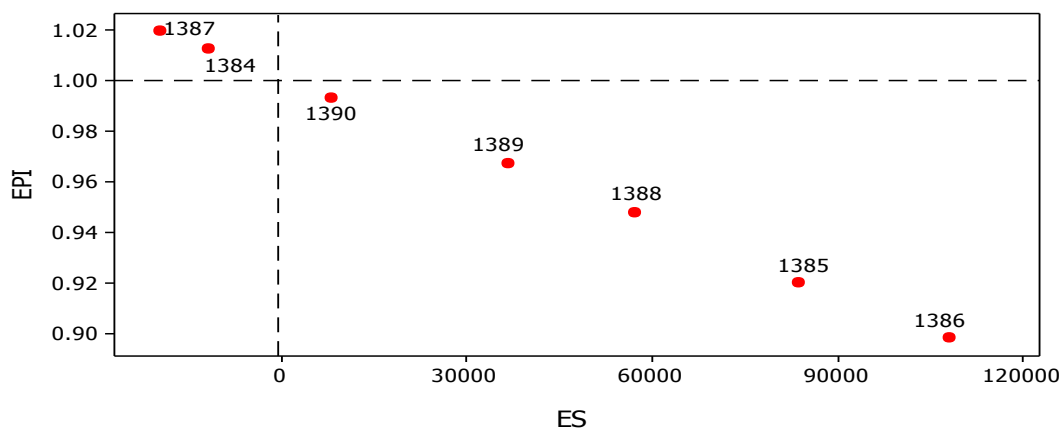
نمودار 7. روابط موجود بین تخمین‌های (ES) و (EPI) در بخش حمل و نقل مسافر



کارایی انرژی به ترتیب به مقدار 10,9,6,4 و 1 درصد کاهش یافته است و بنابراین برای رسیدن به حداقلی از صرفه جویی کارایی انرژی باید بیش از مقدار 10,9,6,4 و 1 درصد افزایش یابد تا شدت انرژی مثبت یا صرفه جویی منفی به صفر رسیده و پس از آن صرفه جویی مثبت صورت گیرد.

نمودار 7 نشان می‌دهد که (EPI) در بخش حمل و نقل مسافر در همه سال‌ها به استثنای سال 1386 در ربع دوم قرار داشته است، یعنی (EPI) بزرگ‌تر از یک و طبق رابطه ذکر شده (ES) منفی بوده است. این موضوع بیانگر این است که بخش حمل و نقل مسافری تنها در سال 1386 از بهبود کارایی انرژی برخوردار بوده است و در بقیه سالها بهره وری انرژی کاهش یافته است. بنابراین افزایش کارایی به میزان 7 درصد در سال 1386 باعث صرفه جویی در انرژی به میزان 138484/94(keto) شده است. اما در سال‌های 1384,1385,1387، 1389,1388,1390

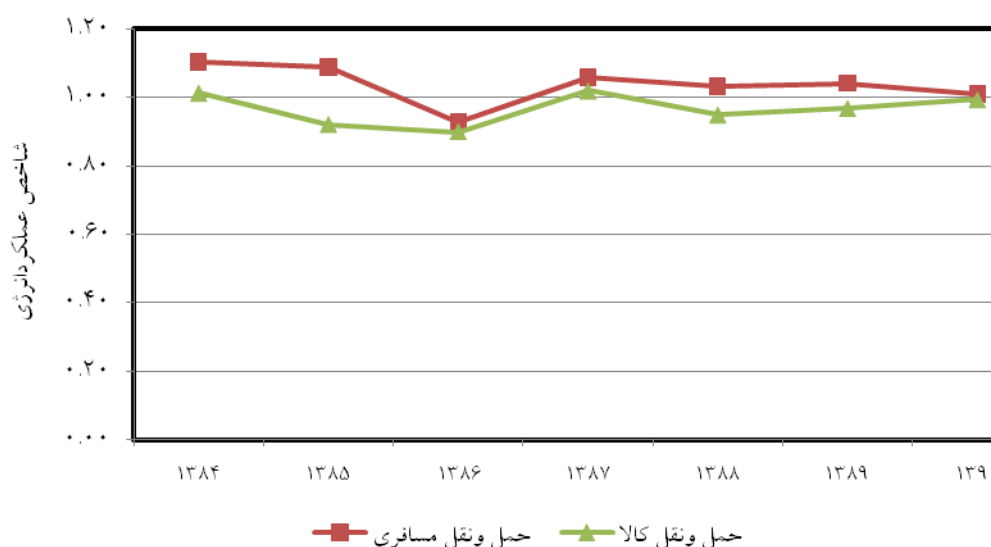
نمودار شماره 7. روابط موجود بین تخمین‌های (ES) و (EPI) در بخش حمل و نقل کالا



نمودار شماره 8 نشان می‌دهد که (EPI) در بخش حمل و نقل کالا در همه سالها به جز سالهای 1384 و 1387 کمتر از یک بوده و (ES) مثبت بوده است. بنابراین در سالهای 1384، 1385، 1386، 1388، 1389 به ترتیب 5، 10، 8، 3 و 1 درصد افزایش در کارایی باعث صرفه‌جویی انرژی به میزان (keto) 7964/75 و 36695/42.57302/73، 108096/11.83813/09 می‌شود، دلیل این امر می‌تواند در نو سازی بخشی از وسایل

حمل و نقل کالا در دهه 80 دانست. اما در مورد سالهای 1384 و 1387 کارایی انرژی کاهش یافته است و به ترتیب 1 و 2 درصد افزایش کارایی در این سالها باعث می‌شود تا انرژی به میزان 11711/68 و 19479/82 (keto) کاهش یافته تا صرفه جویی منفی به صفر برسد.

نمودار 9. روند شاخص عملکرد انرژی در بخش حمل و نقل طی دوره (1383-1390)



4-5- مقایسه روند شاخص عملکرد انرژی در بخش‌های حمل و نقل مسافر و کالا

نمودار شماره 9 مقایسه شاخص عملکرد انرژی در بخش حمل و نقل مسافر و کالا را نشان می‌دهد. همانطور که در این نمودار نیز مشاهده می‌شود در بخش حمل و نقل، حمل و نقل کالا با افزایش کارایی از صرفه جویی‌های مثبت انرژی برخوردار

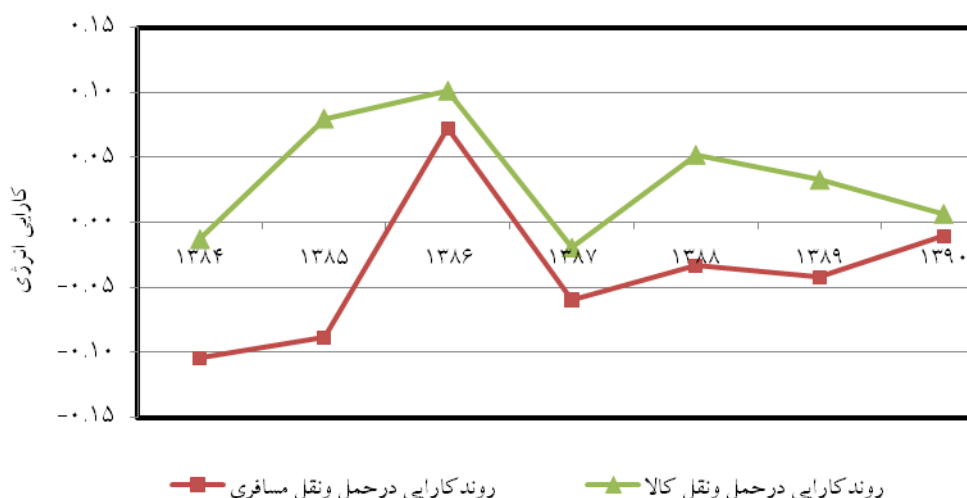
می‌شود. اما در مورد حمل و نقل مسافر در اکثر سالها با افزایش کارایی از صرفه جویی‌های منفی کاسته می‌شود.

جدول 15. کارایی انرژی در بخش حمل و نقل کالا و مسافر طی دوره (1383-1390)

سال	حمل و نقل مسافری	حمل و نقل کالا
1384	-0/10	-0/01
1385	-0/09	0/08
1386	0/07	0/10
1387	-0/06	-0/02
1388	-0/03	0/05
1389	-0/04	0/03
1390	-0/01	0/01

منبع: محاسبات تحقیق

نمودار 10. روند کارایی انرژی در بخش حمل و نقل کالا و مسافر طی دوره (1383-1390)



6- نتیجه گیری

شناسایی عوامل مؤثر بر افزایش مصرف انرژی در برنامه ریزی جهت کاهش مصرف انرژی، یکی از اولویت‌ها محسوب می‌شود. مطالعات زیادی در این راستا از روش تحلیل تجزیه صورت گرفته و اکثر این تحقیقات از رویکرد IDA استفاده کرده‌اند. در این مطالعه نیز از روش تحلیل تجزیه شاخص استفاده شده است و با استفاده از رویکرد IDA و روش LMDI تغییر مصرف انرژی به اثرات آن یعنی اثر فعالیت، اثر ساختاری و اثر شدتی تجزیه شده است.

در این مطالعه سعی شده است تا با استفاده از اطلاعات بخش حمل و نقل، شاخص‌های عملکرد انرژی و صرفه جویی ناشی از کارایی انرژی طی دوره مورد بررسی توسط برآورد اثر شدت انرژی محاسبه شده و روند کارایی و صرفه جویی‌های ناشی از آن برای دوره 1383-1390 محاسبه شود.

در این تحقیق بخش حمل و نقل به دلیل استفاده از شاخص‌های اندازه گیری فیزیکی به دو زیر بخش حمل و نقل کالا و حمل و نقل مسافر تقسیم شده است.

همانطور که در نمودار شماره 1 مشاهده می‌شود روند مصرف انرژی در بخش حمل و نقل جاده‌ای کالا به استثنای سال 1386 افزایشی است و مصرف انرژی در بخش‌های هوایی و ریلی روند نسبتاً ثابتی را دنبال کرده است. مصرف انرژی در بخش جاده‌ای در مقایسه با بخش‌های ریلی و هوایی بیش از ده برابر می‌باشد.

نمودار شماره 8 نشان می‌دهد که (EPI) در بخش حمل و

نقل مسافر در همه سال‌ها به استثنای سال 1386 در ربع دوم قرار داشته است، یعنی (EPI) بزرگ‌تر از یک و طبق رابطه ذکر شده (ES) منفی بوده است.

این موضوع بیانگر این است که بخش حمل و نقل مسافری تنها در سال 1386 از بهبود کارایی انرژی برخوردار بوده است و در بقیه سال‌ها بهره وری انرژی کاهش یافته است. بنابراین افزایش کارایی به میزان 7 درصد در سال 1386 باعث صرفه‌جویی در انرژی به میزان (keto) 138484/94 شده است. اما در سالهای 1384، 1385، 1387، 1388، 1389 و 1390 کارایی انرژی به ترتیب به مقدار 10، 9، 6، 4 و 1 درصد کاهش یافته است.

نمودار شماره 9 نشان می‌دهد که (EPI) در بخش حمل و نقل کالا در همه سالها به جز سال‌های 1384 و 1387 کمتر از یک بوده و (ES) مثبت بوده است. بنابراین در سال‌های 1389، 1388، 1386، 1385 و 1390 به ترتیب 3، 5، 8، 10 و 1 درصد افزایش در کارایی باعث صرفه جویی انرژی به میزان (keto) 09/83813/11، 096/108096/73، 73/57302/42، 75/36695 و 75/7964 (keto) می‌شود. اما در مورد سال‌های 1384 و 1387 کارایی انرژی کاهش یافته است.

در مورد حمل و نقل مسافر نتایج، عدم کارایی در این بخش را نشان می‌دهد و تنها در سال 1386 کارایی باعث صرفه جویی مثبت در این بخش شده است.

در بخش حمل و نقل کالا بر خلاف حمل و نقل مسافر

کارایی در اکثر سالها به جر دو سال 1384 و 1387 افزایش یافته و صرفه جویی‌های مثبت ناشی از افزایش کارایی وجود دارد.

بر اساس نتایج این تحقیق در مورد حمل و نقل مسافر نتایج عدم کارایی در این بخش را نشان می‌دهد و تنها در سال 1386 کارایی باعث صرفه‌جویی مثبت در این بخش شده است. بنابراین به سیاست‌گذاران این بخش پیشنهاد می‌شود با کاهش عمر ناوگان حمل و نقل مسافر زمینه افزایش صرفه‌جویی انرژی در این بخش را فراهم نمایند.

7- پی‌نوشت‌ها

- 1- Ang , Mu , & Zhou
- 2- Boyed et al
- 3- Liu et al
- 4- General Parametric Divisia
- 5- Ang and Lee
- 6- Ang
- 7- Ang and Choi
- 8- Siegel
- 9- Shapley
- 10- Ang.
- 11- Bhattacharya, Paul
- 12- Subhes Bhattacharyya , Arjaree Ussanarassamee
- 13- The basic monetary unit of Thailand
- 14- Zhou, Ang
- 15- Economy-Wide
- 16- Ma and Stern
- 17- Ang , Mu , Zhou
- 18- Ki-Hong Choi , Ang
- 19- Lin Zeng , Ming Xu , Sai Liang , Siyu Zeng , Tianzhu Zhang
- 20- Structural Decomposition Analysis
- 21- P. Fernández González, M. Landajo, M.J. Presno
- 22- Index decomposition analysis
- 23- Choi KH, Ang BW
- 24- Ki-Hong Choi , Wankeun Oh
- 25- Choi and Ang
- 26- Raul Jimenez , Jorge Mercado
- 27- Xu and Ang
- 28- Multilevel-Parallel Model
- 29- Multilevel-Hierarchical Model
- 30- The Hypothetical Level Of Energy Consumption Assuming That There Has Been No Improvement In Energy Efficiency
- 31- Economy-Wide
- 32- Suspended Particulate Matter

8- مراجع

- هژبر کیانی، ک. و امینی، ع. (1375)، "شاخص دیویژیا و

کاربرد آن در تابع تولید، اقتصاد کشاورزی و توسعه"، فصلنامه اقتصادی، شماره 15، صص. 35-58.

- حیدری، الف.، و صادقی، ح.، (1383) "شناخت و بررسی رفتار صرفه‌جویی انرژی در صنایع بزرگ"، فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی، شماره 11 و 12، بهار و تابستان 1383.

- امینی، ع. (1384)، "اندازه‌گیری و تحلیل روند بهره‌وری به تفکیک بخش‌های اقتصادی ایران"، فصلنامه برنامه‌ریزی و بودجه، سال دهم، شماره 4، صص. 73-110.

- قاسمی نژاد، م.، (1384)، "بررسی تغییرات شدت انرژی در بخش ریلی ایران"، پایان نامه کارشناسی ارشد علوم اقتصادی، دانشگاه اصفهان.

- عباسی، الف.، صادقی، ز. و خسروی، س. (1388)، "بررسی عوامل موثر بر شدت مصرف انرژی رهیافت تجزیه شدت انرژی؛ مطالعه موردی گروه صنایع سیمان کرمان"، مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی انرژی.

- صادقی، س.ک. و سجودی، س. (1389)، "مطالعه عوامل موثر بر شدت انرژی دربنگاه‌های صنعتی ایران"، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال هشتم، شماره 29، تابستان 1390، صص. 163-180.

- گلی، ز.، و اشرفی، ی.، (1389)، "بررسی شدت انرژی کشور و تجزیه آن با استفاده از شاخص ایده آل فیشر در ایران"، فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی، سال هجدهم، شماره 54، تابستان 1389، صص. 35-54.

- بهبودی، د.، اصلانی‌نیا، ن. و سجودی، س. (1389)، "تجزیه‌ی شدت انرژی و بررسی عوامل مؤثر بر آن در اقتصاد ایران"، فصلنامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی، سال هفتم، شماره‌ی 26، پاییز 1389، صص. 105-130.

- ابونوری، ع.ع. و نیکبان، الف. (1389)، "عوامل موثر بر شدت مصرف انرژی به روش دیویژیا مطالعه موردی سیمان تهران"، فصلنامه مدل‌سازی اقتصادی، سال سوم، شماره 1،

Korean manufacturing industry", Journal of Energy, 20, pp. 835-42.

بهار 1388، صص. 77-92.

- Ang, B.W. Zhang, F.Q. (2000), "A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies", Journal of Energy (2000), 25, pp.1149-1176.
- Bhattacharya, R.N. Paul, S. (2001), "Sectoral Changes in Consumption and Intensity Energy in India", Indian Economic Review, (2), pp. 381-392.
- Ang, B.W. (2004), "Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method?" Journal of Energy Policy, (2004), 32, pp.1131-1139.
- Bhattacharyya, Subhes.C. Ussanarassamee, Arjaree (2005), "Changes in energy intensities of Thai industry between 1981 and 2000: a decomposition analysis", Journal of Energy Policy, (2005), 33, pp. 995-1002.
- Ang, B.W. (2006), "Monitoring changes in economy-wide energy efficiency: from energy-GDP ratio to composite energy efficiency index", Energy Policy, 34, pp. 574-582.
- Ma, C.B. Stern, D.I. (2008), "China's Changing Energy Intensity Trend: A Decomposition Analysis", Journal of Energy Economics, 30, pp.1037-1053.
- Ang, B.W. Mu, A.R. Zhou, P. (2009). "Accounting frameworks for tracking energy efficiency trends", Journal of Energy Economics (2010), 32, pp.1209-1219.
- Su, B. Ang, B.W. (2011), "Structural decomposition analysis applied to Energy and emission: aggregation issues", Economic Systems Research, 24 (3), pp.299-317.
- Voigt, Sebastian De Cian, Enrica Schymura, Michael Verdolini, Elena (2013), "Energy intensity developments in 40 major economies: Structural change or technology improvement?", Journal of Energy Economics, (2014), 41, pp.47-62.
- Zeng, Lin Xu, Ming Liang, Sai Zeng, Siyu Zhang, Tianzhu (2013), "Revisiting drivers of energy intensity in China during 1997-2007: A structural decomposition analysis", Journal of Energy Economics.
- جهانگرد، الف. و تجلی، م. (1390)، "تجزیه شدت انرژی بری در صنایع کارخانه‌ای ایران"، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال هشتم، شماره 31، زمستان 1390، صص. 25-58.
- صادقی، ز.، حری، ح.ر. و محمد میرزایی، الف. (1392)، "تحلیل تجزیه ساختاری آلودگی در ایران: رهیافت داده-ستاده" فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، سال سوم، شماره 10، تابستان 1393، صص. 145-175.
- سایت مرکز آمار ایران. آمار کارگاه‌های صنعتی ده نفرکارکن و بیشتر سال‌های 1383-1390.
<http://www.amar.org.ir>
- ترازنامه انرژی سال‌های 1383-1390.
- سالنامه آماری حمل و نقل، حمل و نقل هوایی، حمل و نقل ریلی و حمل و نقل جاده‌ای سال‌های 1383-1390.
- وزارت راه و شهرسازی.
<http://www.mrud.ir>
- وزارت نیرو. دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی.
<http://pep.moe.gov.ir>
- Ang, B.W. Lee, S.Y. (1994), "Decomposition of industrial energy consumption: some methodological and application issues", Journal of Energy Economics, 16(2), pp. 83-92.
- Ang, B.W. (1994), "Decomposition of Industrial Energy Consumption", Journal of Energy Economics, 16(3), pp.163-174.
- Choi, K.H. Ang, B.W. (1995), "Decomposition of the energy intensity index with application for the

- Jimenez, Raul. Mercado, Jorge (2013), "Energy intensity: A decomposition and counterfactual exercise for Latin American countries", *Journal of Energy Economics*, (2014), 42, pp.161–171.
- Ang, B.W. Xu, X.Y. (2014), "Multilevel index decomposition analysis: Approaches and application". *Energy Economics*, 44, (2014), pp. 375–382.
- Fernández González , P. Landajo, M. Presno, M.J. (2013)" The Divisia real energy intensity indices: Evolution and attribution of percent changes in 20 European countries from 1995 to 2010" , *Journal of Energy Economics* ,(2013), 58, pp. 340-345.
-
- Li, Yi .Sun, Linyan Feng , Taiwen . Zhu, Chunyan (2013), "How to reduce energy intensity in China: A regional comparison perspective", *Journal of Energy Policy*,(2013) , 61, pp. 513–522.

-
- ¹ Ang , Mu , & Zhou
 - ² Boyed et al
 - ³ Liu et al
 - ⁴ General Parametric Divisia.
 - ⁵ Ang and Lee
 - ⁶ Ang
 - ⁷ Ang and Choi
 - ⁸ Siegel
 - ⁹ Shapley
 - ¹⁰ Ang.
 - ¹¹ Bhattacharya, Paul .
 - ¹² Subhes Bhattacharyya , Arjaree Ussanarassamee
 - ¹³ The basic monetary unit of Thailand
 - ¹⁴ Zhou, Ang
 - ¹⁵ economy-wide
 - ¹⁶ Ma and Stern
 - ¹⁷ Ang , Mu , Zhou
 - ¹⁸ Ki-Hong Choi , Ang
 - ¹⁹ Lin Zeng , Ming Xu , Sai Liang , Siyu Zeng , Tianzhu Zhang
 - ²⁰ Structural Decomposition Analysis
 - ²¹ P. Fernández González, M. Landajo, M.J. Presno
 - ²² Index decomposition analysis
 - ²³ Choi KH,Ang BW
 - ²⁴ Ki-Hong Choi , Wankeun Oh
 - ²⁵ Choi and Ang
 - ²⁶ Raul Jimenez , Jorge Mercado
 - ²⁷ Xu and Ang
 - ²⁸ multilevel-parallel model
 - ²⁹ multilevel-hierarchical model
 - ³⁰ The hypothetical level of energy consumption assuming that there has been no improvement in energy efficiency
 - ³¹ economy-wide
 - ³² suspended particulate matter