

## عوامل موثر بر شدت مصرف انرژی به روش دیویزیا (مطالعه موردی سیمان تهران)

دکتر عباسعلی ابونوری<sup>۱</sup>      آزاده نیکبان<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۸۹/۰۶/۱۵

تاریخ دریافت: ۸۹/۰۱/۱۸

### چکیده

در این مقاله، شدت مصرف انرژی براساس شاخص دیویزیا در سیمان تهران به اثرات ساختاری، تولیدی و شدت خالص، تجزیه شده که این تجزیه بر اساس داده‌های سری زمانی طی سالهای ۱۳۷۵-۱۳۸۵ و با استفاده از روش‌های چهارگانه ویژه تجزیه شدت مصرف انرژی، صورت گرفته است که روش (AVE\_PDM1) به دلیل داشتن کمترین میزان پسماند به عنوان بهترین مدل می‌باشد که 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. بنابراین تلاش‌های خوبی در راستای کاهش شدت انرژی و به تبع آن افزایش کارایی در سیمان تهران انجام شده؛ اما به دلیل عدم انعطاف تابع تولید، این تلاش‌ها در برخی سالها با شکست مواجه شده است.

### طبقه‌بندی JEL: Q41

واژه‌های کلیدی: روش تجزیه شدت انرژی؛ سیمان؛ شدت انرژی؛ کارایی انرژی.

\* استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران [نویسنده مسئول]

Email: aabounoori@yahoo.com

\*\* کارشناس ارشد اقتصادی انرژی

## ۱- مقدمه

صنعت سیمان در ایران در زمره صنایع انرژی طبقه بندی می شود. با بررسی عملکرد جهانی مصرف انرژی در صنعت سیمان، این نکته به راحتی قابل مشاهده است که کارخانجات تولید سیمان در کشور توان ذخیره سازی درصد خوبی از انرژی حرارتی و درصد نسبتاً بالایی از انرژی الکتریکی مصرفی خود را دارا می باشند. هرچند طی سالهای اخیر شاهد بهبود نسبی شاخص شدت انرژی در تولید سیمان بوده ایم؛ اما با توجه به متوسط جهانی، باز هم پتانسیل کاهش شدت مصرف انرژی در صنعت سیمان کشور وجود دارد.

در همین راستا می توان با تجزیه و تحلیل کارایی انرژی به عنوان یکی از عوامل مهم تولید، کیفیت برتر محصول، ارزش افزوده بیشتر، افزایش میزان تولید محصول و ذخیره نیروی انسانی را برای صنعت به ارمغان آورد. فقدان بازارهای رقابتی، عدم وجود یک چارچوب نهادی و سازمانی مناسب و موثر برای سیاست گذاری انرژی و فقدان یک چارچوب تنظیمی و قانونی، از جمله ویژگی های بخش انرژی در اقتصاد ایران است که به استفاده غیرکارآمد از منابع انرژی دامن می زند. اینجاست که در کنار ملاحظات فنی اتخاذ استراتژیهای مناسب در اجرای بهتر سیاست های بهبود کارایی انرژی بر مبنای شناخت اصولی اثرات توضیح دهنده تغییرات مصرف و شدت انرژی (عکس کارایی انرژی) ضرورتی انکار ناپذیر تلقی می شود. اگر بخواهیم به معرفی این اثرات توضیح دهنده و چگونگی تجزیه آنها از یکدیگر پردازیم، می بایست سراغ روشی برویم که این روزها در اکثر کشورهای جهان مورد استقبال قرار گرفته است. روش تجزیه<sup>1</sup> شدت انرژی روش مجزاسازی یا تجزیه شدت انرژی از روشهای نوین تحلیل کارایی انرژی در صنایع مختلف می باشد. این روش که توسط کارشناسان کشورهای آسیای شرقی بیشتر از هر نقطه دیگر مورد توجه و کنکاش قرار گرفته، به تجزیه عناصر موثر بر مصرف و شدت انرژی اشاره دارد. در این متدولوژی تغییر در مصرف انرژی به سه اثر تولیدی، ساختاری و اثر شدت انرژی تجزیه می شود. در این مقاله به تحلیل عوامل موثر بر شدت مصرف انرژی از روش تجزیه شدت انرژی در گروه صنایع سیمان تهران پرداخته می شود.

---

<sup>1</sup>. Decomposition

## ۲- پیشینه تحقیق

**صادقی و حیدری (۱۳۸۲)** در رساله دکتری خویش ضمن تبدیل شاخص های اندازه گیری مقدار تولید و مصرف انرژی به شاخص های فیزیکی- اقتصادی و با استفاده از روش های ویژه تجزیه شدت انرژی به تجزیه و تحلیل کارایی انرژی در اقتصاد ایران بین سالهای ۱۳۵۸ تا ۱۳۷۸ پرداخته و این روش ها را دارای قدرت توضیح دهندگی بالا معرفی نموده اند. در این گزارش نشان داده می شود که عدم کارایی انرژی در اقتصاد ایران در دوره مورد نظر ناشی از بالا بودن اثر شدت خالص بوده و اثر ساختاری، پایین ترین سهم را در توضیح رشد مصرف کل و شدت انرژی داشته است.

**دهقان شبانی (۱۳۸۵)** با استفاده از متد تجزیه شدت انرژی، عوامل موثر بر میزان شدت انرژی را بررسی می نماید. او در این مطالعه به تجزیه شدت انرژی به دو اثر ساختاری و شدت خالص درکل صنعت و صنایع نه گانه ایران براساس طبقه بندی<sup>۲</sup> ISIC و بر اساس تکنیکهای جمع پذیری و ضرب پذیری مبادرت ورزیده است. او که دوره زمانی ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۲ را مد نظر قرار داده، به این نتیجه دست یافته که نتایج تجزیه با تکنیک جمع پذیری و ضرب پذیری در همه موارد یکسان است و درکل صنعت اثر ساختاری دارای سهم اندکی در تغییرات اثرکل شدت انرژی بوده و اثر شدتی سهم غالبی در تغییرات اثرکل داشته است. در اکثر صنایع در سالهای مختلف اثر شدتی در جهت کاهش شدت انرژی حرکت کرده و اثر ساختاری سهم ضعیفی در کاهش شدت انرژی داشته است.

**قاسمی نژاد (۱۳۸۴)** در پایان نامه کارشناسی ارشد خود، ضمن تبدیل شاخص های اندازه گیری مقدار تولید و مصرف انرژی به شاخص های فیزیکی- اقتصادی با به کارگیری چهار متد ویژه تجزیه شدت انرژی، به بررسی تغییرات شدت انرژی در بخش ریلی ایران طی سالهای ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۰ پرداخته و این روش ها را به عنوان شیوه های مناسب تر قلمداد نموده است. نتایج این تحقیق حاکی از این است که سهم اثر ساختاری، یعنی ایجاد تغییر در ترکیب و ساختار فعالیت مورد نظر بسیار پایین می باشد، در حالی که اثر شدت خالص، دارای بیشترین سهم در توضیح تغییرات مصرف و شدت انرژی می باشد. به عبارت دیگر میزان مصرف بالای انرژی در بخش حمل و نقل بیشتر از آنکه به خاطر وضعیت ساختاری آن باشد، به خاطر بالا بودن شدت مصرف انرژی و به تبع آن در نتیجه پائین

---

<sup>۲</sup>. Iran standard industrial classification

بودن کارایی انرژی می باشد.

بوید<sup>۳</sup>، هانسون<sup>۴</sup> و استرنر<sup>۵</sup> (۱۹۸۸) به مقایسه میان تجزیه شدت انرژی و فرمول‌های شاخص های اقتصادی پرداختند و در این مطالعه ضمن بررسی کامل روشهای دیویزیا، آنها را به عنوان شاخص های کم خطا تر معرفی نمودند.

آنگ<sup>۶</sup> (۱۹۹۴) به بررسی روش شناسی تجزیه مصرف انرژی صنعتی پرداخت و از میان این روشها، توجه خاصی به متد شدت انرژی نموده است حوزه مورد بررسی در این مطالعه در برگیرنده دو روش عمومی پارامتریک دیویزیا، ۵ متد ویژه تجزیه شدت انرژی و شیوه انتخابی در کاربردهای عملی بوده و بر این باور است که تجزیه می‌تواند از طریق روشهای بسیار زیادی صورت پذیرد. بخشی از این مطالعه صرف مقایسه روش مصرف انرژی و روش شدت انرژی شده که آنگ کفه ترازوی قیاس خویش را به سمت روش شدت انرژی متمایل نموده است.

فارلا<sup>۷</sup>، کولنائر<sup>۸</sup> و بلاک<sup>۹</sup> (۱۹۹۸) کارایی انرژی و تغییرات ساختاری را طی سالهای ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ در هلند بررسی کرده اند. نکته قابل توجه در این مطالعه این است که این گروه نشان دادند که در محاسبات کارایی انرژی و تجزیه شدت انرژی، می‌توان به جای شاخص های اقتصادی از شاخص های صرفا فیزیکی نیز استفاده نمود. فارلا و همکارانش با استفاده از این متد و با به کارگیری شاخص های صرفا فیزیکی، مصرف انرژی در هلند را مورد بررسی قرار داده اند. نسبت مصرف انرژی به GDP به طور سالیانه ۲/۱ درصد مابین سال های ۱۹۸۰ تا ۱۹۸۵ و ۰/۳ درصد بین سالهای ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۰ کاهش داشته است. بخش اعظمی از این کاهش می‌تواند توسط کاهش مصرف ویژه انرژی در زیر ساختها توجیه شود.

آنگ و ژانگ<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۰) تاریخچه شاخص های مربوط به تجزیه شدت انرژی را به اواخر دهه ۱۹۷۰ مربوط می‌دانند که با استفاده از آنها تاثیر تغییرات مربوط به ترکیبات

---

<sup>3</sup>. Boyd, G.A

<sup>4</sup>. Hanson, D.A

<sup>5</sup>. Sterner. T

<sup>6</sup>. Ang, B. W.,(1994)

<sup>7</sup>. Farla, J

<sup>8</sup>. Cuelenaere, R

<sup>9</sup>. Blok, K

<sup>10</sup>. Zhang, F.Q

مختلف تولید، مورد مطالعه قرار گرفته است. برآوردی که در سال ۱۹۹۵ انجام گرفت، ۵۱ مطالعه کلی در این خصوص را طبقه بندی نموده است. بعد از آن تعداد زیادی مطالعات جدید و تعدادی روش جدید تجزیه شدت انرژی معرفی شد و این روش به طور فزاینده ای در مطالعات مربوط به مصارف انرژی کاربرد پیدا کرد. این دو پژوهشگر در مطالعه این روش ها را دنبال کردند و در خصوص فرمول‌های مربوط به هر کدام از این متدها، توضیحات کافی ارائه دادند. مطالعات کاربردی به کاررفته در این مطالعه برای محققینی که در این راه گام گذاشته اند و تصمیم دارند بر اساس متد شدت انرژی در پروژه های مختلف به کار تحقیقاتی بپردازند، بسیار مفید و کارگشاست.

### ۳- روش تحقیق

این تحقیق از نوع مطالعه کتابخانه‌ای می باشد و روش تحقیق این مطالعه از نوع توصیفی تحلیلی است. در این تحقیق اطلاعات آماری مورد نیاز از آمارنامه‌های انرژی و نیز آمار موجود در کمیته انرژی گروه صنایع سیمان تهران تهیه شده و به کمک متدلوژی تجزیه مصرف انرژی مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله در خصوص متدهای موجود در زمینه متدلوژی تجزیه مصرف انرژی صحبت به میان آمده و روش های مختلف کاملاً توصیف شده و ریز فرمول ها بیان گردیده اند. متد مورد نظر از روش های ویژه تجزیه شدت انرژی است که در اکثر مطالعات صورت گرفته شده توسط دیگران، به عنوان روش های جامع تر، مناسب تر، به واقعیت نزدیکتر و در عین حال ساده تر معرفی شده اند. این شیوه های ویژه در قالب دوروش عمومی پارامتریک دیویزیا<sup>۱۱</sup> تعریف می شود. شاخص های آماری استفاده شده در این تحقیق همگی شاخص های صرفاً فیزیکی می باشد. فرضیه‌های این مطالعه عبارتند از: الف- شدت مصرف انرژی در گروه صنایع سیمان تهران طی سالهای ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ روندی کاهشی داشته است؛ ب- کارایی انرژی با کاهش تولید کاهش یافته است.

### ۴- تصریح مدل

در این متدلوژی تغییر در مصرف انرژی به سه اثر تولیدی، ساختاری و اثر شدت انرژی تجزیه می شود. اثر تولیدی میزان مصرف انرژی در نتیجه افزایش تولید مربوط می شود، به

---

11. Divisia

شرطی که سایر شرایط از قبیل: تکنولوژی، میزان کارایی و الگوی مصرف ثابت باقی بمانند. در حالی که اثر ساختاری به علت ماهیت متفاوت مصرف کنندگان انرژی، از لحاظ انرژی بر بودن و ایجاد ارزش افزوده، چگونگی تغییرات مربوط به ترکیب مصرف کنندگان و روند آن تاثیر به سزایی در افزایش و یا کاهش مصرف دارد، مسلماً گسترش بخش‌های انرژی بر، افزایش مصرف انرژی را حتی با ثبات سطح کلی تولیدات به دنبال خواهد داشت. اثر ساختاری، میزان افزایش یا کاهش در مصرف انرژی فقط به دلیل تغییر در ساختار مصرف کنندگان انرژی را اندازه گیری می کند. با توجه به این که زیربخش‌های مختلف بخش صنعت، از تفاوت زیادی در خصوص انرژی بری برخوردارند، اهمیت اثر ساختاری روی تغییرات مصرف و شدت انرژی بخش صنعت بیشتر می باشد. به طور کلی تاثیر پذیری میزان مصرف انرژی در یک صنعت از میزان تغییرات رشد صنعت، تغییرات تکنولوژی موجود و ایجاد تغییر در تجهیزات مصرف کننده انرژی در قالب اثر ساختاری بیان می شود و در نهایت اثر شدت انرژی به وسیله عوامل مختلفی از قبیل: تکنولوژی، افزایش کارایی تجهیزات مصرف کننده انرژی، آگاهی‌های بیشتر مصرف کنندگان به اهمیت انرژی و تغییر الگوی مصرف، اعمال روش‌های مدیریت مصرف انرژی و غیره، تحت تاثیر قرار می گیرد. اثر شدت انرژی برآیند تغییرات مذکور روی مصرف انرژی را با فرض ثبات سطح تولید و ساختار مصرف کنندگان انرژی اندازه گیری می کند.

تجزیه شدت انرژی با توجه به نوع داده‌های مورد استفاده در آن به سه روش کلی زیر انجام می گیرد:

### **الف- روش مصرف انرژی**

در روش مصرف انرژی تغییرات کل مصرف انرژی در طول زمان به تغییرات درکل تولید(اثر تولیدی) تغییرات در ساختار تولید (اثر ساختاری) و تغییرات در شدت انرژی بخشی (اثر شدت انرژی یا اثر شدت خالص) تجزیه می شود.

### **ب- روش ضریب انرژی**

در این روش، ضریبی به نام ضریب انرژی معرفی می شود. ضریب انرژی برای یک دوره مشخص، نسبت تغییرات نسبی در مصرف انرژی به تغییرات نسبی در ارزش افزوده تعریف می شود و همان کشش مصرف انرژی نسبت به ارزش تولیدات می باشد. کشش

انرژی به اجزای تشکیل دهنده خود شامل عوامل تولیدی، ساختاری و شدت انرژی تجزیه می گردد و چون اجزای مذکور با تعریف کشش مطابقت ندارد به جای کشش انرژی از اصطلاح ضریب انرژی استفاده می شود و اجزای تشکیل دهنده آن ضرائب جزئی نام گذاری می شوند.

### ج) روش شدت انرژی

در روش شدت انرژی تغییرات کل شدت انرژی در طول زمان به تغییرات درکل تولید (اثر تولیدی) تغییرات در ساختار تولید (اثر ساختاری) و تغییرات در شدت انرژی بخشی (اثر شدت انرژی یا اثر شدت خالص) تجزیه می شود.

این مقاله بر مبنای یکی از روش های تجزیه شدت انرژی به نام روش مصرف انرژی انجام شده است. در این روش تغییرات مصرف انرژی به سه عامل تولید، ساختار و شدت انرژی تجزیه شده و اختلاف بین کل تغییرات و مجموع سه عامل فوق به عنوان عامل پسماند (جزء باقیمانده) نامیده می شود.

اگر  $E_0$  مصرف انرژی در سال پایه و  $E_t$  مصرف انرژی در سال  $T$  باشد میتوان رابطه زیر را نوشت:

$$(\Delta E_{tot})_{0,T} = (\Delta E_{pdn})_{0,T} + (\Delta E_{Str})_{0,T} + (\Delta E_{im})_{0,T+D} \quad (1)$$

$(\Delta E_{tot})_{0,T}$  = کل تغییر در مصرف انرژی از سال پایه تا سال  $t$  (اثر کل)؛

$(\Delta E_{pdn})_{0,T}$  = تغییر در مصرف انرژی ناشی از رشد تولید از سال پایه تا سال  $t$  (اثر تولیدی)؛

$(\Delta E_{Str})_{0,T}$  = تغییر در مصرف انرژی ناشی از تغییر در ساختار (اثر ساختاری)؛

$(\Delta E_{im})_{0,T+D}$  = تغییر در مصرف انرژی ناشی از تغییر در شدت انرژی (اثر شدت انرژی)؛

$D$  = اختلاف بین اثرکل و مجموع سه اثر دیگر (پسماند).

برای محاسبه اجزای تشکیل دهنده تغییرات مصرف انرژی در روش مصرف انرژی از دو روش عمومی پارامتریک دیویزیا استفاده می شود که بر اساس شاخص های دیویزیا استوار است.

در قالب این دو روش، چهار شیوه خاص جهت تفکیک اجزای موثر تعریف می شود

که در زیر در ابتدا فرمول های دو روش اصلی پارامتریک دیویزیا توضیح داده می شود و سپس به روش های ویژه برگرفته شده از آنها پرداخته خواهد شد.

#### ۴-۱- روش اول پارامتریک دیویزیا (PDM<sub>1</sub>)<sup>۱۲</sup>

$$\Delta E_{pdn} = [E_0 + r (E_T - E_0)] Ln (Y_T / Y_0) \quad (۲)$$

$$\Delta E_{str} = \sum_i [E_{i,0} + B_i (E_{i,t} - E_{i,0})] Ln (S_{i,t} / S_{i,0}) \quad (۳)$$

$$\Delta E_{int} = \sum_i [E_{i,0} + x_i (E_{i,t} - E_{i,0})] Ln (I_{i,t} / I_{i,0}) \quad (۴)$$

#### ۴-۲- روش دوم پارامتریک دیویزیا (PDM 2)<sup>۱۳</sup>

$$\Delta E_{pdn} = [I_0 + r (I_T - I_0)] (Y_T - Y_0) \quad (۵)$$

$$\Delta E_{str} = \sum_i [I_{i,0} Y_0 + B_i (I_{i,t} Y_T - I_{i,0} Y)] (S_{i,t} - S_{i,0}) \quad (۶)$$

$$\Delta E_{int} = \sum_i [Y_{i,0} + x_i (Y_{i,t} - Y_{i,0})] (I_{i,t} - I_{i,0}) \quad (۷)$$

در روابط فوق متغیرهای مورد استفاده به صورت زیر معرفی می گردند:

$$E_n = \text{مصرف انرژی صنعت در سال } n$$

$$E_{i,n} = \text{مصرف انرژی واحد } i \text{ ام صنعت در سال } n$$

$$Y_n = \text{تولید کل صنعت در سال } n$$

$$Y_{i,n} = \text{تولید واحد } i \text{ ام در سال } n$$

$$S_{i,n} = \text{سهم تولید واحد } i \text{ ام از کل تولید صنعت در سال } n$$

$$I_n = \text{شدت انرژی کل صنعت در سال } n$$

$$I_{i,n} = \text{شدت انرژی واحد } i \text{ ام در سال } n$$

همچنین در روابط بالا  $0 \leq r, B_i, x_i \leq 1$  و مقادیر این پارامترها بستگی به تعریف مسیرهای انتگرالی ویژه در شاخص های دیویزیا دارد.

با در نظر گرفتن فروض خاص بر مسیرهای انتگرالی در روش های عمومی یا

<sup>12</sup>. Parametric Divisia Method No 1

<sup>13</sup>. Parametric Divisia Method No 2



پارامتریک دیویزیا، شیوه های ویژه برای تجزیه به دست می آید که ۴ شیوه ویژه برای تجزیه مصرف انرژی در ذیل ارائه شده است:

الف- روش اول پارامتریک دیویزیا بر اساس لاسپیرز<sup>۱۴</sup> (LAS- PDM<sub>1</sub>):

این روش حالت خاصی از PDM<sub>1</sub> می باشد که فرض می کند  $\gamma_i, B_i, \alpha$  برابر صفر است. بدین ترتیب نتایج ذیل حاصل می شود.

$$\Delta E_{pdn} = E_0 \ln(Y_T / Y_0) \quad (۸)$$

$$\Delta E_{str} = \sum_i E_{i,0} \ln(S_{i,T} / S_{i,0}) \quad (۹)$$

$$\Delta E_{int} = \sum_i E_{i,0} \ln(I_{i,t} / I_{i,0}) \quad (۱۰)$$

ب- روش دوم پارامتریک دیویزیا بر اساس لاسپیرز<sup>۱۵</sup> (LAS- PDM<sub>2</sub>):

این روش حالت خاصی از PDM<sub>2</sub> می باشد که فرض می کند  $\chi_i, B_i, \Gamma$  برابر صفر است. بدین ترتیب نتایج ذیل حاصل می شود.

$$\Delta E_{pdn} = I_0 (Y_t - Y_0) \quad (۱۱)$$

$$\Delta E_{str} = \sum_i I_{i,0} Y_0 (S_{i,T} - S_{i,0}) \quad (۱۲)$$

$$\Delta E_{int} = \sum_i Y_{i,0} (I_{i,t} - I_{i,0}) \quad (۱۳)$$

ج- روش اول پارامتریک دیویزیا بر اساس میانگین ساده<sup>۱۶</sup> (AVE- PDM<sub>1</sub>):

این روش حالت خاصی از PDM<sub>1</sub> می باشد که فرض می کند  $\chi_i, B_i, \Gamma$  برابر ۰/۵ است. بدین ترتیب نتایج ذیل حاصل می شود.

$$\Delta E_{pdn} = 0/5(E_0 + E_t) \ln(Y_T / Y_0) \quad (۱۴)$$

$$\Delta E_{str} = 0/5 \sum_i (E_{i,0} + E_{i,T}) \ln(S_{i,T} / S_{i,0}) \quad (۱۵)$$

$$\Delta E_{int} = 0/5 \sum_i (E_{i,0} + E_{i,t}) \ln(I_{i,T} / I_{i,0}) \quad (۱۶)$$

د- روش دوم پارامتریک دیویزیا بر اساس میانگین ساده<sup>۱۷</sup> (AVE- PDM<sub>2</sub>):

این روش حالت خاصی از PDM<sub>2</sub> می باشد که فرض می کند  $\chi_i, B_i, \Gamma$  برابر ۰/۵ است.

<sup>14</sup>. Lspiers Patametric Divisia Method No 1

<sup>15</sup>. Lspiers Patametric Divisia Method No 2

<sup>16</sup>. Averde Patametric Divisia Method No 1

<sup>17</sup>. Averde Patametric Divisia Method No 2

است. بدین ترتیب نتایج ذیل حاصل می شود.

$$\Delta E_{pdn} = 0/5(I_0 + I_T)(Y_T - Y_0) \quad (17) \quad \Delta E_{sr} = 0/5 \sum_i (I_{i,0}Y_0 + I_{i,T}Y_T)(S_{i,T} - S_{i,0})$$

(18)

$$\Delta E_{int} = 0/5 \sum_i Y_{i,0} + Y_{i,T})(I_{i,T} - I_{i,0}) \quad (19)$$

## ۵- نتایج تجربی

برای تجزیه مصرف انرژی در گروه صنایع سیمان تهران از روش ویژه تجزیه استفاده شده است که در ادامه به شرح آنها می پردازیم:

روش AVE-PDM<sup>۱</sup> در تجزیه مصرف انرژی گروه صنایع سیمان تهران.

در جدول (۱) اعداد مربوط به تجزیه کل مصرف انرژی از روش AVE-PDM<sup>۱</sup> به اثرات تولیدی، ساختاری و شدت خالص مشاهده می شوند. همچنین تغییرات مصرف کل انرژی در هر سال نسبت به سال قبل که در ستون  $D_e$  آمده است در این جدول به چشم می خورد.

جدول ۱: نتایج حاصل از تجزیه مصرف انرژی در گروه صنایع سیمان تهران

از روش AVE-PDM<sup>۱</sup>

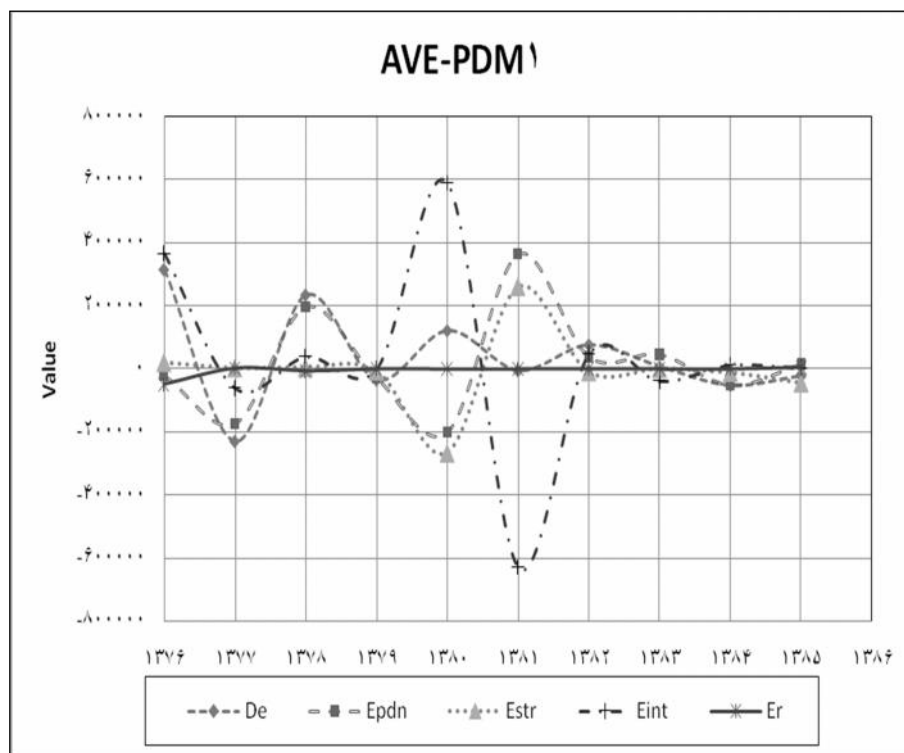
سال	De	Epdn	Estr	Eint	Er	Er*Er
۱۳۷۶	۳۱۴۶۲۰.۶۳	-۲۳۴۲۵.۹۵	۲۰۸۹۰.۸۱	۳۶۶۲۹۴.۴۱	-۴۹۱۳۸.۶۵	۲۴۱۴۶۰.۶۹۲۳۸۲
۱۳۷۷	-۲۳۰۶۷۰.۶۷	-۱۷۴۹۳۰.۹۰	۳۱۴۰.۳۹	-۶۱۳۸۶.۴۴	۲۵۰.۶۲۷	۶۲۸۱۳۸۹.۳۱
۱۳۷۸	۲۳۳۹۵۶.۰۲	۱۹۶۲۰۲.۲۸	۵۲۰۱.۸۷	۳۸۶۶۶.۱۵	-۶۱۱۴.۲۸	۳۷۳۸۴۴۱۹.۹۱
۱۳۷۹	-۳۵۶۹۹.۹۲	-۳۰۴۹۱.۷۳	-۶۰۶۶.۸۴	۸۸۱.۹۹	-۲۳.۳۳	۵۴۴.۲۸
۱۳۸۰	۱۲۰۹۶۶.۵۴	-۲۰۱۵۰.۶.۲۳	-۲۶۶۹۲۳.۱۸	۵۸۹۵۵۴.۲۳	-۱۵۸.۲۹	۲۵۰۵۵.۷۲
۱۳۸۱	-۵۶۷۵.۹۸	۳۶۳۳۱.۴۶	۲۶۰۶۱۳.۴۹	-۶۲۹۵۲۴.۹۳	۴.۰۰	۱۶
۱۳۸۲	۷۵۶۵۸.۲۸	۳۶۵۳۵.۲۳	-۸۹۹۲.۶۱	۴۸۱۷۲.۵۶	-۵۶.۹۱	۳۲۳۸.۷۴
۱۳۸۳	۶۹۲۳.۵۱	۴۴۶۰۷.۲۱	۱۱۸۴.۳۲	-۳۸۸۶۹.۰۲	۱.۰۰	۱
۱۳۸۴	-۵۲۹۹۶.۳۵	-۵۳۵۳۳.۷۰	-۱۱۴۹۸.۱۱	۱۲۰۰۰.۶۴	۳۴۸۲	۱۲۱۲.۴۳
۱۳۸۵	-۲۲۵۰۱.۷۸	۱۳۶۹۶.۸۸	-۴۴۳۲۰.۹۹	۲۷۰۵.۱۹	۵۴۱۷.۱۵	۲۹۳۴۵۵۱۴.۱۲
جمع	۴۰۴۵۸۰.۲۷	۱۷۰۳۸۴.۵۶	-۴۶۷۷۰.۸۵	۳۲۸۴۹۴.۷۹	-۴۷۵۲۸.۲۲	۲۴۸۷۶۴۸۳۱۵.۳۳
میانگین	۴۰۴۵۸۰.۲۷	۱۷۰۳۸۴.۵۶	۴۶۷۷۰.۸۵	۳۲۸۴۹۴.۷۹	-۴۷۵۲۸.۲۲	

در ادامه شکل ۱ که بر اساس آمار و ارقام جدول ۱ ترسیم گردیده، آمده است. با مطالعه

این شکل می‌توان روند تغییرات اثرات مختلف تولیدی، ساختاری و شدت خالص و نیز روند تغییرات کل مصرف انرژی و پسماندها را نیز مشاهده نمود.

شکل ۱ نتایج حاصل از تجزیه مصرف انرژی در گروه صنایع سیمان تهران

از روش AVE-PDM<sup>۱</sup>



ماخذ: واحد انرژی گروه صنایع سیمان تهران و محاسبات تحقیق

همان طور که در نمودار(۱) مشخص است تغییرات اثر تولیدی در این روش دارای مسیرهای مثبت و منفی حول محور X ها می باشد. سال های ۷۶، ۸۰، ۸۱ و ۸۵ تغییرات کل مصرف انرژی و اثر تولیدی همسو نیستند و علی رغم کاهش مصرف انرژی در کارخانه سیمان تهران، در سالهای ۸۱ و ۸۵ اثر تولیدی در جهت افزایش مصرف حرکت نموده است و در سالهای ۷۶ و ۸۰ بر عکس بوده است. طی سالهای ۷۹، ۷۷ و ۸۴ اثر تولیدی بیشترین تاثیر را روی کاهش کل مصرف انرژی دارد. یعنی در این سالها، افزایش تولید با افزایش میزان بهره وری تولید و بهبود کارایی این کارخانه توأم شده است. در طول سالهای ۷۸، ۸۲ و ۸۳ اثر تولیدی تاثیر بسیار زیادی روی افزایش مصرف انرژی داشته است. این

تأثیر روی افزایش مصرف انرژی بوده، یعنی طی این سالها بهره وری تولید به شدت سیر نزولی از خود نشان داده است.

دومین اثری که بر تغییرات مصرف انرژی تاثیرگذار است اثر ساختاریست. هر چند این اثر در کارخانه سیمان تهران به پررنگی اثر تولیدی نیست؛ اما به هر حال تاثیراتی بر مصرف انرژی این کارخانه در سال های مختلف از خود به جای گذاشته است. همان طور که در نمودار مشاهده میشود این اثر دارای مسیرهای مثبت و منفی حول محور X ها می باشد. در سالهای ۷۷، ۸۰، ۸۱ و ۸۲ این اثر با تغییرات کل مصرف انرژی همسو نبوده است. در سالهای ۷۷ و ۸۱ اگر چه شاهد کاهش کل مصرف انرژی نسبت به سال قبل هستیم؛ اما اثر ساختاری نقشی در این کاهش ندارد و در سالهای ۸۰ و ۸۲ عکس این حالت اتفاق افتاده است. در سالهای ۷۸، ۷۶ و ۸۳ که کل مصرف انرژی نسبت به سال قبل افزایش یافته است، می توان در توضیح این افزایش، سهمی هم برای اثر ساختاری قائل بود؛ حتی اگر این افزایش سهمی کاهنده داشته باشد. اثر ساختاری در سالهای ۷۹، ۸۴ و ۸۵ توانسته سهمی در کاهش مصرف انرژی داشته باشد. هرچند این سهم ناچیز باشد؛ اما به هر حال در راستای کاهش مصرف انرژی توانسته به عنوان یک توضیح دهنده پا برجا، دلیلی خوب برای این کاهش مصرف باشد.

سومین اثر، اثر شدت خالص میباشد. همان طور که در نمودار نشان داده می شود، این اثر هم مانند اثرات تولیدی و ساختاری، دارای مسیرهای مثبت و منفی حول محور X ها می باشد. در سالهای ۷۹، ۸۴ و ۸۵ علی رغم اینکه در کارخانه شاهد کاهش مصرف انرژی هستیم؛ اما اثر شدت خالص نقشی در این کاهش ندارد، چرا که این اثر در این سالها به سمت و سوی افزایش مصرف حرکت می کند و بالعکس در سال ۸۳ با وجود افزایش کل مصرف انرژی، اثر شدت خالص به سمت و سوی کاهش کل مصرف حرکت می کند. می توان با نگاهی به نمودار (۱) این گونه استدلال کرد که در سالهای ۷۷ و ۸۱ است که اثر شدت خالص، در توضیح کاهش کل مصرف انرژی نقش حائز اهمیتی دارد و در مابقی سالهای موردنظر مطالعه، این اثر هیچ گاه نتوانسته به تنهایی موجبات کاهش کل مصرف انرژی، حتی با سهمی اندک را فراهم آورد. این اثر در سالهای ۷۶، ۷۸، ۸۰ و ۸۲ توانسته در افزایش کل مصرف انرژی سهم قابل اعتنایی برای خود دست و پا کند. در سال ۸۳، اگر چه کل مصرف انرژی نسبت به سال قبل افزایش یافته؛ اما اثر شدت خالص با قدرت هر چه تمامتر درصدد کاهش میزان مصرف انرژی بوده که به دلیل قدرت بالای اثر تولیدی و تا حدی اثر ساختاری، این اثر نتوانسته موجبات کاهش کل میزان مصرف انرژی را فراهم

آورد.

اثر پسماند نیز در شکل ۱ مشاهده می شود این اثر در این روش کاملاً نزدیک به محور Xها در نوسان است، به طوری که بیشتر مواقع تمیز دادن این شکل از محور Xها به خاطر نزدیکی بیش از حد به هم امکان پذیر نیست و این می تواند به عنوان یک حسن بسیار مهم، روش AVE-PDM1 را از سایر روش ها متمایز سازد، چرا که روشی که دارای اثر پسماند کمتری باشد، یعنی خطای کمتری دارد و استفاده از آن می تواند ما را به واقعیت نزدیکتر سازد.

همان طور که در توضیحات بالا آمده است، سهم اثر ساختاری در توضیح تغییرات مصرف انرژی در کارخانه سیمان تهران کمتر از دو اثر دیگر می باشد. لذا اثرات تولیدی و شدت خالص دارای بیشترین سهم در توضیح تغییرات مصرف انرژی هستند. از جملات بالا و مشاهده شکل ۱ اینگونه استنباط می شود که می بایست مسیر حرکتی اثر تولیدی عکس اثر شدت خالص باشد. همان طور که در این شکل هم قابل رویت است، در سالهایی که اثر شدت خالص مسیر صعودی را طی می نماید، اثر تولیدی مسیر نزولی را می پیماید. مسیر نوسانی دو اثر مذکور، حالتی نزدیک به مسیر طی شده توسط یک شکل سینوسی را نشان می دهد.

## ۵. نتیجه گیری

در این بخش نتایج تجزیه مصرف انرژی بر اساس داده ها و آمار مربوط به میزان مصرف انرژی و میزان تولید در گروه صنایع سیمان تهران، مورد بررسی قرار گرفته است. این نتایج می تواند نمونه ای از صنایع سیمان ایران باشد که نتایج آن قابل تعمیم به همه کارخانه های سیمان کشور نیست. نتایج حاصل از تجزیه مصرف انرژی نشان می دهد که روش AVE-PDM1، دارای کمترین مجموع مربعات پسماند بوده و تجزیه مصرف انرژی به اجزای اصلی آن با این روش به بهترین وجه ممکن توضیح داده می شود، لذا مبنای نتیجه گیری و ایراد پیشنهاد در این فصل استفاده از آمار و ارقام مربوط به این روش می باشد.

شکل ۱ شمایی کلی از آنچه طی این ۱۰ سال در مصرف انرژی کارخانه سیمان تهران روی داده است، رسم می کند. از آنجا که شاخص شدت انرژی، مطابق تعاریف آمده در همین مطالعه، عکس شاخص کارایی است، اثر شدت خالص می تواند به نوعی، میزان تلاش دست اندرکاران فرایند تولید و مصرف انرژی را در راستای بهبود کارایی انرژی،

نشان دهد. بدین صورت که هر جا اثر شدت خالص نزولی بود، می توان اینگونه استنتاج کرد که کارایی انرژی در حال افزایش بوده و هر جا اثر شدت خالص بنای افزایش می گذارد، این نکته محرز می شود که کارایی انرژی در حال کاهش است. همان طور که در شکل ۱ مشاهده می شود، طی این سالها کارهای تقریبا خوبی در خصوص بهبود کارایی انرژی در سیمان تهران انجام شده است. در توجیه مطلب فوق می توان گفت اگر چه کارخانه سیمان تهران، از نظر آنالیز شیمیایی و کاربرد، محصولات متنوعی تولید می کند و این تنوع محصول خود یکی از مزایای این کارخانه به شمار می رود؛ اما از نظر خصوصیات فرایند تولید و طبیعت محصولات تولیدی، این کارخانه محصولات تقریبا همگنی تولید می کند. تفاوت سیمان های تیپ ۲، تیپ ۵ و سیمان مخصوص چاه نفت، تنها در درصد اجزاء تشکیل دهنده آنها خلاصه می شود و بالا و پائین کردن درصد به کار گیری این اجزاء اثر چندانی بر انرژی بری محصولات ندارد. حتی پایه سیمان پوزولانی در این کارخانه که درصد بالایی از تولید را هم به خود اختصاص داده است، همان پایه سیمان تیپ ۲ می باشد که پس از طی نمودن مراحل پخت، ماده معدنی پوزولان در آسیاب به کلینکر اضافه می شود که این مساله علاوه بر تاثیر مستقیم برافزایش تولید، بر کاهش مصرف انرژی هم تاثیر گذار است.

از این رو می توان نقش کم رنگ ساختاری را به خاطر تولید محصولات تقریبا همگن در این کارخانه دانست؛ چرا که این همگنی موجب شده، مصرف انرژی برای هر واحد محصول در خطوط مختلف تولیدی و بسته به محصولات مختلف تغییر چندانی نداشته باشد.

نقش اثر پسماند که بیانگر تاثیر عوامل بی شماری در فرایند تولید و مصرف انرژی می باشد، اگر چه نباید به کلی نادیده انگاشته شود؛ اما همان طور که در شکل ۱ هم مشخص است، این اثر تقریبا بر محور X ها منطبق است و این مساله نشان از این دارد که با استفاده از روش AVE-PDM1 تجزیه مصرف انرژی به اثرات ساختاری، تولیدی و شدت خالص به بهترین وجه ممکن صورت گرفته و کمترین میزان پسماند را بر جای گذاشته است.

## منابع

- اسماعیل نیا، علی اصغر (۱۳۸۴): "بررسی تاثیر سیاست های مدیریت تقاضا (قیمتی و غیر قیمتی) بر صرفه جویی مصرف انرژی در کشور" رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات.
- الزامی، محمدرضا (۱۳۸۶): "بررسی قیمت مصوب سیمان، متوسط قیمت بازار برای مصرف کننده و حاشیه سود دلان، با نگاهی به وضعیت عرضه و تقاضا". دفتر مطالعات زیر بنایی گروه صنایع و معادن.

- ترازنامه انرژی، سالهای مختلف.
- حیدری، ابراهیم، صادقی، حسین(۱۳۸۲): "تجزیه و تحلیل کارایی انرژی در اقتصاد ایران". پایان نامه دکتری علوم اقتصادی دانشگاه تربیت مدرس.
- دهقان شبانی، زهرا(۱۳۸۵): "تجزیه شدت انرژی در صنایع کشور طی دوره زمانی ۸۲-۱۳۷۴". پایان نامه کارشناسی ارشد علوم اقتصادی، دانشگاه اصفهان.
- فاتح، عبدالرضا(۱۳۸۰): "وضعیت مصرف انرژی در صنعت سیمان کشور". دفتر مطالعات اقتصادی و تعرفه وزارت نیرو.
- قاسمی نژاد، مهدی(۱۳۸۴): "بررسی تغییرات شدت انرژی در بخش ریلی ایران". پایان نامه کارشناسی ارشد علوم اقتصادی، دانشگاه اصفهان.

- Ang, B. W., Lee, P. W.,(1996) Decomposition of industrial energy consumption: The energy coefficient approach. *Energy Economics*, 18, 129-143.
- Ang, B. W., Lee, S. Y.,(1994), Decomposition of industrial energy consumption, some methodological and application issues. *Energy Economics*, 16, 83-92.
- Ang, B. W., Liu, F. L., Chew, E.P.,(2003) Perfect decomposition techniques in energy and environmental analysis. *Energy Policy*, 31, 1561-1566.
- Ang, B. W., Pandiyan, G.,(1997) Decomposition of energy-induced CO2 emissions in manufacturing. *Energy Economics*, 19, 363-374.
- Ang, B. W., Zhang, F.Q.,(2000) A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. *Energy*, 25, 1145-1176.
- Ang, B. W.,(1987), Structural changes and energy-demand forecasting in industry with applications to two newly industrialized countries. *Energy*, 14, 101-111.
- Ang, B. W.,(1994), Decomposition of industrial energy consumption, The energy intensity approach. *Energy Economics*, 16, 163-174.
- Boyd, G.A., Hanson, D.A., Sterner. T.,(1988), Decomposition of changes in energy intensity, a comparison of the divisia index and other methods. *Energy Economics*, 10, 309-312.