

## کاهش انرژی با استفاده از سوخت‌های جایگزین در صنعت سیمان

آزاده تجردی<sup>۱</sup> - مصطفی خانزادی<sup>۲</sup> - روزا راسخ قائم مقامی<sup>۳</sup>

۱- دانشکده شیمی دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- مرکز تحقیقات سیمان دانشگاه علم و صنعت ایران

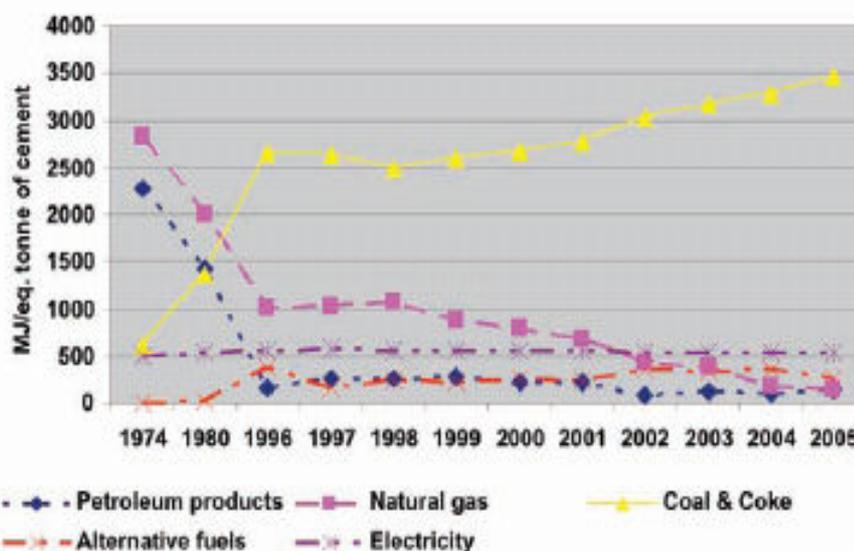
۳- مرکز تحقیقات سیمان دانشگاه علم و صنعت ایران

### چکیده:

بدون شک در سال‌های اخیر با توجه به کاهش منابع سوخت‌های فسیلی، محققین به دنبال روش‌هایی برای جایگزین نمودن سوخت‌های جدید به جای سوخت‌های فسیلی هستند. استفاده بهینه از انرژی به طور کلی در تمامی صنایع و به خصوص صنعت سیمان امر مهم می‌باشد. یکی از مهمترین روش‌ها برای ذخیره انرژی استفاده از سوخت‌های بازیافتی می‌باشد. استفاده از ضایعات در کوره‌های سیمان باعث استفاده بهینه از دما می‌شود. تامین درصد قابل توجهی از انرژی سوختی مورد نیاز را می‌توان از طریق سوخت‌های جایگزین تامین نمود. از لحاظ زیست محیطی منجر به کاهش آلودگی هوا، خاک و آب‌های زیر زمینی و سطحی می‌گردد. به دلیل دمای بالای کوره‌های سیمان و مواد قلیایی قوی در کوره‌های سیمان از ایجاد مواد سمی به علت سوختن ناقص مواد زائد جلوگیری می‌شود. ارزش حرارتی مواد زائد جهت استفاده مهم می‌باشد به طور مثال مواد همچون روغن‌های باطله سبک و سنگین، لاستیک فرسوده، زغال سنگ، هسته خرما، چربی‌ها، سبوس گندم، کاغذ، مقوا، لجن فاضلاب‌ها، مدفوع حیوانات و غیره ارزش حرارتی بالایی دارند.

کلیده واژه: سوخت‌های جایگزین، صنعت سیمان، انرژی، محیط زیست.

سالیانی است که استفاده از تایرهای مستعمل به عنوان سوخت در صنعت سیمان به دلیل منافع اقتصادی و زیست محیطی آن مورد توجه واقع شده است. در سال ۲۰۰۱، حدود ۲۴٪ از کل انرژی حرارتی لازم در کارخانه های سیمان اروپا از TDF به دست آمد که معادل ۷/۹۵ trillion Btu (تقریباً معادل ۲۷۰ میلیون عدد تایر) می باشد. این مقدار معادل ۱۳ میلیون بشکه نفت خام است. در شکل ۱ روند استفاده از انواع سوختها در صنعت سیمان در کشور کانادا نشان داده شده است.



شکل ۱: روند استفاده از انواع سوختها در کانادا

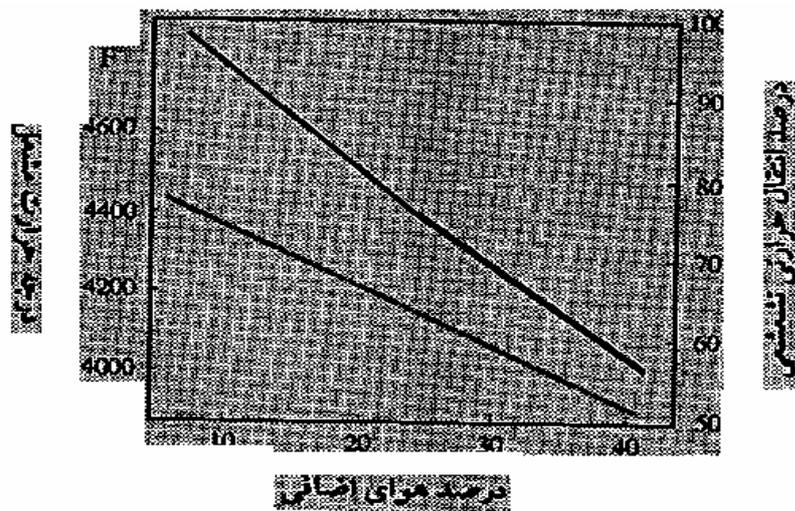
## ۱- روش های صرفه جویی انرژی در صنعت سیمان

در صنعت سیمان روش های معمول صرفه جویی عبارتند از:

- کاهش تلفات حرارتی پوسته
- هر چقدر ظرفیت کوره دوار بیشتر و قطر لایه های نسوز ضخمت تر باشد میزان تلفات حرارتی (پوسته) کمتر می شود.
- یکنواخت و همگن نمودن مواد ورودی و کنترل پیوسته آن
- کاهش هوای اضافی موجب کاهش مصرف سوخت و برق می گردد (حدود مصرف ۶ تا ۱۵٪ هوای اضافی).

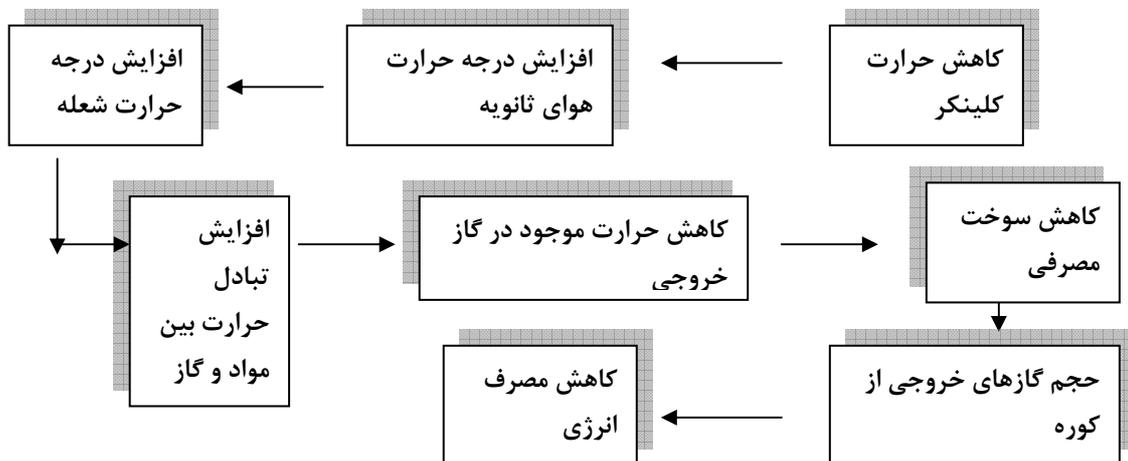
- افزایش درجه حرارت مشعل موجب انتقال حرارت بهتر و در نتیجه کاهش مصرف سوخت می‌گردد. شکل ۲ ارتباط بین درجه حرارت مشعل و درصد هوای اضافی و میزان انتقال حرارت تشعشعی را نشان می‌دهد.

- بالا بردن دمای احتراق



شکل ۲: درجه حرارت مشعل و درصد هوای اضافی و میزان انتقال حرارت تشعشعی

- کاهش درجه حرارت کلینکر خروجی (شکل ۳)



شکل ۳: کاهش انرژی از طریق کاهش درجه حرارت کلینکر خروجی

- استفاده از سوخته‌های جایگزین

## ۲- انواع سوخت‌های ضایعاتی

سوخت‌های ضایعاتی به سه دسته گاز، مایع و جامد تقسیم می‌شوند.

گاز: مثل آذهای زمینی، هیدرو کربونها، پلی آروماتیک، پلی کربنات بی‌فنل‌ها و کربنات آروماتیک و آلکیل‌ها

مایع: مثل روغن دور ریز، رسوب روغن، زائده‌های پالایشگاه، اسید تار، رنگ‌های صنعتی،

دورریز حلال‌ها، اسلوریزها، دورریز شیمی، کن‌ها، الکله‌ها، استن‌ها و بنزن

جامد: ساقه‌های برنج، خاک اره، غبار گرافیت، محصولات الکترو، لاستیک کهنه، لاستیک‌های

دورریز، فضولات حیوان ROF، زغال سنگ نارس، سوست درخت، مخروط‌های صنوبر، خاک نفوذ

پذیر روغنی کک‌های حیوانی، خاکسترهای فرار و زائده‌های زغال سنگ نفتی

جهت استفاده از این نوع سوخت‌ها باید یکسری نکات را در نظر گرفت از قبیل: شکل، اندازه،

قابلیت آسیاب کردن، ویسکوزیته در درجه حرارت‌های مختلف، ارزش حرارتی، نوع ماده (جزء

هالوژن‌ها می‌باشد) تعیین میزان فازات سنگین و عناصر سمی، انبار کردن، خوردگی و غیره

ضایعات اشتعال پذیر را نمی‌توان ۱۰۰٪ جایگزین سوخت‌های اصلی نمود. چراکه تلفات حرارتی

سیستم کوره هنگام سوختن ضایعات سوختی افزایش می‌یابد. محتوای آب بالای ضایعات سوختی،

مقدار و دمای گازهای خروجی را افزایش داده و در نتیجه تلفات گرمایی بالاتر است. محتوای

خاکستر بالای ضایعات، موجب عبور مواد کمتر در پیش گرمکن می‌شود و این امر سبب دمای بالاتر

گازهای خروجی می‌شود، که تلفات حرارتی بالاتر را در پی دارد. اشتعال پذیری ضعیف ضایعات

موجب افزایش CO و اکسیژن می‌گردند و باعث تلفات حرارتی از طریق گازهای خروجی می‌شوند.

ضایعاتی که باعث شرایط کاری ناپایدار کوره می‌شوند. مصرف گرمای میانگین به علت کاهش

بازدهی کوره را افزایش می‌دهند.

### ۳- دلایل کاربرد سوخت‌های جایگزین در کوره‌های سیمان

- ۱- با دمای شعله حدود ۲۰۰۰ درجه سانتی‌گراد و مقدار زمان بالائی که گازهای حاصل در کوره باقی می‌مانند تمام ترکیبات آلی، حتی مقاومترین هیدرو کربن‌های کلرینه، کالای تخریب و شکسته می‌شوند.
- ۲- اکثر محصولات احتراق اسیدی و عناصر جزئی سمی، به وسیله جریان متقابل خوراک خام جذب می‌شوند، که به طور طبیعی گازهای خروجی تصفیه می‌شوند.
- ۳- گازهای دودکش به اندازه کافی غبار آلود هستند. برخی از عناصر سمی در این غبارها جذب می‌شوند، که بعداً به محیط می‌روند. ولی به خاطر زیاد بودن گرد و غبار لازم است بیش از ۹۰٪ غبار گرفته شود و بدین ترتیب از خروج عناصر سمی نیز جلوگیری می‌شود.
- ۴- بیشتر عناصر سمی که وارد کلینکر سیمان می‌شوند، به علت غلظت‌های خیلی کم برای سیمان مضر به حساب نمی‌آیند. یعنی عملاً به طور کامل نامحلول باقی می‌مانند.
- ۵- ضایعات سوختی بدون نشر اضافی و بدون تولید پس مانده‌های دیگر سوخته می‌شود.
- ۶- ضایعات سوختی از لحاظ ارزش حرارتی، کم و بیش به خوبی سوخت‌های اصلی هستند.
- ۷- هزینه انرژی خالص برای پخت کلینکر کاهش می‌یابد.
- ۸- از انبار کردن یا مدفون کردن آنها جلوگیری می‌شود و تا حدودی به محیط زیست کمک می‌نماید.

#### ۴- مواد زائدی که استفاده آنها مناسب نیست

هر سوختی هم برای کوره‌های سیمان مناسب نیست و محدودیت‌هایی وجود دارد.

۱- غلظت عناصر فرار نظیر Cl و S به خاطر وجود خطر انتشار، نباید از حدود خاصی تجاوز کند.

۲- ترکیب کل خاکستر سوخت باید به گونه‌ای باشد، که به آسانی بتواند بدون تغییر دادن کیفیت وارد کلینکر گردد.

۳- سوزاندن و استفاده از ضایعات سوختی، منوط به اجازه از مقامات منطقه‌ای است.

۴- سوزاندن ضایعات سوختی باعث تغییر سطح نشر می‌گردد.

جهت استفاده از سوخت‌های ضایعاتی باید به چند نکته توجه نمود.

- میزان گوگردی که از سوختن این مواد ایجاد می‌شود، گازهای کلر و فلور ناشی از سوختن چه مقدار خواهد بود. و دیگر اینکه سائز مواد از اهمیت بسزایی برخوردار است. مثلاً خرد کردن تاپرهای فرسود هزینه بر می‌باشد، بنابراین استفاده آن به صورت کامل مقرون به صرفه تر است.

#### ۵- روش‌های خوراک دهی کوره

برای تزریق ضایعات به کوره باید توجه به شکل و اندازه ضایعات نمود. محل‌های تغذیه سوخت جایگزین هم از لحاظ انرژی حرارتی و هم از میزان تاثیر در فرآیند پخت باید مورد بررسی قرار گیرند. از چندین منطقه می‌توان سوخت‌های جایگزین را به سیستم تزریق نمود که عبارتند از:

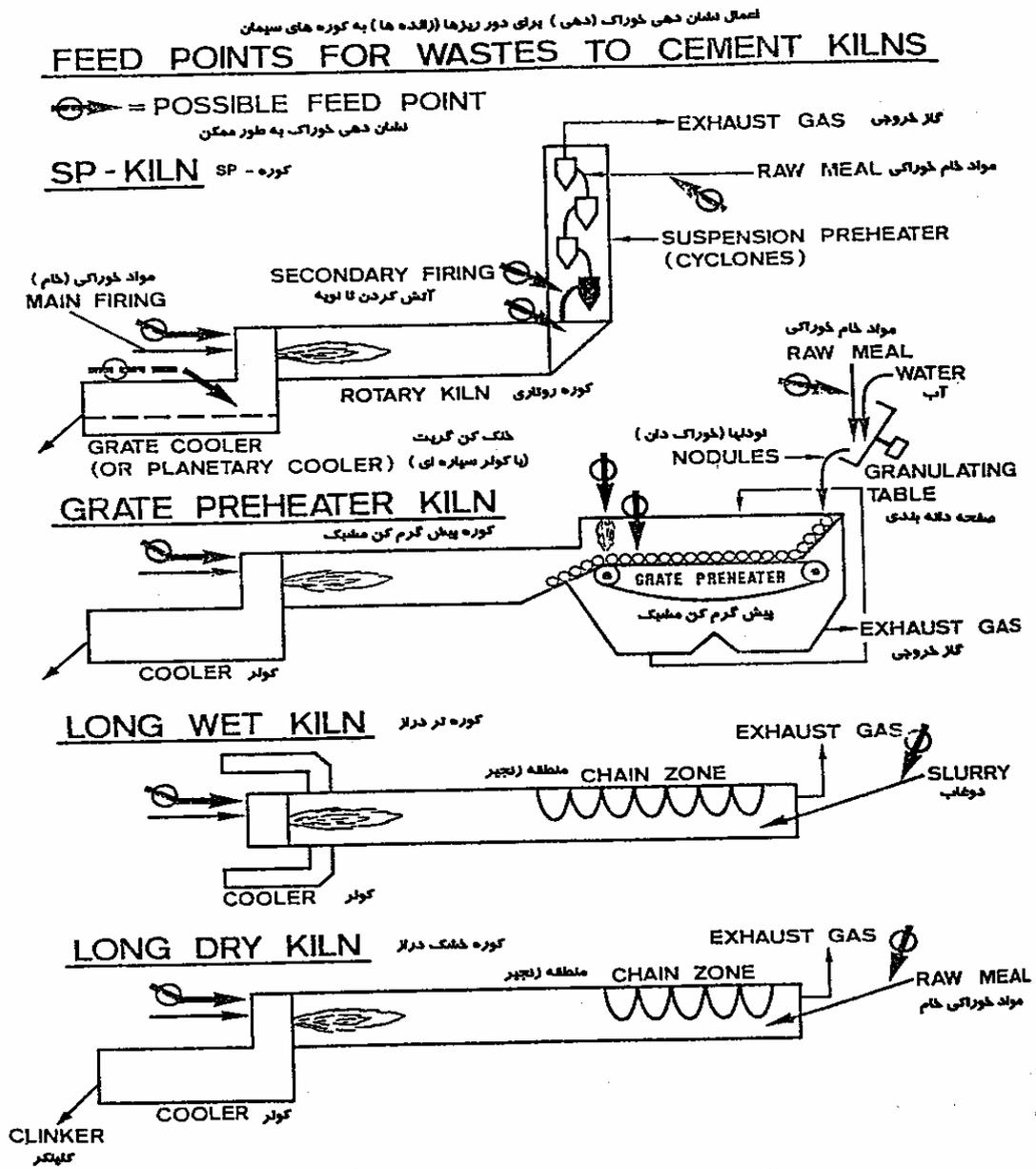
۱- از طریق مشعل

۲- از طریق میانه کوره

۳- از طریق پرکلساینر

۴- HOT DISC

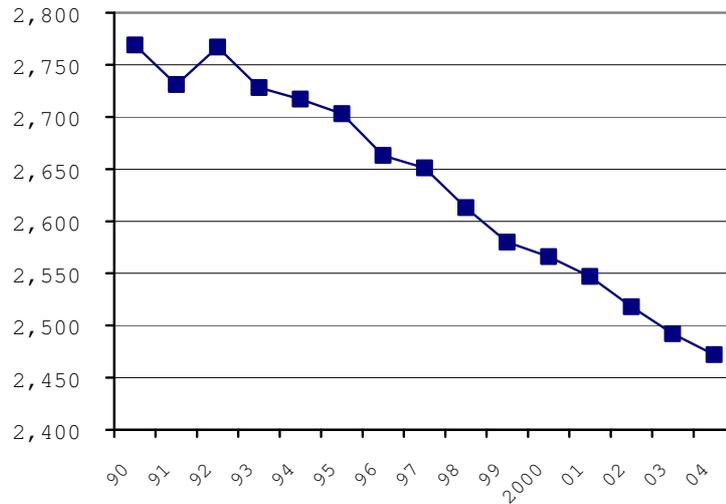
شکل ۴ مکان‌هایی را که می‌توان مواد ضایعاتی را در انواع کوره‌ها تزریق نمود، نشان می‌دهد.



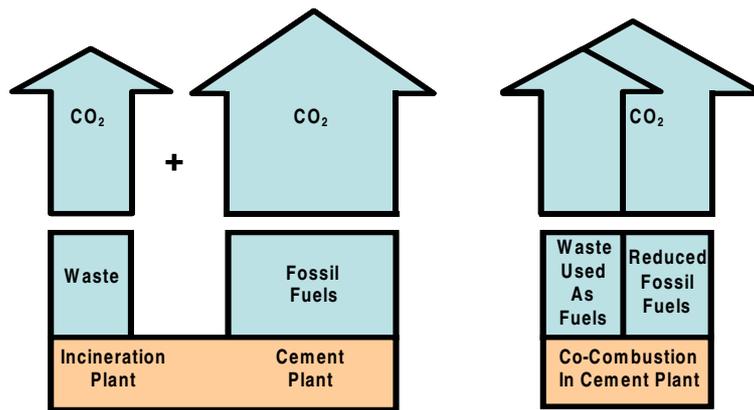
شکل ۴: مکان‌های تزریق مواد ضایعاتی در انواع کوره‌ها

شکل ۵ تغییرات شده انرژی حرارتی را در ژاپن بین سالهای ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۰ نشان می‌دهد. این شکل بیان کننده ارزش استفاده از کمک سوختها در کوره‌های صنعت سیمان و کوره‌های مشابه که دمای بالایی نیاز دارند را نشان می‌دهد. شکل ۶: عملیات تولید  $CO_2$  بازیافتی توسط صنعت سیمان بنا به پیمان کیوتو در ژاپن را نشان می‌دهد.

(MJ/t-cement)



شکل ۵: تغییر شدت انرژی حرارتی کارخانه های سیمان بین سالهای ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۰ در ژاپن



شکل ۶: تولید باز یافتی در ژاپن

### تکنولوژی فرآیند CO

- تولید CO<sub>2</sub> منتشر شده از سوخت فسیلی در جامعه بوسیله استفاده از سوخت های AFR

- کاهش فاکتورهای کلینکر در سیمان

CO<sub>2</sub> تولید شده ناشی از سوزاندن ضایعات در ژاپن حدود ۲۴ میلیون تن می باشد. با صحیح

مدیریت کردن این فرآیند می توان از گازهای سمی همچون CO کاست.

## ۶- نتیجه گیری

استفاده از سوخته‌های فسیلی موجب کاهش منابع طبیعی می‌گردد و نسل‌های آینده با بحران این انرژی رو برو خواهند شد در صورت استفاده صحیح از مواد زائد و آلاینده، در کوره‌های سیمان بعنوان کمک سوخت صرفه جویی در مصرف انرژی و هزینه آن به همراه خواهد داشت. افزون بر این کاهش پساب‌های زیر زمینی و آبهای سطحی را موجب می‌گردد. به دلیل دمای بالای کوره‌های سیمان و مواد قلیایی قوی در کوره‌های سیمان از ایجاد مواد سمی به علت سوختن ناقص مواد زائد جلوگیری می‌شود.

کارهای انجام شده در دنیا نشان داده است که استفاده از این سوخته‌ها هیچگونه تاثیری بر کیفیت محصول ندارد. در عین‌انگاز انبار کردن و مدفون نمودن این ضایعات نیز جلوگیری می‌شود.

## منابع:

1. Taeb, A., and Parashar, A. K., Energy- efficient conservation options, Holtec Consulting Pvt. Ltd., New Delhi, India, 1998.
2. Mokrzycki, E., Uliasz, A., *Applied Energy*, 74(2003) 95.
3. Cement Industry Pederation, environment, 2004.
4. Smith, I., IEA CLEAN COAL CENTER (2003) PF 03-02.
5. Fink, J. K., *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 51(1999)239.
6. Hellberg, T., Incineration by the back door(Cement kilns as waste sinks), 2000.
7. Lemarchand, D., Burning issues, *International Cement Review*, 2(2000)65.
8. Mokrzycki, E., Uliasz, A., Sarna, M., *Applied Energy*, 74(2003) 101.
9. Sturm, G., Wurst, F., Prey, T., alternative fuels in the cement-industry, University of Vienna.

Alternative fuels in the cement-industry, University of Vienna.

10- global fuels

11-Dr. Hans Wilhelm meyer. - global fuels 29(2006)status of waste management systems(WMS)

12-Yoshito Izumi, *Ph.D. Climate Protection in the Japanese Cement Industry Japan Cement Association & Taiheiyo Cement Corporation*

۱۳- مصرف انرژی در صنعت سیمان، مدیر پروژه دکتر عباس طائب، مرکز تحقیقات سیمان دانشگاه

علم و صنعت ایران، ۱۳۷۵

۱۴- اصول مدیریت انرژی، مولف کرگ بی. اسمیت، ترجمه شهناز صادقی، مهرداد طباطبائی،

داریوش ساعدی داریان، سازمان بهره وری انرژی ایران، ۱۳۷۶