

توسعه پایدار، افزایش بهره‌وری و کاهش شدت انرژی در صنایع تولید محصولات کانی غیرفلزی کشور

بهاره فرهمندپور، رئیس بهینه‌سازی انرژی در بخش نیرو

در صنایع تولید محصولات کانی غیرفلزی کشور، فرایندهای تولید سیمان، شیشه، آجر، آهک، گچ و کاشی سرامیک جزو فرایندهای انرژی بر محسوب می‌گردند که سهم 23٪ از مصرف انرژی بخش صنعت را به خود اختصاص داده‌اند. مصرف انرژی در گروه صنایع تولید محصولات کانی غیرفلزی (86 میلیون بشکه معادل نفت خام) معادل گروه تولید فلزات اساسی کشور برآورد می‌گردد، در حالیکه ارزش افزوده به مراتب پایین‌تر ایجاد می‌نماید. شدت انرژی صنایع تولید کانی غیر فلزی طبق اطلاعات مرکز آمار حدود 80 مگاژول بر دلار برآورد می‌گردد که با نرم‌های جهانی آن (20 مگا ژول بر دلار) قابل قیاس نمی‌باشد که این میزان اختلاف نشان‌دهنده فقدان اطلاعات مناسب از جامعه آماری مربوطه، ناکارآمدی انرژی، ارزش افزوده پایین، مشکلات مربوط به صادرات، رکود داخلی، عدم استفاده از حداکثر ظرفیت تولید و قیمت‌های دستوری محصولات می‌باشد. در این مقاله نخست ارزش افزوده، مصرف و شدت انرژی در صنایع تولید کانی‌های غیر فلزی کشور بررسی و با مقادیر متناظر آن در کشورهای مطرح تولیدکننده مقایسه می‌گردد. سپس جایگاه ایران، چالشها و راهکارهای توسعه، مصارف و پتانسیلهای ارتقاء کارایی انرژی، راهکارهای کاهش مصرف انرژی و آلاینده‌ها و ارتقاء بهره‌وری انرژی در صنعت سیمان بحث و بررسی خواهد شد.

1- شدت انرژی در صنایع تولید محصولات کانی غیر فلزی

براساس ویرایش چهارم طبقه‌بندی بین‌المللی فعالیت‌های اقتصادی (ISIC)، صنعت تولید محصولات کانی غیرفلزی با کد 23 شامل رشته‌های فعالیت‌های مندرج در جدول 1 می‌باشد. بیشترین ضریب اهمیت در بین رشته‌های فعالیت‌های این صنعت، مربوط به رشته فعالیت تولید محصولات سیمان، آهک و گچ با سهمی بیش از 25٪ و سپس تولید مواد ساختمانی از خاک رس با سهم 24٪ و همچنین تولید شیشه و فرآورده‌های شیشه‌ای با سهم 15٪ از کل فعالیت‌های صنعتی این گروه می‌باشد.

جدول 1 - مشخصات گروه صنایع تولید محصولات کانی غیرفلزی [1]

کد آیسیک	نام صنعت	تعداد کارگاه در سال 1397	ارزش افزوده در سال 1397 (میلیارد دلار)	درصد از کل فعالیت
23	تولید محصولات کانی غیرفلزی	5207	4.96	100
231	تولید شیشه و فرآورده‌های شیشه‌ای	247	0.76	15.4
2310	تولید شیشه و فرآورده‌های شیشه‌ای	247	0.76	15.4
239	تولید فرآورده‌های معدنی غیرفلزی طبقه بندی نشده در جای دیگر	4961	4.20	84.6
2391	تولید فرآورده‌های نسوز	117	0.19	3.9
2392	تولید مواد ساختمانی از خاک رس	1523	1.19	24.0
2393	تولید سایر فرآورده‌های چینی و سرامیکی	71	0.14	2.9
2394	تولید سیمان و آهک و گچ	232	1.26	25.4

2395	تولید کالاها از بتون و سیمان و گچ	1299	0.71	14.3
2396	برش و شکل دهی و پرداخت سنگ	1041	0.29	5.8
2399	تولید سایر فرآورده های معدنی غیر فلزی طبقه بندی نشده در جای دیگر	678	0.41	8.4

در جدول 2 میزان مصرف انرژی گروه تولیدی محصولات کانی غیر فلزی مطابق با اطلاعات مرکز آمار در سال 1396 ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می گردد 78.5 درصد مصرف انرژی مربوط به گاز طبیعی و 7.8 درصد برق می باشد و در کل انرژی مصرفی 65.42 میلیون بشکه معادل نفت خام معادل 400 پتاژول برآورد می گردد.

جدول 2 - میزان مصرف انرژی در صنایع تولیدی محصولات کانی غیر فلزی [2]

کد	نام صنعت	گاز طبیعی		برق		سایر	کل انرژی
		میلیون متر مکعب	میلیون بشکه معادل نفت خام	میلیون بشکه معادل نفت خام	میلیون بشکه معادل نفت خام		
23	صنایع تولیدی محصولات کانی غیر فلزی	8317.3	51.2	8641.6	5.1	8.94	65.42

بر اساس جداول فوق الذکر، شدت انرژی گروه کانی های غیر فلزی در ایران، مطابق اطلاعات مرکز آمار معادل 80 مگاژول بر دلار برآورد می گردد. این میزان شدت انرژی با مقادیر متناظر آن در سایر کشورهای جهان قابل قیاس نیست و می تواند نشاندهنده فقدان اطلاعات مناسب از جامعه آماری مربوطه، ناکارآمدی انرژی، ارزش افزوده نامتناسب با این میزان مصرف انرژی و تولید محصولات، و مشکلات مربوط به صادرات، رکود داخلی، عدم استفاده از حداکثر ظرفیت تولید و قیمتهای دستوری محصولات باشد. در جدول 3 میزان تولید سیمان، انرژی مصرفی، ارزش افزوده و شدت انرژی گروه کانی های غیر فلزی کشورهای منتخب مطابق گزارش آژانس بین المللی انرژی با ایران مقایسه شده اند.

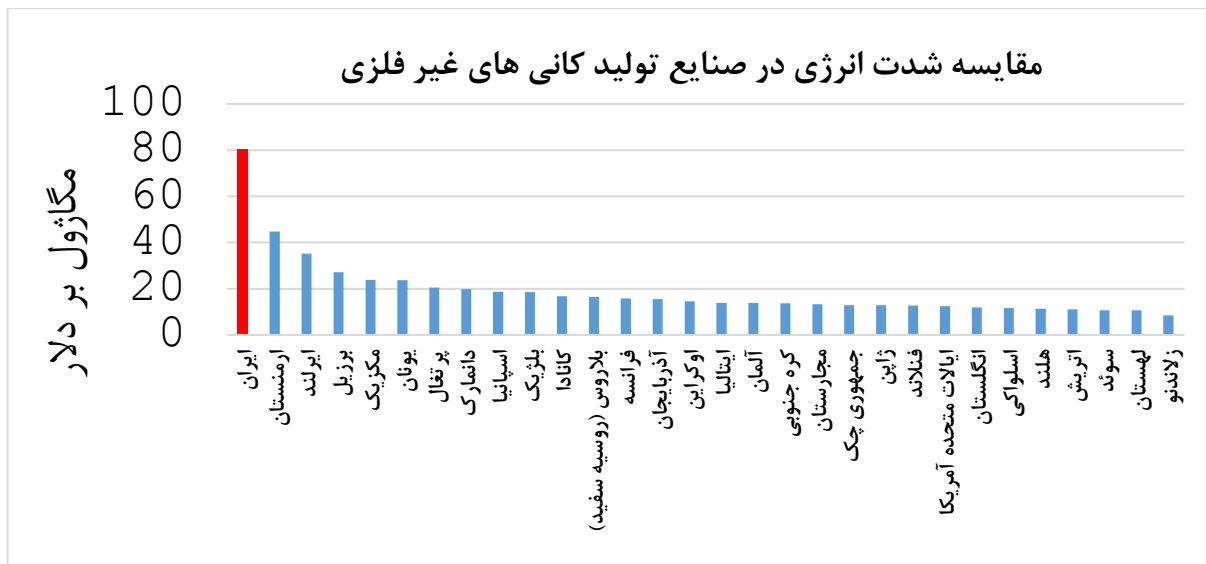
جدول 3- مقایسه میزان تولید سیمان، انرژی مصرفی، ارزش افزوده و شدت انرژی گروه کانی های غیر فلزی کشورهای منتخب مطابق گزارش آژانس بین المللی انرژی با ایران در سال 2017 [3]

تولید سیمان (میلیون تن)	انرژی مصرفی گروه کانی های غیر فلزی (پتاژول)	ارزش افزوده گروه کانی های غیر فلزی (میلیارد دلار)	شدت انرژی گروه کانی های غیر فلزی (مگاژول بر دلار)	
89	617	49.4	12.5	آمریکا
60	* 400	4.96	80.65	ایران
57	397	-	-	ترکیه
54	337.4	12.4	27.2	برزیل
53	351.8	27.3	12.9	ژاپن

کره جنوبی	47	218.1	15.9	13.7
آلمان	34	277.4	20.1	13.8
مکزیک	36	217.8	9.1	23.9
ایتالیا	33	175.6	12.7	13.9
فرانسه	19.5	161.1	10.2	15.8
اسپانیا	16	140.5	7.5	18.7
کانادا	12.5	108.1	6.5	16.7

* این میزان بر اساس اطلاعات جامعه آماری مرکز آمار درج شده است و مقدار واقعی مصرف انرژی در صنایع کانی غیر فلزی کشور بالغ بر 526 پتاژول برآورد می گردد ولی در خصوص ارزش افزوده متناسب با این حجم از انرژی، اطلاعات مناسبی در دسترس نمی باشد.

در نمودار شکل 1 نیز مقایسه شدت انرژی مصرفی گروه تولیدی صنایع غیر فلزی ایران با کشورهای منتخب در سال 2017 نمایش داده شده است.



شکل 1 مقایسه شدت انرژی مصرفی گروه تولیدی کانی های غیر فلزی ایران با کشورهای منتخب [3]

در صنایع تولید محصولات کانی غیرفلزی کشور، فرایندهای تولید سیمان، شیشه، آجر، آهک، گچ و کاشی سرامیک جزو فرایندهای انرژی بر محسوب می گردند و بر این اساس استانداردهای معیار مصرف انرژی به شرح ذیل برای این صنایع تدوین شده است:

- استاندارد معیار مصرف انرژی در فرآیند تولید سیمان به شماره 7873 که فرایندهای تولید انواع سیمان و کلینکر خاکستری و سفید و انواع پروسه های تولید را شامل می گردد.
- استاندارد معیار مصرف انرژی در فرآیند تولید آجر به شماره 7965 که فرایندهای تولید انواع آجر فشاری و ماشینی شامل آجرنما و توکار مجوف، بلوک سقف و تیغه دیواری را شامل می گردد.
- استاندارد معیار مصرف انرژی در فرآیند تولید آهک به شماره 8665 که فرایندهای تولید انواع آهک کلوخه، زنده پودر و هیدراته را شامل می گردد.

- استاندارد معیار مصرف انرژی در فرآیند تولید گچ به شماره 8666 که فرایندهای تولید انواع گچ ساختمانی پرداخت، زیرکار و خاکی را شامل می گردد.
- استاندارد معیار مصرف انرژی در فرآیند تولید شیشه تخت و ظروف شیشه ای به شماره 8667 که فرایندهای تولید انواع شیشه نسوز، الیاف شیشه ای، کریستال و اپال، محصولات شیشه ای سنتی و فرایندهای عملیاتی پس از شکل دهی مذاب شیشه بجز عملیات حرارتی تنش زدایی را شامل می گردد.
- استاندارد معیار مصرف انرژی در فرآیند تولید کاشی سرامیکی به شماره 9649 که فرایندهای تولید انواع تولید کاشی کف، تولید کاشی دیواری، تک پخت، و دو پخت، کاشی پرسی لعیابدار و بدون لعاب را شامل می گردد.

مطابق با ترازنامه هیدروکربوری میزان مصرف گاز طبیعی در سال 1396 برای صنعت سیمان 5520 و در سال 1397 حدود 6054 میلیون متر مکعب در سال ذکر شده است. مطابق با جدول 4 در ترازنامه انرژی وزارت نیرو مصرف گاز صنایع سیمان در سال 1397 حدود 6433.8 میلیون متر مکعب و مصرف برق صنایع تولید کانی های غیر فلزی 9000 میلیون کیلووات ساعت ذکر شده است.

جدول 4- میزان مصرف انرژی در صنایع تولید محصولات کانی غیر فلزی در سال 1397 [3]

6433.8	میلیون متر مکعب	گاز طبیعی- صنعت سیمان*
9000	میلیون کیلووات ساعت	برق- کانی های غیر فلزی**

* جدول 1-136 ترازنامه انرژی وزارت نیرو صفحه 201
** جدول 1-248 ترازنامه انرژی وزارت نیرو در سال 1397 صفحه 283

طبق اطلاعات شرکت ملی گاز رسانی کشور، مصرف گاز طبیعی در صنایع کانی غیر فلزی در 4 گروه صنعت سیمان، صنعت آجر، صنایع شیشه، بلور و صنایع چینی و صنایع کاشی، سرامیک و صنایع نسوز دسته بندی می گردد. در شکل 2 سهم هر یک از این گروهها در مصرف گاز طبیعی و در جدول 5 و شکل 3 روند مصرف گاز طبیعی آنها طی سالهای 1397 تا 1399 نمایش داده شده است.

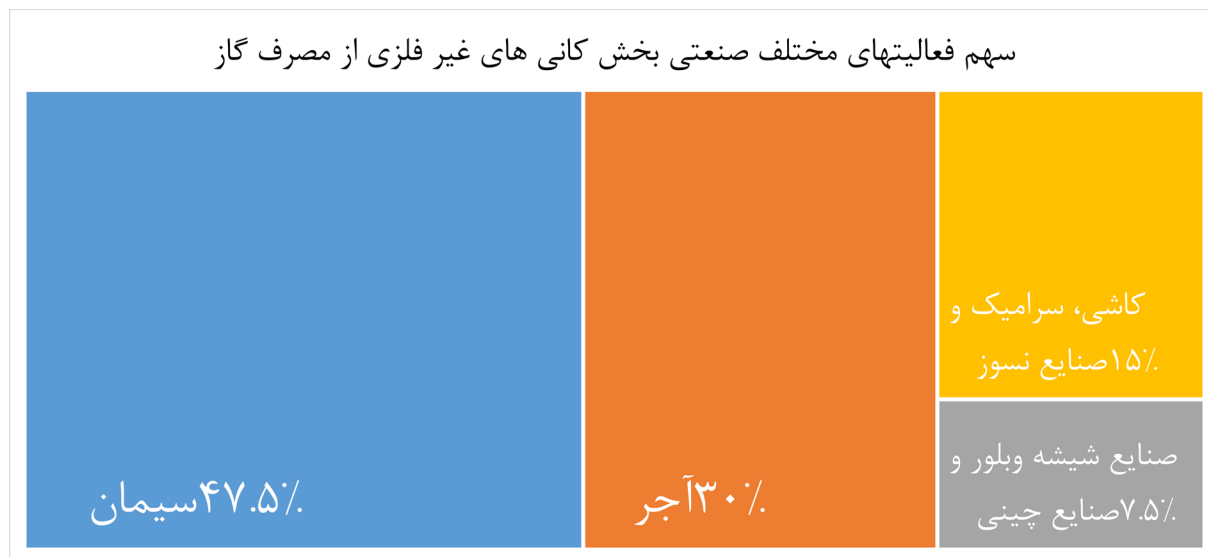
جدول 5- مصرف گاز طبیعی در صنایع کانی غیر فلزی (میلیون متر مکعب در سال)- شرکت ملی گاز

رسانی [4]

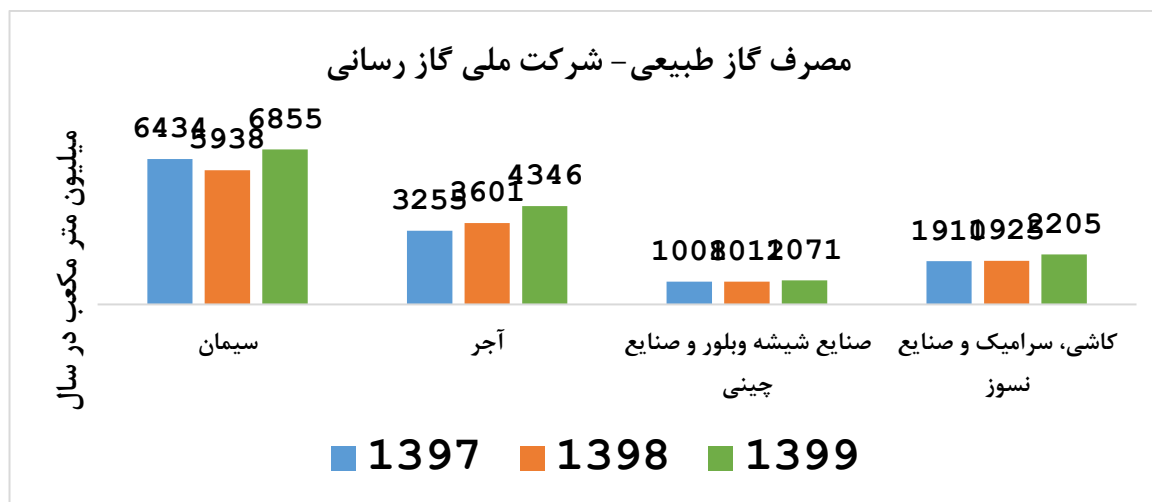
1399		1398		1397		
مصرف	تعداد	مصرف	تعداد	مصرف	تعداد	
6855.1	78	5937.8	80	6433.8	80	سیمان
4346.0	3636	3600.8	3663	3255.2	3663	آجر
1071.1	479	1011.9	463	1008.3	463	صنایع شیشه و بلور و صنایع چینی
2205.0	652	1924.7	593	1910.0	593	کاشی، سرامیک و صنایع نسوز

14477.1	4845	12475.2	4799	12607.3	4799	جمع
---------	------	---------	------	---------	------	-----

نکته قابل تامل در نمودار شکل 2 میزان مصرف واحدهای تولید آجر می باشد که حجم بالایی از مصرف انرژی را شامل شده اند و مطابق با گزارشات بازرسی انرژی میزان شاخص مصرف ویژه انرژی واحدهای تولید آجر در مقایسه با مقدار جهانی آن شرایط مطلوبی را ندارد.



شکل 2- مصرف گاز طبیعی در صنایع کانی غیر فلزی -شرکت ملی گاز رسانی [4]



شکل 3- مصرف گاز طبیعی در صنایع کانی غیر فلزی -شرکت ملی گاز رسانی [4]

با توجه به موارد فوق الذکر مصرف انرژی در گروه تولیدی محصولات کانی غیر فلزی در سال 1397 مطابق با جدول 6 بیش از 86 میلیون بشکه معادل نفت خام (526 پتاژول) برآورد می گردد که 23٪ مصرف بخش صنعت (به جز خوراک واحدهای پتروشیمی) را شامل می گردد.

جدول 6- میزان مصرف انرژی در صنایع تولید محصولات کانی غیر فلزی در سال 1397

مجموع		فرآورده های نفتی ***	برق**	گاز طبیعی*	
پتاژول	میلیون بشکه معادل نفت خام	میلیون لیتر	میلیون کیلووات ساعت	میلیون متر مکعب	
526	86	465	9000	6433.8	سیمان
				3255.2	آجر
				1008.3	صنایع شیشه و بلور و صنایع چینی
				1910.0	کاشی، سرامیک و صنایع نسوز
				12607.3	جمع

* شرکت ملی گاز رسانی

** ترازنامه انرژی وزارت نیرو در سال 1397 (مصرف برق صنایع سیمان حدود 7000 میلیون کیلووات ساعت برآورد می گردد).

*** مطابق با فرآورده تخصیص داده شده به این گروه از صنایع طبق اطلاعات شرکت ملی پخش فرآورده های نفتی در سال 1397، که بیش از 90٪ آن مربوط به نفت کوره (مازوت) می باشد که البته در سال 1398 این میزان بیش از 1.5 برابر گزارش شده است. به دلیل برودت هوا و قطعی گاز میزان مصرف مازوت در این صنایع قابل ملاحظه می باشد ولی متأسفانه در مراجع معتبر میزان مصرف فرآورده به تفکیک صنایع ذکر نمی گردد.

2- بررسی وضعیت صنعت تولید سیمان کشور و چالش ها

در کشور ایران حدود 78 شرکت تولید کننده در حوزه سیمان و کلینکر با ظرفیت اسمی 88 میلیون تن وجود دارد که باعث شده ایران با تولید 60 میلیون تن در سال 2020 در رتبه هفتم دنیا قرار گیرد. همانطور که در جدول 7 ملاحظه می نمایید، در سال 2020 کشور چین با تولید 2200 میلیون تن معادل 53 درصد سیمان جهان را به خود اختصاص داده است. رتبه های بعدی متعلق به هند، ویتنام، آمریکا و اندونزی با تولید به ترتیب 340، 96، 90 و 73 میلیون تن می باشد. کشور ترکیه با ظرفیت تولید 90 میلیون تن و میزان تولید 66 میلیون تن در رتبه ششم قرار گرفته که به عنوان یک همسایه مرزی تهدیدی بر سر راه برخی بازارهای صادراتی کشور است.

جدول 7- میزان تولید سیمان در کشورهای مختلف جهان [11] و [12]

www.indexmundi.com	www.statista.com در سال 2020	
2210	2200	چین
270	340	هند
56	96	ویتنام
75	90	آمریکا
51	73	اندونزی

64	66	ترکیه
70	60	ایران
69	57	برزیل
62	56	روسیه
55	53	ژاپن
55	50	مصر
47	50	کره جنوبی

رکود در ساخت و ساز داخلی و کاهش بودجه های عمرانی و محدودیتهای صادراتی موجب شده تا از حداکثر ظرفیت تولید بخش سیمان استفاده نگردد. با بهره برداری از واحدهای جدید در سال 1401 ظرفیت تولید به 90 میلیون تن افزایش می یابد. بر اساس برنامه راهبردی توسعه سیمان، چشم انداز کسب جایگاه سوم جهان با تولید سالانه 120 میلیون تن و رتبه اول ظرفیت تولید در منطقه و صادرات جهانی با عرضه 32 میلیون تن سیمان به کشورهای منطقه در سال 1404 توسط وزارت صنعت، معدن و تجارت هدفگذاری شده است. سیاستگذاری نادرستی که وضعیت توسعه اقتصادی کشور، منطقه، ناوگان حمل و نقل و محدودیتهای تولید و عرضه انرژی نتوانست موجب تعدیل آن شود. کارخانه های سیمان جهت بازاریابی به شعاع 300 کیلومتر احداث شده اند و با توجه به هزینه گزاف حمل و نقل، حمل آن به بازارهای دوردست فاقد ارزش اقتصادی است بر این اساس قیمت گذاری آن بر اساس منطقه ای است. به طور کلی مصرف سیمان هر کشور رابطه مستقیم با رشد اقتصادی آن کشور دارد و در ایران عدم رشد متناسب با اهداف از پیش تعیین شده موجب گردید تا این صنعت با مازاد عرضه مواجه گردد. [7]

همانطور که در جدول 8 ملاحظه می نمایید حدود 97٪ سیمان تولیدی در کشور مصرف و مابقی صادر می گردد.

جدول 8: تولید، مصرف و صادرات سیمان در کشور طی سالهای 1397 تا 1399 [7]

1399	1398	1397	
69.9	66.2	61.9	تولید کلینکر
67.4	60.2	55.4	تولید سیمان
63.9	54.3	49	مصرف داخلی سیمان
5	5.6	5.7	صادرات سیمان
8.6	8.9	6.6	صادرات کلینکر

از جمله موارد مهم در صنعت سیمان با توجه به گزارش "نگاهی جامع به صنعت سیمان" می توان به نکات ذیل اشاره نمود: [7]

➤ مواد اولیه صنعت سیمان را سنگ آهک، سنگ گچ، سنگ سیلیس، سنگ آهن، سنگ آلوپوم، خاک مارل و ... تشکیل می دهد که تمامی این مواد اولیه در داخل کشور تهیه و تامین می شود.

➤ فرآیندهای اصلی تولید سیمان شامل موارد زیر می‌باشند:

- استخراج و خردایش سنگ آهک
- آماده‌سازی دیگر مواد خام
- نرم کردن مواد خام در آسیاب‌های مواد خام
- ذخیره‌سازی خوراک خام در سیلوهای ذخیره
- مخلوط کردن سنگ آهک پودر شده جهت کنترل درصد کربنات کلسیم
- پختن مواد خام جهت بدست آوردن کلینکر
- پودر کردن کلینکر همراه با گچ در آسیاب سیمان
- ذخیره‌سازی سیمان و حمل سیمان از کارخانه به نقاط مصرف

نکته مهم : بیشتر انرژی حرارتی تولید سیمان از بین تمام فرآیندهای مختلف تولید، در مرحله پختن مواد خام جهت بدست آوردن کلینکر مصرف می‌شود که این میزان حدود 100 متر مکعب گاز طبیعی به ازاء تولید هر تن کلینکر است.

➤ برای تولید هر تن سیمان بدون در نظر گرفتن فرآوری مواد اولیه و جابجایی به طور متوسط 105 متر مکعب گاز طبیعی و 110 کیلووات ساعت برق مصرف می‌گردد. و در نتیجه شدت مصرف انرژی این محصول جزو صنایع انرژی بر در جهان می‌باشد که همواره پتانسیل نگهداشت انرژی زیادی را داراست. پتانسیل نگهداشت انرژی از جمله عوامل موثر در فرایند توسعه اقتصادی به شمار می‌رود.

➤ هر ساله در زمستان متناسب با بروودت هوا گاز شرکتهای سیمانی قطع و مازوت جایگزین آن می‌گردد که صنایع سیمان را با مشکلات محیط زیستی مواجه می‌نماید. البته شرکتهای سیمانی از پیش، تولیدات کلینکر خود را افزایش و دپوی کافی کلینکر را در زمانی قطعی گاز در نظر می‌گیرند.

➤ هزینه سیمان در قیمت تمام شده ساخت بسیار ناچیز می‌باشد بطوریکه در سال 1399 هزینه سیمان جهت ساخت هر متر مربع آپارتمان شهری با اسکلت بتنی، 1.6٪ از هزینه ساخت بدون احتساب قیمت زمین را تشکیل می‌دهد و در خصوص اسکلت فلزی این نسبت 0.4٪ است.

➤ هزینه‌های تولید سیمان در یکی از شرکتهای مهم تولید سیمان در سال 1399 به شرح ذیل گزارش شده است که بیشترین هزینه مربوط به حقوق و دستمزد پرسنل و پس از آن پاکت مصرفی است:

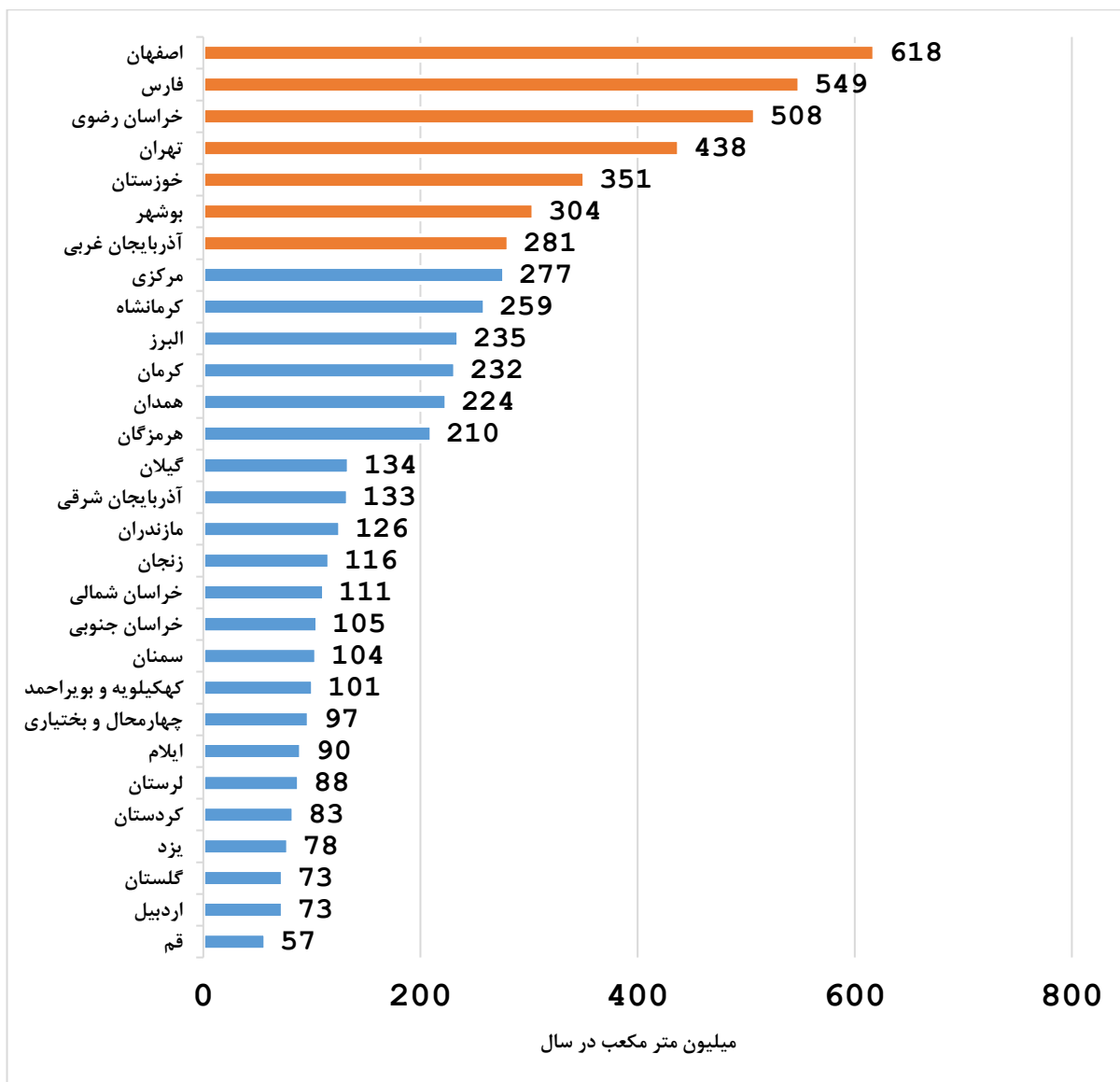
مواد مستقیم مصرفی (7٪)، دستمزد مستقیم و غیر مستقیم تولید (29٪)، استهلاک (3٪)، پاکت مصرفی (23٪)، گاز و مازوت مصرفی (10٪)، برق (7٪)، تعمیرات و لوازم یدکی (9٪)، آجر نسوز و مواد سایشی (8٪) و سایر هزینه‌ها (4٪)

➤ طی دهه گذشته عواملی چون نوسانات ارزی، قیمت گذاری دستوری، رقابت منفی، عدم توسعه اقتصادی، محدودیت از طرف همسایگان، وابستگی صادراتی شدید به کشور عراق، کاهش بودجه‌های عمرانی، افزایش بی رویه واحدهای تولیدی بدون برآورد کسب تقاضا، قطع گاز و برق و مشکلات محیط زیستی استفاده از سوخت مازوت .. از مهمترین چالشهای صنعت سیمان بوده است. چنانچه بطور نمونه هزینه حمل و نقل جاده ای و ریلی در سال 1399 حدود 60٪ نسبت به سال قبل افزایش یافت. از موارد افزایش هزینه، می‌توان به افزایش 100٪ قیمت ماشین آلات و 200٪ آجر نسوز و 250٪ پاکت سیمان نام برد.

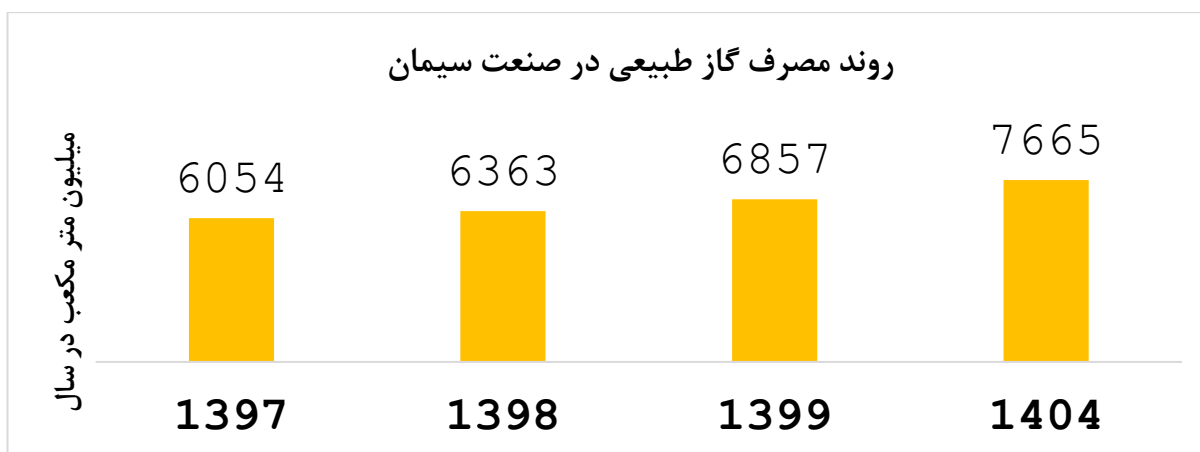
- از 44 شرکت سیمانی در بازار سرمایه، 33 شرکت پذیرفته شده در بورس، 2 شرکت فرابورس و 8 شرکت در بازار پایه و 1 شرکت صرفاً ثبت شده می باشد. ارزش بازار سرمایه با ظرفیت 55 میلیون تن سیمان، حدود 85000 میلیارد تومان می باشد.
- هزینه سرمایه گذاری یک واحد سیمان با ظرفیت اسمی سالانه 1 میلیون تن بسته به نوع تکنولوژی حدود 2800 تا 3600 میلیارد تومان می باشد
- پس از اطلاعیه بورس انرژی در سال 1395 مبنی بر امکان خرید برق مصرف کنندگان بالای 5 مگا وات از طریق قراردادهای دوجانبه، شرکتهای سیمانی همزمان با شرکتهای فولادی اقدام به اخذ کد و مذاکره با نیروگاه های خصوصی نمودند و تاکنون 59 کد خرید برق از بورس انرژی توسط شرکتهای سیمان اخذ شده است. البته مصرف برق صنایع فولادی (به دلیل استفاده از تکنولوژی قوس الکتریکی) چندین برابر بیشتر از شرکتهای سیمانی است. ارتباط صنعت سیمان با بورس انرژی تنها به موضوع خرید برق محدود نمی شود و در صورت راه اندازی کامل بازار انرژی و محیط زیست امکان مبادله اوراق گواهی صرفه جویی انرژی در بورس انرژی محیا می باشد.

3- مصرف انرژی در صنعت تولید سیمان و راهکارهای مدیریت مصرف انرژی

- در شکل 4 سهم استانهای مختلف از تخصیص گاز طبیعی جهت تولید سیمان را در سال 1397 ملاحظه می نمایید. بیش از 50٪ آن مربوط به استانهای اصفهان، فارس، خراسان رضوی، تهران، خوزستان، بوشهر و آذربایجان غربی می باشد و سهم استان اصفهان 10.2٪ از مصرف کل است.
- مطابق با اطلاعات شرکت ملی گاز رسانی میزان مصرف گاز طبیعی در صنعت سیمان مطابق با نمودار شکل 5 از 6054 میلیون متر مکعب در سال 1397 با متوسط 4.23٪ رشد سالیانه به 6857 میلیون متر مکعب در سال 1399 افزایش یافته است.
- در سند گاز طبیعی مصوب شورای عالی انرژی، سقف گاز قابل تخصص به واحدهای تولیدی سیمان حدود 21 میلیون متر مکعب در روز (معادل 7665 میلیون متر مکعب در سال) خواهد بود که مازاد گاز طبیعی مورد نیاز می بایست از محل اصلاح و بهینه سازی مصرف سوخت تامین گردد.

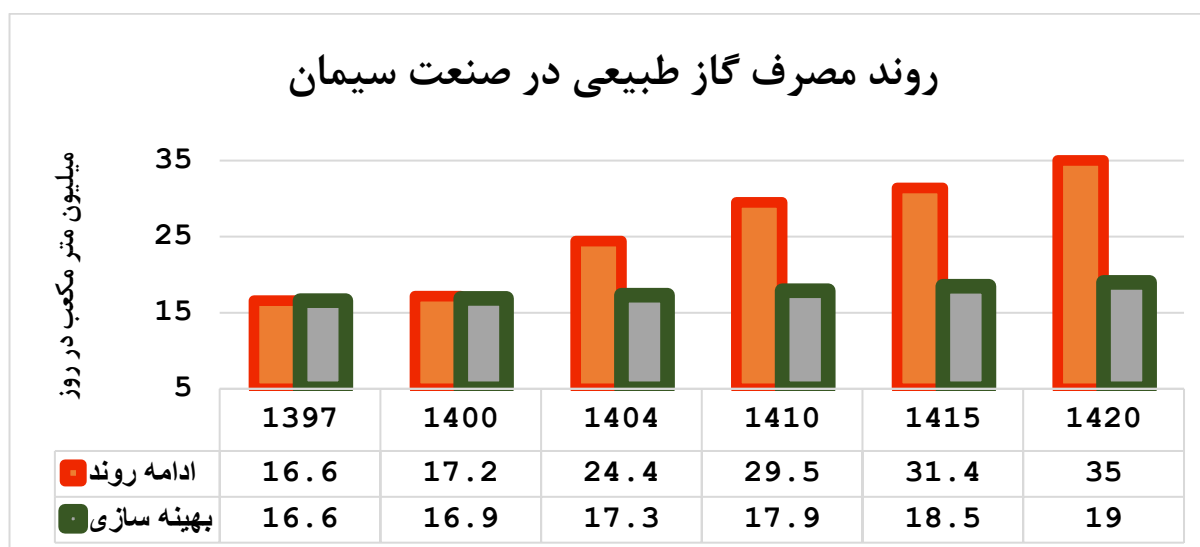


شکل 4 میزان تخصیص سالانه گاز طبیعی جهت تولید سیمان به استان های مختلف کشور [7]



شکل 5 روند مصرف گاز طبیعی در صنعت سیمان در سه سال گذشته و پیشبینی ادامه روند تا 1404 [5] و [6]

در شکل 6 روند افزایش مصرف گاز در چشم انداز 20 ساله طبق دوسناریو ادامه روند و بهینه سازی مطابق با سند گاز طبیعی کشور، نمایش داده شده است. ظرفیت بازار کاهش مصرف گاز طبیعی در صنعت سیمان بالغ بر 16 میلیون متر مکعب گاز طبیعی در روز برآورد شده است.

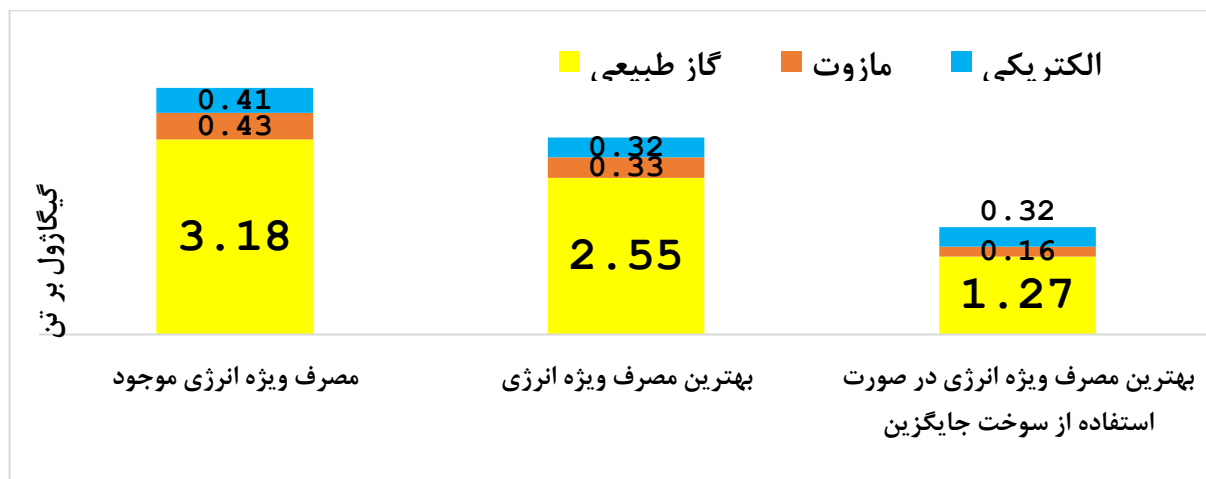


شکل 6 روند مصرف گاز طبیعی در صنعت سیمان طبق دو سناریو ادامه روند و بهینه سازی [5]

تا سال 1380 مصرف انرژی الکتریکی برای تولید هر تن سیمان 115 KWh و مصرف انرژی برای تولید هر کیلو کلینکر 1100 KCal بوده است. با فعالیت های صورت گرفته این مقادیر تا میانگین 100 KWh و 900 KCal کاهش یافته لیکن شرایط مطلوب مورد نظر حال حاضر، کاهش مصرف انرژی الکتریکی تا 90 KWh/tonCement و سوخت 720 Kcal/kgclinker است.

بر اساس استاندارد ملی صنعت سیمان، میانگین مصرف انرژی در واحدهای موجود KWh/tonCement 106 و 855 Kcal/kgclinker است. تقریباً تمام انرژی حرارتی تولید سیمان در مرحله پخت کلینکر مصرف می شود و این میزان حدود 100 مترمکعب گاز طبیعی به ازای تولید هر تن کلینکر است که البته بر اساس نوع تکنولوژی بکار رفته و شرایط کارکرد از 710 تا 1100 کیلو کالری به ازاء هر کیلو کلینکر تولیدی میباشد. علاوه بر کارایی انرژی واحدها، میزان تولید نسبت به ظرفیت واحدهای تولیدی یکی از عوامل تاثیرگذار در شدت مصرف انرژی است که رکود این صنعت و عدم استفاده از حداکثر ظرفیت تولید یکی از عوامل شدت مصرف بالای انرژی برخی واحدها نسبت به استاندارد و عدم سرمایه گذاری در مقوله انرژی است.

در شکل 7 شاخص مصرف ویژه صنعت سیمان مطابق با گزارشهای تدوین استاندارد معیار مصرف انرژی در کشور و مقایسه آن با بهترین نمونه مصرف انرژی و همچنین بهترین نمونه مصرف انرژی در صورت استفاده از سوخت جایگزین نمایش داده شده است که به خوبی پتانسیل نگهداشت بالای انرژی در این صنعت را نمایش می دهد.



شکل 7 شاخص مصرف ویژه صنعت سیمان و مقایسه آن با بهترین نمونه های مصرف انرژی [8] و [9]

بطور کل راهکارهای مهم در کاهش و مدیریت مصرف انرژی در صنعت سیمان عبارتند از:

1- استفاده از سوخت های مشتق شده از پسماند

استفاده از سوخت های مشتق شده از پسماند، یکی از راهکارهای مهم کاهش مصرف انرژی و جایگزینی سوخت های فسیلی در صنعت سیمان می باشد. کوره های پخت سیمان برای احتراق سوخت های مشتق شده از پسماند بسیار مناسب می باشند چراکه دمای فرآیند بسیار بالا بوده و مواد ورودی به کوره و محصول از عوامل تصفیه کننده گازها هستند. در اروپا بسیاری از کارخانه ها تا حدود 70 درصد از سوخت خود را با پسماند مناسب جایگزین کرده اند. این مقدار در برخی کارخانه ها به مقادیر بالاتری هم رسیده است. البته این میزان از جایگزینی مستلزم انجام فرآیندهای مقدماتی بر روی پسماند می باشد. برای مثال زباله های شهری قبل از مصرف بعنوان سوخت جایگزین می بایست طی فرآیندهای از لحاظ یکنواختی ارزش حرارتی و قابلیت مصرف پردازش شوند.

باید توجه داشت که احتراق پسماندها در کوره در دماهای مختلف و شرایط متفاوتی اتفاق می افتد. بنابراین ورود آنها به کوره باید بگونه ای باشد که پروفیل دمایی کوره و واکنش های شیمیایی آن، دستخوش تغییرات گسترده نشود. برخی اوقات ورود آنها از طرق یک دریچه یا ساختار شیر مانند از منطقه پیش گرمکن انجام می شود که خود ملاحظاتی را طلب می کند و حتی ممکن است راندمان مطلوب را کاهش دهد. بالاخره پذیرش و رسیدگی به پسماندها در کارخانه سیمان مستلزم برخی ملاحظات قانونی و حتی سیاسی می باشد.

مزایای مهم استفاده از پسماندهای مختلف RDF بعنوان سوخت جایگزین به شرح ذیل می باشد:

(1) کاهش قابل ملاحظه مصرف انرژی در صنعت سیمان با جایگزینی زباله بجای بخشی از انرژی حرارتی

مصرفی در کوره های پخت کلینکر

(2) از بین رفتن و جلوگیری از نشر عناصر خطرناک پسماندهای سوخته شده

(3) مدیریت پسماند و مرتفع شدن هزینه بالای ایجاد سایت های دفن زباله (شهری، صنعتی و کشاورزی) و

هدر رفتن منابع و کاهش آلودگی های زیستی

شایان ذکر است هزینه تولید هر تن RDF، حدود 200 هزار تومان (با فرض ارزش حرارتی متوسط Kcal/Kg

3500) می باشد، مقدار RDF متناظر با یک متر مکعب گاز طبیعی در حدود 460 تومان خواهد بود. هدف

گذاری مطلوب در کشور حداقل 40 هزار و حداکثر 120 هزار تن RDF برای تولید 1 میلیون تن سیمان در سال می باشد. سرمایه لازم برای احداث یک واحد تولید RDF به ظرفیت تولید 300 تن در روز و ایجاد زیرساخت‌های لازم در کارخانه تولید سیمان، در حدود 8 میلیون دلار برآورد می‌شود.

2- اصلاح سیستم خنک‌کنندگی کولر

بخش قابل توجهی از انرژی حرارتی فرآیند تولید سیمان در قسمت انتهای کوره پخت سیمان به همراه کلینکر داغ تولیدی خارج می‌شود. از طرفی کلینکر تولیدی پس از گذر از مرحله پخت با دمایی بیش از 1100 درجه بمنظور ادامه فرآیند تولید سیمان سرد میشود. بدین منظور با استفاده از سیستمی به نام کولر ضمن خنک سازی کلینکر هوای مورد نظر برای احتراق در مشعل کوره پیشگرم می شود.

در بخش ورودی کلینکر (بخش اصلاح سیستم گریت کولر با نام KIDS) خنک سازی هرچه بیشتر و سریعتر با استفاده از توزیع یکنواخت کلینکر خروجی و بهبود شرایط خنک‌سازی از کوره انجام می‌شود. در این قسمت به شدت تنشهای حرارتی و مکانیکی کاهش می‌یابد و هوادهی کلینکر به صورت کامل انجام شده و با حرکت راحت‌تر کلینکر، دمای آن تا میزان زیادی کاهش می‌یابد.

3- ارتقاء راندمان سیستم انتقال مواد

در فرآیند تولید سیمان بمنظور انتقال خوراک کوره به روش های مختلف مکانیکی و پنوماتیکی بکار گرفته می شود. بطور کلی 4 روش موجود در کشور عبارتند از: 1- پمپ مارپیچی 2- ایرلیفت 3- پمپ تراکمی 4- الواتور کاسه ای

علیرغم هزینه سرمایه گذاری بالاتر سیستم الواتور در مقایسه با سایر روش ها لیکن بدلیل مصرف انرژی بسیار پایینتر این روش از اولویت بالاتری بمنظور استفاده در صنایع سیمان کشور را دارد. برآورد می شود حدود 40 واحد تولیدی امکان تجهیز به سیستم را دارند. در این فرآیند علاوه بر کاهش مصرف انرژی الکتریکی، مصرف سوخت نیز بدلیل کاهش چشمگیر ورود هوای سرد به قسمت پیشگرم کن کوره، کاهش می یابد. در این روش کاهش مصرف انرژی حرارتی و الکتریکی تا 5 کیلووات ساعت به ازاء تولید هر تن کلینکر برآورد می شود.

4- سیستم بازیافت حرارت اتلافی (WHR)

در صنایع سیمان، گاز حاصل از پخت کلینکر که از آخرین طبقه پیش گرم کن به طرف کولینگ تاور و الکترو فیلتر هدایت می شود، به همراه گاز گرم خروجی از کولر، پتانسیل مهمی جهت بازیافت و تولید انرژی الکتریکی می باشند. تقریباً حدود 40 درصد انرژی ورودی از طریق گازهای گرم خروجی از پیش گرم کن و خنک کن، در طی فرآیند تولید سیمان هدر می رود.

مزایای سیستم بازیافت حرارت اتلافی در کارخانه سیمان

- درآمد قابل توجه حاصل از فروش برق به شبکه برق کشوری
- کاهش قابل توجه مصرف آب با حذف برج خنک کننده
- درآمدهای حاصل از مکانیزم توسعه پاک (CDM)
- بهره مندی از مزایای سازمان های حمایت از محیط زیست داخل کشور

5- تکنولوژی غنی سازی اکسیژن

غنی‌سازی اکسیژن، پروسه تزریق اکسیژن مستقیماً به محفظه احتراق برای افزایش راندمان، کاهش حجم گاز خروجی و کاهش Nox می‌گردد. به طور کلی استفاده از هوای احتراق غنی شده با اکسیژن، مصرف سوخت را کاهش و ظرفیت تولید را افزایش می‌دهد و می‌تواند امکان جایگزین کردن سوخت‌های فسیلی با ارزش حرارتی پایین و یا دیگر سوخت‌های جایگزین را بالا ببرد. هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بین 6/75 تا 13/5 میلیون دلار برای واحدهایی با ظرفیت تولید 2 میلیون تن در سال می‌باشد. با این روش مصرف انرژی حرارتی بین 100 تا 200 مگاژول بر تن کلینکر کاهش می‌یابد و مصرف انرژی الکتریکی بین 10 تا 35 کیلووات ساعت بر تن کلینکر به دلیل تولید اکسیژن افزایش می‌یابد.

6- تولید سیمان آمیخته

دلیل اصلی تولید سیمانهای آمیخته صرفه جویی در قیمت و کاهش کلینکر مصرفی و در نهایت مصرف انرژی و آلودگی محیط زیستی کمتر می‌باشد که با تغییر در مواد اولیه و مخلوط نمودن آنها حاصل می‌گردد. مشابه با سایر فرآیندهای تولید صنعتی، سایر راهکارهای کاهش مصرف انرژی شامل استقرار سیستم مدیریت انرژی، کنترل فرآیند و اجرای کامل دستورالعملهای مدیریت انرژی، بهینه سازی سیستم هوای فشرده، درایورهای دور متغیر، استفاده از موتورهای راندمان بالا، درایور سرعت متغیر برای فن کوره، کاهش تلفات حرارتی بدنه کوره، جایگزینی و بهبود عایق کاری، بهبود و ارتقاء سیستم احتراق و سایر اقدامات متداول کاهش مصرف سوخت می‌باشد.

5- نتیجه گیری

مهم‌ترین عامل پایین بودن بهره‌وری انرژی در ایران، مداخله قیمتی در بازار انرژی و پایین نگه داشتن قیمت حامل‌های انرژی است. افزایش بهره‌وری در اقتصاد مستلزم اصلاح ساختارها و سیاست‌ها در جهت کاهش انحصارات، افزایش شفافیت و رقابت در اقتصاد، کاهش دخالت‌های قیمتی، اجتناب از حمایت‌های غیرهدفمند و بازنگری جدی در سیاست‌های حمایتی دولت، خصوصی‌سازی واقعی بنگاه‌های دولتی و کاهش تصدیگری دولت است.

با توجه به سند تولید و عرضه گاز طبیعی مصوب شورای عالی انرژی و محدودیتهای تخصیص گاز طبیعی به منظور توسعه صنایع از جمله صنایع انرژی بر ارتقاء کارایی انرژی ضرورتی غیر قابل اجتناب است و مهمترین محرک ارتقاء کارایی انرژی در صنعت سیمان راه اندازی هر چه سریعتر بازار انرژی و محیط زیست و جمعیت قوانین و تدقیق آئین نامه ها و اتخاذ روشهای قیمت گذاری مشخص و شفاف انرژی می‌باشد.

مراجع:

[1] جداول آماری کارگاه‌های صنعتی بالای 10 نفر کارکن سال 1397 کل کشور، طرح سرشماری مرکز آمار

[2] طرح سرشماری انرژی کارگاه‌های صنعتی بالای 50 نفر کارکن سال 1396 کل کشور، مرکز آمار

[3] ترازنامه انرژی وزارت نیرو در سال 1397

[4] استعلامی از شرکت ملی گاز رسانی در سال 1399

[5] سند تراز تولید و مصرف گاز طبیعی، مصوب شورای عالی انرژی سال 1399

[6] ترازنامه هیدروکربوری وزارت نفت در سال 1397

[7] گزارش "نگاهی جامع به صنعت سیمان"، سال 1400، <http://www.sena.ir>

[8] گزارشهای تدوین استاندارد معیار مصرف انرژی در کشور در صنعت سیمان، شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

[9] گزارشهای تحلیلی مصرف انرژی در صنعت سیمان، علی آزادمهر، شرکت بهینه سازی مصرف سوخت، 1399

[10] گزارشات آژانس بین المللی انرژی IEA

[11] www.statista.com

[12] www.indexmundi.com