

تاریخچه صنعت سیمان در ایران و جهان

تهیه و تنظیم:

گروه تحقیق ماهنامه فن آوری سیمان

مهندس حسین چهرگانی

۱- تعریف سیمان

کلمه سیمان به هر نوع ماده چسبنده اطلاق می‌شود که قابلیت به هم چسباندن و یکپارچه کردن قطعات معدنی را دارا می‌باشد. سیمان گردی است نرم، جاذب آب، چسباننده خرده سنگ، که اساساً مرکب از ترکیبات پخته و گداخته شده اکسیدهای کلسیم، سیلیسیم، آلومینیوم و آهن می‌باشد. ملات این گرد قادر است به مرور در مجاورت هوا یا در زیر آب سخت شود و در زیر آب، در ضمن داشتن ثبات حجم، مقاومت خود را حفظ نموده و در فاصله ۲۸ روز در زیر آب ماندن دارای حداقل مقاومت 250 kg/cm^2 گردد. [۱ و ۲]

سیمان‌ها بطور کلی موادی هستند که قابلیت مستحکم شدن و چسباندن سنگدانه به یکدیگر و به وجود آوردن جسم یک پارچه را دارند. این تعریف دارای چنان جامعیتی است که می‌تواند شامل انواع چسب‌ها از جمله چسب‌های مایع در چسباندن قطعات سنگ با سنگ یا سنگ با فلزات به یکدیگر به کار می‌روند، نیز شود. منظور از سیمان در شاخه مهندسی و مطالب مورد مطالعه، آن دسته از سیمان‌هایی است که دارای ریشه آهن-کلسیم می‌باشند. بر این اساس سیمان ترکیبی است از اکسید کلسیم (آهک) با سایر اکسیدها نظیر اکسید سیلیسیم، اکسید آلومینیوم، اکسید آهن، اکسید منیزیم و اکسیدهای قلیایی که میل ترکیبی زیادی با آب داشته و در مجاورت هوا و حتی در زیر آب نیز به مرور زمان سفت شده و دارای مقاوت خاصی می‌شود.

سیمان ساختمانی از گروه «سیمان‌های هیدرولیک» یا سیمان‌هایی است که در نتیجه ترکیب با آب سخت می‌شوند و محصول حاصله در مقابل آب مقاوم است. سیمان پرتلند، سیمان آلومینایی و سیمان روباره از انواع گوناگون سیمان‌های هیدرولیک هستند. علی‌رغم ترکیب گچ با آب و سخت شدن آن، به دلیل آنکه محصول حاصله قابلیت دوام طولانی مدت در آب را ندارد و به مرور زمان حل می‌شود، لذا گچ جزو گروه سیمان‌های هیدرولیک محسوب نمی‌گردد. آهک سخت شده در مقابل آب مقاوم است، ولی از آنجائی که سخت شدن آن در اثر جذب گاز انیدرید کربنیک است و نه آب، لذا از گروه سیمان‌های هیدرولیک جدا می‌شود. مواد خام اصلی مصرفی برای ساخت سیمان‌های هیدرولیک عبارتند از: آهک، سیلیس، آلومینا و اکسید آهن.

سیمان پرتلند، ماده‌ای است که از اختلاط و آسیاب نمودن کلینکر، سنگ گچ یا سنگ آنیدریت و مواد افزودنی مطابق استاندارد تولید می‌گردد. اگر میزان مواد افزودنی از مقدار ذکر شده بیشتر گردد، محصول تولیدی سیمان مخلوط خواهد بود. مواد اولیه معدنی مورد استفاده در تولید سیمان پرتلند عبارتند از سنگ آهک، رس و مواد اصلاحی.

سیمان آلومینایی نیز نوعی از سیمان است که ضمن داشتن خواص هیدرولیکی، از اجزاء اولیه سنگ آهک و بوکسیت ایجاد شده و مخلوط خام دارای درصدهای بالای اکسیدهای کلسیم، آلومینیوم، سیلیسیم، آهن و مقادیر جزئی اکسیدهای منیزیم و ... می‌باشد. سیمان جزء اساسی و جدایی‌ناپذیر بتن است و بتن بعنوان یک ماده و مصالح ساختمانی با مفهوم ملات و سنگ مصنوعی دارای قدمت زیادی است. اغلب مواد باقیمانده از آتشفشان‌ها - خاکستر آتشفشان - دارای خاصیت سیمانی هستند.

هم‌اکنون تولید جهانی سیمان بیش از یک میلیارد تن است و پیش‌بینی می‌شود تولید جهانی به سه میلیارد تن برسد. از نظر وزنی تولید سیمان دارای بالاترین رقم در یک تن مواد اولیه معدنی میان کالاهای صنعتی جهان است. به طور متوسط برای تولید هر تن سیمان ۷ ماده نظیر سنگ آهک، خاک رس، سنگ گچ، سنگ آهن، مارل و سیلیس لازم است.

۲- ریشه کلمه سیمان

در روم قدیم مخلوطی از خرده سنگ و آهک پخته درست می‌کردند که از ترکیب این مخلوط با آب، بتن حاصل می‌شد و از آن برای امور ساختمانی استفاده می‌گردید. این نوع ساختمان‌ها را Opus Caementitium می‌نامیدند. به مرور کلمه Cemetum به مخلوط‌های مورد استفاده در این نوع ساختمان سازی اطلاق گردید. منظور از Cemetum، نوع خاصی خرده سنگ بود که هنگامی پودر آن‌ها با آهک مخلوط می‌شد، مخلوطه حاصله دارای خاصیت هیدرولیکی بیشتری می‌گردید و به مرور در مجاورت هوا و در زیر آب سخت شده

و دارای مقاومت و سختی قابل توجهی می‌شد. این خرده سنگ‌ها از باقیمانده‌های آتشفشان یعنی خاکستر آتشفشان بودند و یا اینکه از خرد کردن خرده آجرهای تولید شده در کوره آجرپزی که در واقع همان خاک رس پخته است، بدست می‌آمدند. [۲]

۳- تاریخچه پیدایش سیمان

انسان از دیرباز سیمان را می‌شناخته و با گذشت زمان بر نقش و اهمیت آن وقوف و آگاهی بیشتر یافته و هر روز کوشیده است بناها و ساخته‌های خود را مستحکم‌تر از گذشته احداث نماید. انسان‌های اواخر عصر حجر که از طریق شکار کردن و جمع‌آوری مواد غذایی ارتزاق می‌نمودند و در پی غذا در ناحیه وسیعی در حرکت بودند، در پناهگاه‌های موقت زندگی می‌کردند. وقوع انقلاب کشاورزی که به حدود ۱۰۰۰۰ سال پیش از میلاد مسیح باز می‌گردد، انگیزه‌ای برای سکونت دائمی و ایجاد ساختمان و خانه برای انسان بود. انسان دیگر به دنبال شکار یا گله‌های خود، از جایی به جای دیگر نمی‌رفت، بلکه برای مراقبت از مزارع خود در یک محل می‌ماند. در خاورمیانه آثار و بقایای دهکده‌های کاملی با محل سکونت مدوری بنام تولوی^۱ یافت شده که دیوارهای آن از گل رس متراکم ساخته شده است. تولوی گام بسیار مهمی در جستجوی دوام ساختمان به حساب می‌آید. در واقع ایجاد آنها آغاز فرآیند ساختمان‌سازی است. شناخت انسان از خواص خاک رس و سنگ آهک نقطه عطف مهمی است در تاریخچه «سیمان» و تاریخ «ساختمان و خانه‌سازی». از این رو ساختن ملات‌هایی که دارای خاصیت سخت شدن و فشارپذیری بود، مورد توجه قرار گرفت و از ترکیبات خاک رس و سنگ آهک و مواد دیگر جهت ساختارهای مهم نظیر پل‌ها، تأسیسات بندری و ساختمان‌های بزرگ استفاده گردید.

در میان آشوری‌ها و بابلی‌های دوران کهن، ماده چسبنده بکار رفته اغلب خاک رس بوده است. مصری‌ها با استفاده از آهک و سنگ گچ ماده‌ای تولید کرده بودند که شباهت بسیاری با بتن فعلی داشت. در روم باستان برای ساختن بناها و ساختمان‌ها از سنگ، سفال، ملات و چوب استفاده می‌کردند. آن‌ها از خاک رس، آجر و کاشی و خشت می‌ساختند و سپس آن‌ها را در کوره می‌پختند. ملاتی که در اتصال سنگ‌ها و سفال‌ها از آن استفاده می‌شد، مخلوطی بوده از ماسه، آهک و آب و در ساختمان قسمت‌هایی که در زیر آب قرار می‌گرفت، ماده‌ای سیلیسی بنام «پوزولانا» اضافه می‌کردند که ملات را سخت و در مقابل آب مقاوم می‌ساخت.

خاکستر آتشفشانی که از معدنی در نزدیکی شهر «پوزولانا» (ایتالیای کنونی) استخراج می‌شد، سرشار از سیلیکات آلومینیوم بود و سیمان مشهور «پوزولانا» مربوط به دوران روم باستان نیز از این نام برگرفته شده است. امروزه اصطلاح پوزولانا یا پوزولان یا به خود سیمان اشاره دارد و یا به هر ماده نرم حاوی سیلیکات آلومینیومی اطلاق می‌شود که در مجاورت آب با آهک واکنش نشان داده و تشکیل سیمان می‌دهد. بهترین سیمان بدست آمده از دوران گذشته، ساخته دست رومیان است. کشفیات باستان‌شناسی و پژوهش‌های انجام گرفته بر روی آثار و بقایای ساختمان‌های عصر باستان و آثار مورخین چنین نشان می‌دهد که رومیان نخستین کسانی بودند که با چگونگی و ارزش کاربرد سیمان به مفهوم گیرش و سخت شدن آگاهی پیدا کرده‌اند. از ۲۶۰۰ سال پیش از میلاد مسیح تا اواسط قرن هجدهم علاوه بر گل رس و گچ، چسبنده دیگری بنام آهک پخته بطور مصنوعی تهیه می‌شد که از پختن سنگ آهک حاصل می‌گردید و به آهک زنده (CaO) موسوم بود و از طریق پاشیدن آب، آن را به آهک شکفته تبدیل می‌نمودند که متعاقباً تبدیل به گرد آهک می‌گردید. رومی‌ها با استفاده از این مواد بناهایی ساخته‌اند که بسیاری از آن‌ها هنوز پابرجاست. از جمله این بناها معبد پانتئون در رم است که در سال ۱۲۰ میلادی ساخته شده است و دارای بدنه استوانه‌ای به قطر ۴۳ متر و سقف گنبدی شکل است.

^۱- Tholoi

^۲- Pozzolana



معبد پانتئون در رم که با استفاده از ملات سیمان طبیعی ساخته شده و هنوز پابرجاست.

ملات آهکی که در سطور بالا بدان اشاره شد، منحصراً جهت ساختن دیوارهای آجری معابد و نظایر آن بکار می رفت، ولی در ساختمان کانال‌های آب کاربردی نداشت، زیرا از کیفیت سخت شونده در زیر آب بی بهره بود. در نتیجه نمی توانست پاسخگوی نیازهای ساختمانی آبی و دریایی از قبیل پل، سد، اسکله و نظایر آن باشد.

قرن ها سپری شد تا رومیان به کشف بزرگی نائل آمدند و ماده ای را که پوزولان (Puzzolan) نامیده می شد به گرد آهک شکفته افزودند و با آب، ملاتی ساختند که پس از گیرش توانست در هوا و در زیر آب به حالت سخت باقی بماند. بعد از این کشف بزرگ، به مزایای مخلوط آهک پخته و خاک رس پی برده شد، که اولین گام برای ساختن سیمان به شمار می رود.

در آن عصر محصولی را که از اختلاط پوزولان و آهک پخته به دست آمد، سیمان (CAEMENTE) نامیدند. که از واژه یونانی CAEDER مشتق شده (به معنی بریدن، قطع کردن و شکسته شدن) و به سنگ های شکسته (خرده سنگ) اطلاق می گردید. اصطلاح CAEMENTE تا اواسط قرن هجدهم برای آن دسته از مواردی به کار برده می شد که به صورت مخلوط با جسم مورد نظر، سبب ازدیاد سختی آن جسم می گردیدند.

سیمان به مفهوم امروزی برای نخستین بار بوسیله پارکر^۳ انگلیسی در سال ۱۷۹۶ بکار گرفته شد. واژه سیمان در زبان های آلمانی، انگلیسی و فرانسه به کلیه موادی که خاصیت چسبندگی داشته باشند - به غیر از ترکیبات قیر و آسفالت که در ساختمان ها و راه ها مورد استفاده قرار می گیرد- اطلاق می شود.

تهیه سیمان به طرق علمی جدید از قرن هجدهم آغاز شد. در سال ۱۷۵۶ «جان اسمیتون^۴» که در فاصله سال های ۱۷۹۲-۱۷۲۴ می زیست، موفق به کشف بزرگ و ارزنده ای گردید. وی در این سال ماموریت یافت که «فانوس دریایی ادیستون^۵» را که در دریای مانس و در ساحل کورتوال انگلستان^۵ قرار داشت، دوباره بازسازی کند. اسمیتون نیاز به ملاتی داشت که در مقابل آب مقاوم و پایدار بماند. اسمیتون در ساختن ملات های آزمایشی خود، چند نوع آهک مختلف را آزمود و از هر یک نمونه هایی ساخت. سرانجام با کوشش و آزمایش های فراوان از طریق پختن سنگ آهک (Glamorgan) برای اولین بار کیفیت ویژه ملات آهک آبی را کشف نمود و در این رهگذر با پدیده بسیار ارزنده ای مواجه شد. از تجزیه این سنگ آهک مشخص شد که حاوی مقداری خاک رس است. وی در آزمایش های خود موفق شد که از ترکیب سنگ آهک ناخالص و خاک رس و پختن آن دو، ماده‌ای شبیه به سنگ های «پرتلند» به وجود آورد. البته با پختن مخلوط های گوناگون سنگ آهک و خاک رس طی سال های بعد تجربیات بیشتری در این زمینه بدست آمد.

^۳ - PARKER

^۴ - John Smaetone

^۵ - Eddystone Leuchtturm



جان اسمیتون

اما از این کشف بزرگ استقبال چندانی به عمل نیامد تا اینکه در سال ۱۷۷۶ یک فرد انگلیسی بنام جیمز پارکر^۷ از پختن سنگ های مارل لندن^۸ محصولی به دست آورد که آن را سیمان رومی^۹ نام نهاد. این سیمان در همان سال در انگلستان به ثبت رسید. در فاصله سال های ۱۸۱۹-۱۸۱۵ دو دانشمند بزرگ یکی بنام ویکات^{۱۰} (۱۷۸۶-۱۸۶۱) و دیگری آلمانی بنام J.F. John (۱۷۸۲-۱۸۴۷) هر یک به طور جداگانه از تحقیقات و بررسی خود به این نتیجه رسیدند که از پختن مخلوط سنگ آهک و خاک رس به میزان ۲۵ الی ۳۰ درصد، مناسب ترین محصول هیدرولیکی حاصل خواهد گشت.

نتیجه کارهای ویکات هرچند که موفقیت آمیز بود، اما در فرانسه با استقبال مواجه نشد. تا اینکه در سال ۱۸۲۴ «ژوزف آسپدین»^{۱۱} معمار انگلیسی اهل لیدز مخلوطی مصنوعی از سنگ آهک و خاک رس تهیه و آن را به روش «تر» آسیاب نمود تا اینکه به صورتی دوغاب^{۱۲} در آید و خوب هموژن گردد. سپس این مخلوط در کوره آهک پزی در درجه حرارت پایین یعنی نرسیده به درجه حرارت ذوب^{۱۳} گرما داده شد. فرآورده به دست آمده را به علت شباهت فراوان به سنگ زرد رنگی بنام سنگ پرتلند^{۱۴} که در جزیره پرتلند انگلستان استخراج می گشت، سیمان پرتلند نام نهاد. این محصول شباهت زیادی به سنگ های آهکی مستخرج از معدن جزیره «پرتلند» در انگلستان داشت، از این رو به «سیمان پرتلند» معروف گردید و وجه تسمیه سیمان های پرتلند امروزی نیز از این جا آغاز می شود. وی در ۲۱ اکتبر ۱۸۲۴ سیمان اختراعی خود را به ثبت رساند.



ژوزف آسپدین در حال تهیه مواد خام سیمان در کنار پلاک یادبود جرج چهارم به وی

7- James Parker

8- Londoner Septarienton

9- Romancement

10- Vicat

11- J. W. Aspdin

12- Slurry

13- Sinter temperatur

14- Portland stone

در سال ۱۸۴۳ میلادی ویلیام آسپدین با ادامه کار پدرش، در کارخانه جدیدالتأسیس خود شروع به تولید سیمان پرتلند مذکور نمود و به هنگام ساختن پارلمان انگلستان متوجه گشت که این سیمان به مراتب مرغوب تر از «سیمان رومی» است. بررسی های بعدی روشن نمود که عامل اصلی این مرغوبیت بدان سبب است که مخلوط سیمان پرتلند تا نقطه عرق کردن یا زینترینگ^{۱۵} حرارت دیده است. اولین بنای ساخته شده با این نوع سیمان، بنای پارلمان انگلستان است که در فواصل سال های ۱۸۵۲ - ۱۸۴۰ احداث گردیده است. وی در ابتدا برای تولید سیمان از کوره های گنبدی شکل با ارتفاع تقریبی ۹۵ و قطر ۴۰ سانتیمتر استفاده می نمود که هر بار بارگیری کوره چندین روز به طول می کشید. سوخت مصرفی این کوره ها زغال سنگ و تا حدود ۵۰ درصد وزنی مواد را شامل می شد.



ویلیام آسپدین



نمای بیرونی از ساختمان پارلمان انگلیس، اولین بنای ساخته شده از سیمان



کوره های مورد استفاده توسط ویلیام آسپدین در کارخانه روبین-آسپدین در انگلستان که طی سال های 1847 الی 1850 بهره برداری گردید. این عکس قدیمی ترین کوره تولید سیمان رانشان می دهد.

سیمان از جمله مصالح ساختمانی دنیای مدرن است که عمری حدود ۲۵۰ سال دارد و اولین بنای ساخته شده با آن پارلمان انگلیس می باشد که در سال ۱۸۵۲ ساخته شده است. سال های ۱۸۴۰ تا اواخر قرن هجدهم روال تهیه مصالح ساختمانی از نوع بتن، که در آن ها ماده چسبنده سیمانی وجود داشته باشد، چندان تغییر اصولی نکرده بود. از اواخر قرن هجدهم یک سری مطالعات علمی برای کشف خواص سیمانی برخی مصالح صورت گرفت که در نهایت در طی زمانی حدود ۷۰ سال، منجر به ساخت آن چیزی که امروز به نام سیمان پرتلند می نامیم، شد. برای اولین بار در تاریخ تولید صنعتی سیمان، در سال ۱۸۷۷ اولین موسسه استاندارد سیمان توسط تولید کنندگان سیمان در آلمان به وجود آمد. در آلمان سیمان پرتلند با علامت اختصاری DIN 1164 برای نخستین بار در سال ۱۸۷۸ استاندارد گردید. پس از آن در سال ۱۹۰۴ کمیته مهندسی استانداردها در انگلستان تأسیس شد و در همین سال بود که اولین مشخصه نامه های استاندارد آمریکا برای سیمان تدوین گردید. به استناد تاریخ استاندارد شدن برخی آزمایشها برای سیمان در آلمان، می توان گفت که سیمان اولین محصول صنعتی است که دارای استاندارد شده است.

تولید سیمان پرتلند به سرعت در سرتاسر کشورهای اروپایی و آمریکای شمالی گسترش یافت. در حال حاضر نیز سیمان پرتلند عمده ترین سیمان تولیدی در جهان است و موارد مصرف عام تری دارد. بعدها «دکتر بوگ» رئیس موسسه تحقیقات استاندارد سیمان آمریکا که به «پدر سیمان» معروف است، ترکیبات اصلی سیمان را شرح داد که مورد تأیید صاحبان صلاحیت نیز قرار گرفت. از آن پس در کشورهای پیشرفته تحقیق و پژوهش پیرامون ساخت انواع جدیدی از سیمان و بالا بردن کیفیت محصولات و رشد و توسعه تکنولوژی تولید سیمان همچنان ادامه داشته است. امروزه سیمان از نظر وزن بزرگترین محصول صنعتی بشری محسوب می شود.

دانشمندان به نامی چون میکائلیس^{۱۶} (۱۹۱۱-۱۸۴۰)، لوشاتلیه^{۱۷} (۱۹۳۶-۱۸۵۰)، هانس کوهل^{۱۸} (۱۹۶۹-۱۸۷۹) و دیگران به دنیای ناشناخته ای گام نهادند و به پژوهش علمی در زمینه شیمی سیمان پرداختند. دانشمند آلمانی بنام لاگن^{۱۹} در سال ۱۸۶۲ به خاصیت هیدرولیکی نهفته^{۲۰} روباره های ذوب آهن پی برد که بالاخره در سال ۱۹۰۱ سیمان پرتلند روباره آهن دار و سپس در سال ۱۹۰۸ سیمان روباره ای سولفات دار را که در آن سولفات ها نقش فعال کننده روباره را به عهده دارند، کشف نمود. سیمان آلومینیومی یا سیمان آلومین بالا که به سیمان آلومین ذوب شده موسوم است، در سال ۱۹۰۸ به وسیله شیمیدان فرانسوی ژول بید^{۲۱} کشف و برای اولین بار در جریان جنگ بین الملل اول (۱۹۱۸-۱۹۱۴) در فرانسه تولید گردید.

¹⁶- W. MICHAELIS

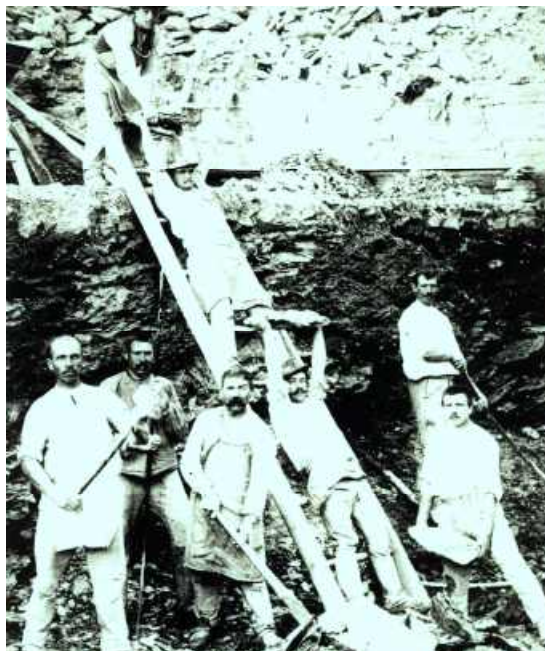
¹⁷- LECHATelier

¹⁸- HANS KUEHL

¹⁹- ELAGEN

²⁰- LATENT HYDRAULIC

²¹- JULES BIED



استخراج مواد اولیه تولید سیمان از معادن که توسط دست صورت می گرفت

۴- روند تکاملی تکنولوژی پخت سیمان

پس از بکارگیری کوره‌های گنبدی شکل، در سال ۱۸۵۵ اولین کوره قائم سیمان به صورت غیر مداوم (طرح بطری شکل) با سوخت چوب یا زغال سنگ استفاده گردید که مواد و سوخت به صورت لایه لایه وارد کوره شده و احتراق از سمت پائین صورت می گرفت. عمل احتراق و زینتر شدن به کاهش حجم مواد منجر شده و ضمن ایجاد فضای خالی در بالا، امکان شارژ مجدد را فراهم می نمود. کلینکر پخته شده معمولاً به جداره می چسبید که در هنگام تخلیه، جدا می شد. این نوع کوره ها داری ظرفیت ۱/۵ تا ۳/۵ تن در هفته بودند.

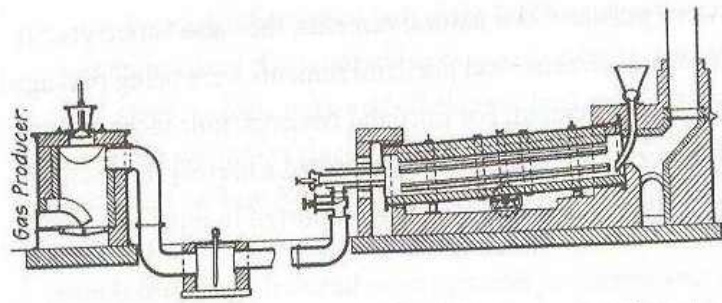
بعدها مواد اولیه ورودی به صورت قالب گیری شده وارد کوره می شد. در سیستم های تر، مواد دوغابی را مدتی در داخل حوضچه های مخصوصی برای سفت شدن نگهداری می کردند و در برخی از واحدها، خشت های مرطوب به وسیله گازهای خروجی کوره، خشک می شد.

اولین قدم برای کوره های مداوم در سال ۱۸۶۴ با بکارگیری کوره های استوانه ای برداشته شد که دارای سه قسمت تونل پخت، بخش خروج گازهای احتراق و دودکش بودند. تونل پخت ساختمانی استوانه ای شکل با سقف ضربی داشت که با دیواره هایی به تعدادی اتاقک تفکیک می گردید. هر اتاقک دارای دریچه تغذیه و تخلیه مواد بود و در هنگام حرارت دادن تمام این اتاقکها (به جز یکی دو مورد) کاملاً آب بندی می شد. در تونل پخت گازهای داغ احتراق از اتاقکی به اتاقک دیگر منتقل می گردید. سوخت (مخلوط زغال سنگ و کک) از نقاط ویژه ای وارد کوره می شد. زمان پخت ۱۸ تا ۲۰ ساعت برای هر اتاقک بود و یک کوره بزرگ می توانست ۲۰ تا ۲۵ هزار تن سیمان در سال تولید نماید.

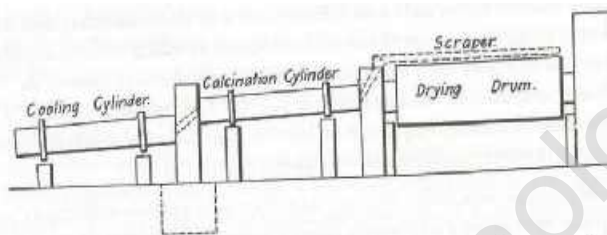
در سال ۱۸۸۳ کوره های چند طبقه مداوم Dietzsch طراحی و عرضه شد. در این کوره محفظه احتراق در پائین به وسیله یک کوره افقی، از محفظه پیش گرمکن در بالا جدا شده بود. ظرفیت چنین کوره هایی که معمولاً به صورت دوقلو کار می کردند حدود ۲۰ تا ۳۵ تن در روز بود. اصلاحات مستمری بر روی این کوره ها صورت گرفت تا اینکه از سال ۱۹۱۰ با مجهز کردن آنها به تجهیزاتی مانند سینی توزیع برای مواد ورودی و سیستم گریت چرخان برای تخلیه کلینکر، هزینه راهبری بسیار کاهش یافت و ظرفیت کوره ها به ۱۰۰ تن در روز افزایش پیدا کرد.

تاریخچه کوره های دوار به سال ۱۸۷۷ برمی گردد. کوره دوار برای نخستین بار در سال ۱۸۸۵ بوسیله فردریک رانسوم^{۲۲} اهل انگلستان وارد تکنولوژی پخت سیمان گردید. این کوره گازسوز به قطر ۰/۴۵ متر و طول ۴/۵ متر ابتدا در انگلستان و سپس در آمریکا به ثبت رسید. این کوره ها که تکامل بعدی آنها نقطه عطفی در صنعت سیمان ایجاد کرد، بعداً بوسیله مهندسين

آمریکایی کامل‌تر شد و اولین طرح موفق صنعتی آن در سال ۱۸۹۷ توسط هاری و سیمن از شرکت سیمان اطلس در آمریکا به بهره برداری رسید. این کوره به ظرفیت ۵۰ تا ۱۰۰ تن در روز و دارای قطر ۱/۸ و طول ۱۸/۳۰ متر بود.



کوره دوار رانسوم در سال 1885، سیستم تولید گاز را در سمت چپ ببینید



کوره دوار استوکس در سال 1888؛ مجهز به خشک کن استوانه ای و اسکرابر در سمت راست و خنک کن کلینکر در سمت چپ

در آلمان سیمان پرتلند برای نخستین بار در سال ۱۸۵۰ بر اساس روشی که در انگلستان متداول بود در شهر بوکستود^{۲۳} تولید گردید. پایه‌گذار تولید سیمان پرتلند در آلمان شخصی بنام بیت‌ترو^{۲۴} (۱۸۲۴-۱۸۸۱) می‌باشد که دو کارخانه سیمان یکی در تولکاو^{۲۵} (۱۸۵۵) در نزدیکی شهر استتین^{۲۶} و دیگری در اوبرکاسل^{۲۷} (۱۸۵۸) در نزدیکی بن تأسیس نمود. اولین کوره دوار در آلمان در سال ۱۸۹۷ به‌وسیله فورل^{۲۸} در لولار^{۲۹} واقع در حومه گیسسن^{۳۰} ساخته شد. این کوره بر اساس اختراع رانسوم به طول ۱۶ متر و به قطر ۲ متر و با ظرفیت روزانه ۳۰ تن راه‌اندازی شد. بخش اعظم کوره‌های ساخته شده در فاصله زمانی سال‌های ۱۹۰۵ تا ۱۹۱۰ از کوره‌های دوار بوده، هرچند کوره‌های قائم نیز همچنان در صحنه رقابت حضور داشت. در پایان قرن نوزدهم کوره دوار با روش تر وارد تکنولوژی پخت سیمان شد. در این روش ابتدا مواد اولیه در حوضچه یا حوضچه‌هایی به حالت دوغاب در می‌آیند تا از یکنواختی بالایی برخوردار گردند. پیشگامان سیستم تر کمپانی‌های پلی‌زیوس^{۳۱}، کروپ، میاگ، فلندر و سیگلر از آلمان و کمپانی اف‌ال‌اسمیت^{۳۲} از دانمارک می‌باشند. در کوره‌های دوار تر سعی بر افزایش طول کوره بود تا استفاده از تجهیزات داخلی، امکان افزایش تبادل حرارتی بین گازهای داغ و مواد افزایش یابد. هرچند در این کوره‌ها افزایش قطر کوره در مناطق پخت و کلسیناسیون، منجر به افزایش ظرفیت گردید، اما به علت بالا رفتن هزینه تجهیزات اضافی، بعداً این روند کنار گذاشته شد. همچنین برای کاهش فضای مورد نیاز در خنک‌کن‌های کلینکر، سعی گردید تا به صورت دوار یا سیاره‌ای و در امتداد یا موازی محور کوره تعبیه شوند.

²³- BUXTEHUDE

²⁴- BEEIBTREU

²⁵- TUELCHOW

²⁶- STETTIN

²⁷- OBERKASSEL

²⁸- V. FORELL

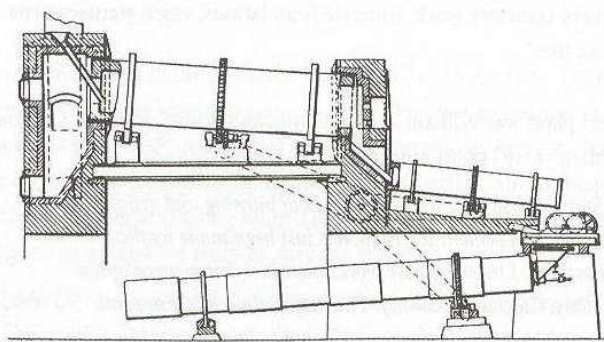
²⁹- LOLLAR

³⁰- GIESSEN

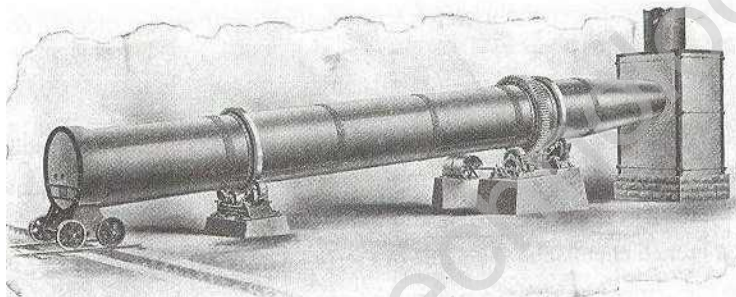
³¹- POLYSIUS, KRUPP, MIAG, FELLNDER & ZIEGLER

³²- F.L.SMIDTH

از سال ۱۹۱۰ به بعد بمنظور کاهش مشکلات ناشی از مصرف خوراک خشک، روند بکارگیری دوغاب با دانسیته بالا به عنوان خوراک کوره گسترش یافت. این نوع سیستم به علت سایش آسان تر مواد اولیه، یکنواختی بالا، کاهش هزینه ناشی از حذف سیستم های غبارگیری و خشک کن، مدتها به عنوان بهترین فرآیند تولید سیمان مطرح بود.



کوره دوار هاری و سیمان در سال ۱۸۹۵ که مجهز به یک خنک کن اولیه کلینکر و خردکن کلینکر غلتکی و خنک کن ثانویه کلینکر پس از آن می باشد.



کوره آلیس چالمر در سال ۱۹۰۴

گام بعدی در سال ۱۹۲۹ به وقوع پیوست و آن ابداع سیستم (LELLEP³³ - POLYSIUS LEPPOL) می باشد که در آمریکا به ACL³⁴ معروف گردید. این کشف پیشرفت عمده دیگری در تکنولوژی سیمان به شمار می آید. زیرا سیستم مذکور مجهز به پیش گرمکن های مشبک (گریت) بوده و از امتیازات خاص این سیستم محسوب می گردد. زیرا که از نقطه نظر اقتصادی و مصرف سوخت نسبت به سیستم های دیگر از مزیت های بیشتری برخوردار بود. در این سیستم مواد تغذیه شده به پیش گرمکن، قبلاً در یک استوانه (بشقابی شکل) به کمک افزودن آب به صورت گلوله های تا ۱۲ درصد رطوبت درمی آمد. با بکارگیری گازهای خروجی از کوره در پیش گرمکن گریت، مصرف انرژی حرارتی کل سیستم به حدود ۱۰۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم کلینکر رسید. با این حال بکارگیری این سیستم تا سال ۱۹۳۵ به تعویق افتاد. این کوره ها معروف به لپول (مخفف نام مخترع اتو لیلیپ³⁵ و کمپانی سازنده پلی زیوس) می باشد.

در طول جنگ جهانی دوم با بکارگیری فن های قوی و گریت های تخلیه کلینکر با طراحی بهتر، ظرفیت کوره های قائم تا بیش از دو برابر افزایش یافت. در این مقطع ظرفیت این نوع کوره ها ۱۲۰ تا ۲۲۰ تن در روز بوده است. پس از جنگ جهانی دوم تحولات جدیدتری همچون اختراع گریت کولر تحت عنوان کولر سریع و سیستم های دانه بندی کننده مواد خام صورت پذیرفت.

در سال ۱۹۳۴ طرحی توسط ووگل ژورگنسن³⁶ از کارکنان شرکت اف ال اسمیت دانمارک ارائه شد و آن امکان پیش گرم نمودن مواد ورودی به کوره بدون نیاز به مرطوب کردن آن بود. این طرح تحت عنوان «پیش گرمکن معلق در هوا» مطرح شد و برای تبادل موثر بین مواد و گازهای خروجی کوره از انواع تجهیزات مانند سیکلون، لوله های بالابرنده و محفظه های پیچشی

³³- LELLEP نام مخترع سیستم یاد شده در پیش می باشد.

³⁴- ALLIS-CHALMER-LELEPP

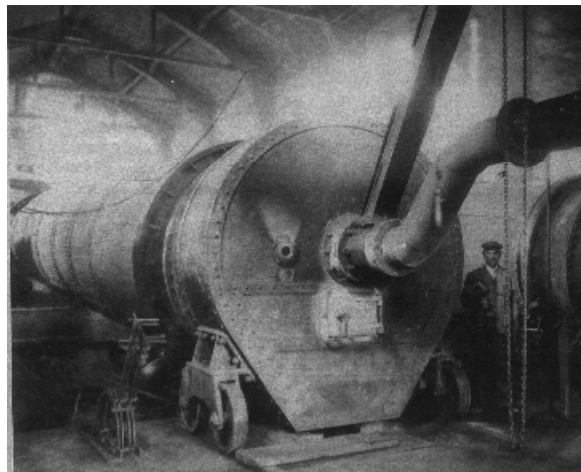
³⁵- Otto Lellep

³⁶- M. Vogel Jorgensen

مواد به صورت تنها یا ترکیبی استفاده شد. سال‌ها بعد (۱۹۵۳) برای اولین بار از جانب شرکت کلونکر- هامبولت- دویتس (KHD)^{۳۷} کوره مجهز به پیش‌گرمکن‌های سیکلونی وارد صنعت سیمان شد که امروزه در جهان تکنولوژی سیمان متداولترین سیستم خشک به شمار می‌آید. در سال ۱۹۵۷، ۷ درصد سیمان تولیدی آلمان با این روش، ۴۱ درصد با پیش‌گرمکن گریت، ۲۶ درصد با کوره‌های قائم و ۱۷ درصد با کوره‌های دوار تر، ۹ درصد نیز انواع مجهز به مبدل‌های تبادل حرارتی با گازهای خروجی یا پیش‌گرمکن‌های کلسیناتوری صورت می‌گرفت. ایده اخیر توسط فریتز مولر^{۳۸} از شرکت KHD منجر به طراحی کوره مجهز به پیش‌گرمکن سیکلونی چهار مرحله‌ای گردید. در سال‌های اخیر برای بالابردن تناژ کوره یک نوع پیش‌گرمکن کمکی یا پیش‌گرمکن ثانویه (کلساینر) را ابداع نموده‌اند. به طوری که بخش قابل توجهی از خوراک کوره قبل از ورود به کوره تکلیس شده و بدین ترتیب سبب بالا رفتن تناژ کوره می‌گردند.

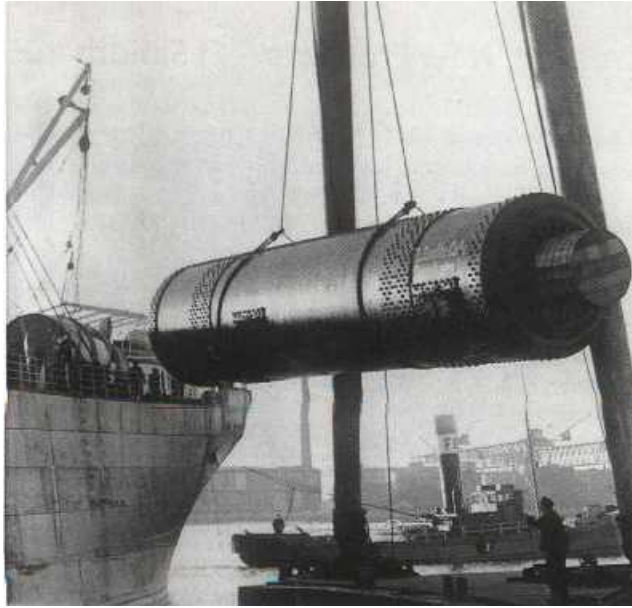


کوره ساخته شده توسط KHD

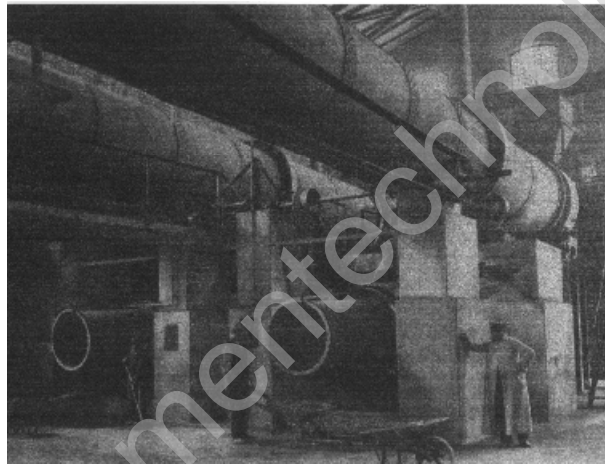


³⁷- KLOCKNER-HUMBOLDT-DEUTZ

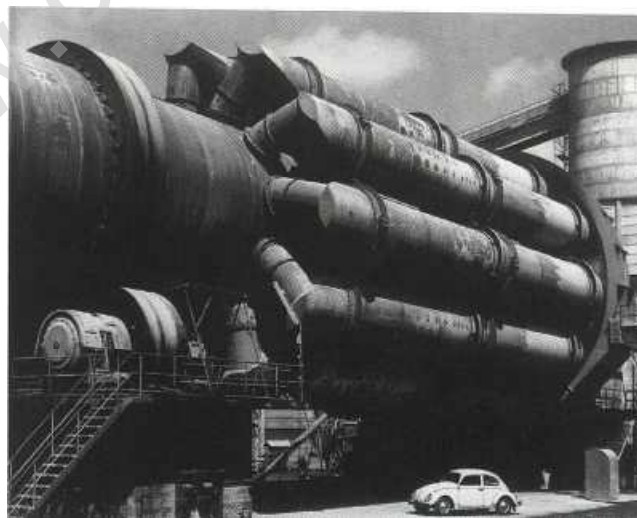
³⁸- Fritz Muller



بارگیری آسیاب گلوله‌ای



کوره های دوار اولیه



کوره مجهز به خنک کن ساتلایت ساخت KHD در آلمان

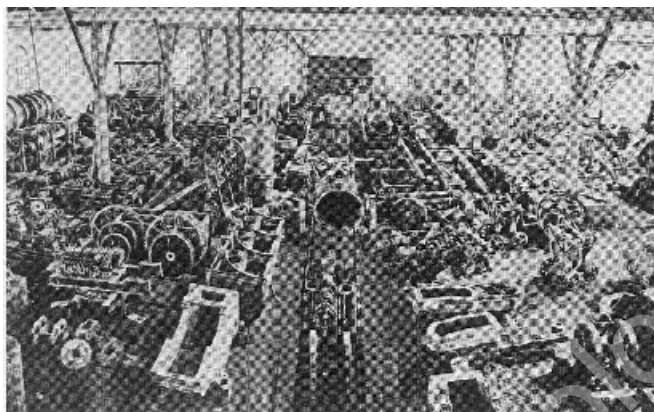
۴- خلاصه‌ای از تاریخچه سیمان و بتن

- ▶ ۱۲ میلیون سال قبل از میلاد مسیح: اختلاط میان سنگ آهک و مایع موجود در سنگهای کناری دیواره های مناطق نفت خیز که باعث پدید آمدن بتن امروزی شده است. (آثار تاریخی ساخته شده توسط فینیقی‌ها با آهک آبی در حوالی فلسطین اشغالی کنونی)
- ▶ ۵۶۰۰ سال قبل از میلاد مسیح: ساخت اولین بنای بتنی.
- ▶ ۳۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح: مصری‌های باستان جهت ساخت اهرام از اختلاط سنگ های آهکی و گچی با آب به صورت بلوکهای منظم استفاده کرده اند.
- ▶ ۸۰۰ سال قبل از میلاد مسیح: استفاده از ملات‌های ساختمانی در یونان باستان.
- ▶ ۳۰۰ سال قبل از میلاد مسیح: استفاده بابلیان و آشوریان از مخلوط مواد معدنی به صورت سنگ و آجر.
- ▶ ۴۷۶ سال قبل از میلاد مسیح: استفاده از جسمی شبیه خاک که تیره تر از خاک معمولی بوده و مقدار زیادی در پوزولی واقع در نزدیکی خلیج ناپل یافت شده بود که در بناهایی از قبیل Coliseum در رم، Basilica of Constantine در رم، Pantheon در رم و همچنین Pont dv Gard در جنوب فرانسه استفاده گردیده است که هم اکنون نیز این بناها پابرجا و استوار می باشند.
- ▶ سال ۵۴۰ میلادی: استفاده از بناهای بتنی جهت طاق سقف‌ها و گنبد در موزه ها، ساختمان‌های مجلل و همچنین استفاده از سقف‌های بتنی جهت جدا کردن طبقات از یکدیگر.
- ▶ سال ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ میلادی: استفاده از آهک پخته و پوزولان در بناهای قدیمی و همچنین ایجاد انگیزه و علاقه در مردم به استفاده بهتر از این نوع مصالح به جهت استحکام بخشیدن به بناها و سازه ها.
- ▶ سال ۱۷۵۶ میلادی: کشف سیمان توسط آقای جیمز اسمیتون به روش جدید در انگلستان و ساخت فانوس دریایی ادیستون.
- ▶ سال ۱۷۷۹ میلادی: کشف خواص هیدرولیکی سیمان.
- ▶ سال ۱۷۸۰ میلادی: انتشار کتاب اکتشافات و مشاهدات ملات‌های ساختمانی گرفته شده از سیمان.
- ▶ سال ۱۷۹۶ میلادی: ثبت خواص هیدرولیکی سیمان توسط جیمز پارکر
- ▶ سال ۱۸۰۰ میلادی: ساخت لنگرگاهی عظیم از بتن در انگلیس توسط William Jessop
- ▶ سال ۱۸۰۲ میلادی: استفاده از سیمان معمولی در فرانسه.
- ▶ سال ۱۸۱۰ میلادی: استفاده از سیمان مقاوم و تحقیق درباره خواص هیدرولیکی سیمان در فرانسه.
- ▶ سال ۱۸۱۶ میلادی: تهیه مواد اولیه تولید سیمان از سنگ آهک و خاک رس توسط ویکات.
- ▶ سال ۱۸۲۴ میلادی: بدست آوردن سیمان پرتلند توسط ژوزف آسپیدن در انگلستان.
- ▶ سال ۱۸۲۵ میلادی: ساخت اولین کانال مدرن بتنی در آمریکا و همچنین ساخت تعدادی سازه در نیویورک.
- ▶ سال ۱۸۲۸ میلادی: اولین استفاده ترمیمی از سیمان پرتلند جهت تقویت و ترمیم تونل Thames آمریکا.
- ▶ سال ۱۸۳۰ میلادی: تولید اولین نوع آهک و سیمان در کانادا و ساخت دیوارهای بتنی در آمریکا.
- ▶ سال ۱۸۳۶ میلادی: اولین آزمایش سیستماتیک جهت تست مقاومت کششی و فشاری سیمان در آلمان.
- ▶ سال ۱۸۴۳ میلادی: تولید سیمان در درجه حرارت بالا تا حد گداخته شدن توسط ویلیام آسپیدن.
- ▶ سال ۱۸۴۳ میلادی: ثبت تولید سیمان پرتلند توسط شرکت J.M.Mouder & Son
- ▶ سال ۱۸۸۴ میلادی: تولید کلینکر بدون آهک آزاد توسط ایساک چارلز جانسون در انگلستان.
- ▶ سال ۱۸۴۹ میلادی: ساخت اولین آزمایشگاه شیمی دقیق جهت تست سیمان پرتلند در آلمان.
- ▶ سال ۱۸۵۰ میلادی: بدست آوردن اولین بتن مسلح و آزمایش‌های دقیق بر روی آن در فرانسه.
- ▶ سال ۱۸۵۴ میلادی: ساخت اولین میکسر بتن در فرانسه.
- ▶ سال ۱۸۵۵ میلادی: تولید صنعتی سیمان در آلمان.
- ▶ سال ۱۸۶۰ میلادی: ترکیبات جدید سیمان گرفته شده از سیمان پرتلند.
- ▶ سال ۱۸۶۱ میلادی: تهیه روباره دانه بندی شده و ساخت سیمان روباره ای.
- ▶ سال ۱۸۶۴ میلادی: ابداع کوره هوفمن در آلمان.
- ▶ سال ۱۸۶۷ میلادی: ساخت و تست انواع سیلندرهای بتنی عمودی به صورت بتن مسلح با سیم‌های فلزی توسط Joseph Monier از فرانسه و William Wands از آمریکا.
- ▶ سال ۱۸۶۸ میلادی: حمل اولین محموله ثبت شده سیمان به آمریکا.
- ▶ سال ۱۸۶۸ میلادی: ساخت بلوک‌های سیمانی مستحکم در آمریکا.
- ▶ سال ۱۸۶۹ میلادی: استفاده از مخلوط سوخت و مواد در تهیه خوراک کوره در آلمان.

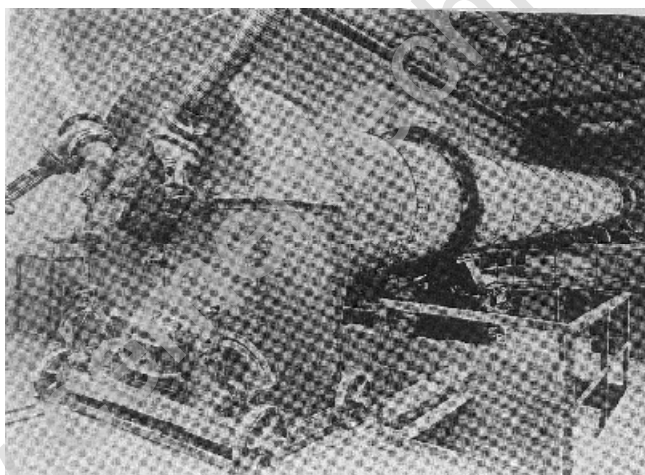
- ◀ سال ۱۸۷۲ میلادی: احداث کوره با سیستم بازیابی حرارت گازهای خروجی برای خشک کردن خشت های خام.
- ◀ سال ۱۸۷۷ میلادی: تأسیس انجمن تولید کنندگان سیمان آلمان.
- ◀ سال ۱۸۷۸ میلادی: تدوین اولین استاندارد سیمان در آلمان.
- ◀ سال ۱۸۷۹ میلادی: ساخت جاده حمل و نقل باری از سیمان پرتلند با بهترین کیفیت در اسکاتلند.
- ◀ سال ۱۸۸۳ میلادی: احداث اولین کارخانه سیمان در ژاپن توسط شرکت سیمان نیهون.
- ◀ سال ۱۸۸۳ میلادی: ساخت اولین کوره عمودی دو مرحله ای توسط دویتچ در آلمان.
- ◀ سال ۱۸۸۵ میلادی: ثبت اختراع کوره دوار توسط فریدریک رنسون.
- ◀ سال ۱۸۸۶ میلادی: طراحی و تست ابتدائی کوره دوار سیمان جهت جایگزینی کوره های عمودی.
- ◀ سال ۱۸۸۹ میلادی: ساخت اولین پل سیمانی در آمریکا.
- ◀ سال ۱۸۹۰ میلادی: طرح جایگزینی کوره دوار به جای کوره عمودی و همچنین آسیاب های گلوله ای افقی جهت سایش بهتر سیمان.
- ◀ سال ۱۸۹۸ میلادی: اعلام ۹۱ فرمول مختلف جهت ساخت انواع سیمان.
- ◀ سال ۱۸۹۹ میلادی: بهره برداری از اولین کوره دوار توسط شرکت سیمان اطلس در آمریکا.
- ◀ سال ۱۹۰۰ میلادی: استاندارد شدن آزمون های مقدماتی سیمان معمولی.
- ◀ سال ۱۹۰۲ میلادی: ساخت اولین ساختمان بلند بتنی در فرانسه.
- ◀ سال ۱۹۰۳ میلادی: راه اندازی آزمایشی کوره دوار طراحی شده به وسیله توماس ادیسون.
- ◀ سال ۱۹۰۳ میلادی: ساخت اولین آسمانخراش بتنی در سین سیناتی آمریکا (Ohio).
- ◀ سال ۱۹۰۸ میلادی: ساخت خانه بتنی توسط توماس ادیسون در نیوجرسی آمریکا.
- ◀ سال ۱۹۰۹ میلادی: ثبت طرح کوره دوار سیمان توسط توماس ادیسون.
- ◀ سال ۱۹۱۱ میلادی: ساخت پل بتنی ۳۲۸ فوتی در رم.
- ◀ سال ۱۹۱۲ میلادی: استفاده از کوره های عمودی مجهز به بلوور و دستگاه تغذیه خوراک و تخلیه کلینکر اتوماتیک در یوگسلاوی.
- ◀ سال ۱۹۱۴ میلادی: اتمام اجرای کانال پاناما توسط سازه های بتن مسلح به ضخامت ۲۰ فوت.
- ◀ سال ۱۹۱۵ میلادی: ساخت اتاق تست بتنی اتومبیل در شرکت فیات در تورین ایتالیا.
- ◀ سال ۱۹۱۶ میلادی: تأسیس انجمن سیمان پرتلند در شیکاگو آمریکا.
- ◀ سال ۱۹۱۷ میلادی: تأسیس اداره استاندارد تست سیمان پرتلند در آمریکا.
- ◀ سال ۱۹۲۳ میلادی: تأسیس شرکت های تولید سنگفرش های بتنی خیابانی در آمریکا.
- ◀ سال ۱۹۲۷ میلادی: ساخت اولین تراک میکسر افقی بتن در سیاتل آمریکا.
- ◀ سال ۱۹۲۸ میلادی: ابداع کوره با پیش گرمکن مشبک و عرضه آن توسط شرکت پلی زیوس آلمان بنام کوره لپول.
- ◀ سال ۱۹۳۰ میلادی: ساخت تراک میکسرهای افقی و عمودی بتن به شکل ماشین آلات امروزی در آمریکا.
- ◀ سال ۱۹۳۳ میلادی: اتمام سازه های بتنی زندان آلکاتراس.
- ◀ سال ۱۹۳۳ میلادی: راه اندازی اولین کارخانه سیمان ایران در شهر ری به ظرفیت ۱۰۰ تن در روز با کوره دوار.
- ◀ سال ۱۹۳۴ میلادی: ثبت اختراع پیش گرمکن سیکلونی توسط یوردنسن در چکوسلواکی.
- ◀ سال ۱۹۳۶ میلادی: ساخت اولین سد بتنی در آمریکا.
- ◀ سال ۱۹۳۷ میلادی: راه اندازی اولین خنک کن مشبک در شرکت سیمان والی فورج آمریکا توسط شرکت فولر.
- ◀ سال ۱۹۴۸ میلادی: اجرای سطح بتنی فرودگاه های آمریکا (بتن مسلح)
- ◀ سال ۱۹۵۱ میلادی: راه اندازی اولین کوره مجهز به پیش گرمکن سیکلونی توسط شرکت هامبولت آلمان.
- ◀ سال ۱۹۵۱ میلادی: در این سال آمار ۱۷۰۰ بچینگ پلانت سیمان در ۱۳۰۰ شهر آمریکا می باشد.
- ◀ سال ۱۹۵۳ میلادی: بهره برداری از کوره عمودی سیمان مشهد در ایران.
- ◀ سال ۱۹۵۶ میلادی: تأییدیه مبنی بر تأسیس اتوبان های آمریکا از سازه های بتنی.
- ◀ سال ۱۹۶۷ میلادی: ساخت اولین استادیوم بتنی در آمریکا.
- ◀ سال ۱۹۶۹ میلادی: بهره برداری از اولین کوره با پیش گرمکن سیکلونی در سیمان دورود.
- ◀ سال ۱۹۶۹ میلادی: راه اندازی کوره ۲۰ تنی مجهز به دستگاه تکلیس توسط کمپانی KHD آلمان.
- ◀ سال ۱۹۷۱ میلادی: بهره برداری از اولین کوره مجهز به پری کلساینر در کارخانه چی چی بو ژاپن.
- ◀ سال ۱۹۷۳ میلادی: ساخت سالن اپرای سیدنی در استرالیا.
- ◀ سال ۱۹۷۵ میلادی: برج CN در تورنتو کانادا.
- ◀ سال ۱۹۷۸ میلادی: آغاز بهره برداری آزمایشی از اولین کوره مجهز به پری کلساینر در کارخانه سیمان بهبهان به ظرفیت ۲۷۵۰ تن در روز.

- ◀ سال ۱۹۸۵ میلادی: استفاده پی در پی از سیمان پوزولانی در سازه های مختلف آمریکا.
- ◀ سال ۱۹۹۲ میلادی: بلندترین سازه مسلح بتنی در جهان در شیکاگو آمریکا.
- ◀ سال ۱۹۹۳ میلادی: ساخت موزه JFK در بوستون آمریکا، ساخته شده از شیشه و بتن.
- ◀ سال ۲۰۰۶ میلادی: بهره برداری از اولین کوره دارای دو پایه در سیمان تهران.

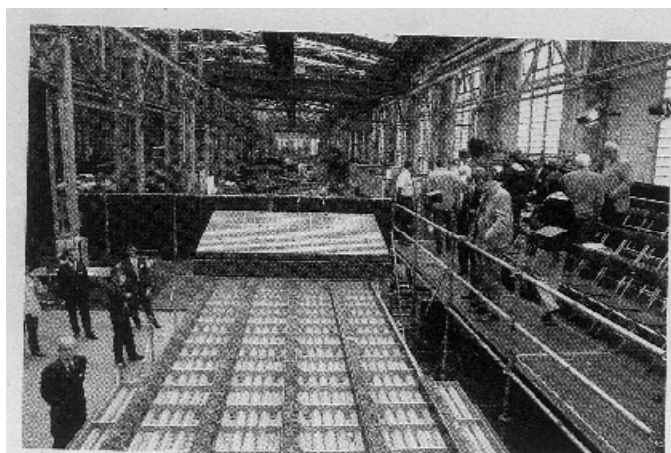
و تا امروز که می توان گفت، سیمان نقش اول را در ساخت و ساز انواع سازه های بزرگ و کوچک، از خود به نمایش می گذارد.



کارخانه ساخت تجهیزات صنعت سیمان هامبولت آلمان



اولین کوره دوار ساخت شرکت هامبولت برای صنعت سیمان در سال 1906



نمایش خنک کن کلینکر Pyrofloor در ژوئن 2005

۵- تاریخچه صنعت سیمان در ایران

ایرانیان از پیشینه کهنی در شناخت و تهیه مصالح ساختمانی برخوردارند. بناهای به یادگار مانده از پیشینیان ما در نقاط مختلف کشور از دوران- های گذشته، ابعاد این امر را مشخص می‌سازد. آهک و ساروج از جمله موادی است که در ایران قدیم به وفور به کار گرفته شده است. بناهایی همچون فانوس‌های دریایی خلیج فارس یا سدها و تأسیسات بندری مجاور آب که از ترکیب آهک و مواد رسی می‌باشند، از این قبیل می‌باشد. استاد احمد حامی در کتاب مصالح ساختمانی شرح جالبی در این خصوص بیان نموده است که نشان‌دهنده پیشینه تاریخی قابل ملاحظه‌ای برای اینگونه مواد ساختمانی از جمله ساروج در ایران است.

زمان شروع مصرف سیمان در ایران به صورت کنونی کاملاً مشخص نیست، لیکن ورود سیمان به ایران، توسط خارجی‌ان صورت گرفت که از آن برای ساخت بناهایی نظیر کلیسا، سفارتخانه و تأسیسات بندری استفاده شده است.

مصالح ساختمانی قدیمی برای ساخت زیربناهای اقتصادی با روش مدرن امروری کارایی و استقامت لازم را نداشتند، بنابراین نیاز به مصالح ساختمانی جدید اجتناب‌ناپذیر گردید که یکی از مهم‌ترین مصالح ساختمانی برای ساخت این بناها، سیمان بود. اجرای پروژه‌های جدید از قبیل خطوط و ساختمان راه‌آهن دولتی، پل‌ها، و تونل‌ها و سایر ابنیه نیاز مبرم به مقدار زیادی سیمان داشت، بنابراین دولت اقدام به واردات سیمان نمود و هر ساله بر حجم واردات اضافه می‌گردید به طوری که در سال ۱۳۱۴ ایران چهارمین کشور واردکننده سیمان در جهان به شمار می‌رفت.

کشور ایران از لحاظ جغرافیایی در منطقه‌ای واقع شده که سلسله کوه‌های آهکی آن را احاطه نموده است، در نتیجه مواد اولیه برای تولید سیمان در داخل کشور به وفور یافت می‌شود. بنابراین دولت تصمیم به ساخت کارخانه سیمان در ایران گرفت. در سال ۱۳۰۷ مطالعات و بررسی‌های لازم برای ایجاد اولین کارخانه سیمان و همچنین برآورد ذخایر مواد اولیه مورد نیاز این پروژه آغاز شد و در سال ۱۳۰۹ قراردادی با شرکت دانمارکی افال اسمیت جهت ایجاد این کارخانه موسوم به سیمان ری با ظرفیت تولید ۱۰۰ تن سیمان در روز و با سرمایه دولتی معادل ۱۳۳۸۰۰ لیره انگلیس برای تأمین ماشین‌آلات و ۶۶۹۰۰ لیره انگلیس جهت تأمین تجهیزات نیروگاه برق مورد نیاز آن منعقد شد. سرمایه این کارخانه توسط دولت و از محل عایدات قند و شکر تأمین گردید و بهای آن به صورت خشکبار و سایر فراورده‌های کشاورزی به دانمارک پرداخت شد. بهای تمام شده این کارخانه ۱۵ میلیون ریال بود.

پس از خرید ماشین‌آلات، کارهای ساختمانی آن از شهریور ۱۳۱۱ توسط شرکت تنس آلمان شروع گردید و در ۸ دی ماه ۱۳۱۲ اولین کوره سیمان ایران با ظرفیت ۱۰۰ تن در روز در هفت کیلومتری جنوب تهران نزدیک به کوه‌های بی بی شهربانو و کوه سرسره در شرکت سیمان ری به بهره‌برداری رسید. مدیریت این پروژه را مهندس علی قلی خان بر عهده داشت.

به دلیل تقاضای بالا برای سیمان و همچنین کافی نبودن میزان تولید کارخانه فوق جهت رفع نیازهای داخلی، واحد دوم سیمان ری با ظرفیت ۲۰۰ تن در روز در سال ۱۳۱۴ از شرکت پلی‌زیوس آلمان خریداری شد. کار ساختمان و نصب این خط در سال ۱۳۱۵ آغاز و در ۱۳۱۶ به مرحله تولید رسید. جهت ساخت این کارخانه معادل ۱۸ میلیون ریال هزینه گردید.

استقبال مردم از سیمان، دولت را برآن داشت تا در سال ۱۳۱۷ سومین خط تولید با ظرفیت ۳۰۰ تن در روز را به پلی‌زیوس آلمان سفارش دهد. کار ساختمانی این واحد در سال ۱۳۱۸ آغاز شد و حدود ۷۵ درصد از آن تا سال ۱۳۲۰ اجرا گردید. بخشی از ماشین‌آلات نیز حمل شده بود، ولی با وقوع جنگ جهانی دوم، کشتی حاوی بخش عمده ماشین‌آلات در کانال سوئز توسط نیروهای متفقین توقیف و مصادره گردید. ۱۱ سال بعد، در سال ۱۳۳۰ با عقد قرارداد متممی با شرکت پلی‌زیوس، ادامه کار خط تولید سوم شرکت سیمان ری از سر گرفته شد و در سال ۱۳۳۴ به بهره‌برداری رسید. تا آبان ۱۳۲۰ حدود ۴۱ میلیون ریال برای واحد سوم هزینه شده بود که با هزینه‌های بعدی، مجموع هزینه این واحد بالغ بر ۵۰ میلیون ریال گردید.

بنابراین تا سال ۱۳۳۰ تنها دو کوره سیمان با مجموع ظرفیت ۳۰۰ تن در روز و یا به عبارتی ۹۰۰۰۰ تن در سال در ایران نصب گردیده بود. جنگ جهانی دوم سبب تأخیر ۱۵ ساله در افزایش ظرفیت صنعت سیمان ایران گردید.

در سال ۱۳۱۷ فکر ایجاد یک کارخانه ۳۰۰ تنی در ناحیه لرستان و سه کارخانه یکصد تنی در تبریز، مشهد و شیراز جزء برنامه‌های وزارت صنایع و معادن قرار گرفت که به علت وقوع جنگ جهانی دوم عملیات اجرائی آنها را کمد ماند.

اولین واحد تولید سیمان ایران (سیمان ری) به دلیل توسعه شهر تهران و شرایط تولید قدیمی و همراه با انتشار آلودگی در سال ۱۳۶۰ تعطیل گردید تا اینکه در اسفند سال ۱۳۶۴ کل این مجموعه متوقف و سیمان ری منحل گردید. فیلمی از این کارخانه در دفتر ماهنامه فن‌آوری سیمان موجود است. طرح توسعه سیمان ری به ظرفیت ۲۰۰۰ تن در روز واقع در انتهای شهرک مشیریه از دهه ۱۳۵۰ اقدام و ماشین‌آلات آن از کشور آلمان و چکوسلواکی خریداری شده بود که بعد از انقلاب عملیات اجرائی آن پی گرفته شد. در ادامه این واحد توسط شرکت سیمان تهران خریداری و در سال ۱۳۶۴ راه‌اندازی شد.

در فاصله سالهای ۱۳۴۰ تا ۱۳۶۰ صنعت سیمان از رشد چشمگیری برخوردار گردید، بطوریکه از مصرف سرانه ۳۰ کیلوگرم سیمان در سال ۱۳۴۰ به ۱۰۰ کیلوگرم در سال ۱۳۵۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در سال ۱۳۶۲ رسید.

صنعت سیمان کشور، با سابقه ۷۸ سال تولید، یکی از صنایع زیربنایی کشور محسوب می‌گردد که رابطه و پیوندی عمیق با طیف گسترده‌ای از صنایع و مراکز خدماتی گوناگون برقرار نموده است. در حال حاضر ایران با ظرفیت نامی تولید بیش از ۷۶ میلیون تن سیمان در سال، بالاترین ظرفیت تولید سیمان در خاورمیانه را دارا می‌باشد و از نظر رتبه بندی جهانی نیز در بین ۵ کشور اول تولیدکننده سیمان قرار دارد. به طوری که برای صادرات بیش از ۱۰ میلیون تن خود را آماده نموده است.



کوره‌های قدیمی سیمان تهران واقع در غنی آباد شهر ری با روش تولید تر



سیمان صوفیان

وضعیت توسعه صنعت سیمان ایران در زیر تشریح گردیده است:
الف - صنعت سیمان تا قبل از پیروزی انقلاب اسلامی

در این دوره به دلیل پیشرفت‌های صورت گرفته و توسعه شهرنشینی و همچنین آشنایی با ویژگی‌ها و مزایای سیمان، تقاضای رو به رشدی برای آن ایجاد گردید. بنابراین توسعه کارخانه‌های سیمان جزء عناوین اصلی برنامه‌های عمرانی اول تا سوم قبل از انقلاب قرار گرفت. هرچند در این دوره حضور بخش خصوصی در سرمایه‌گذاری در صنعت سیمان پررنگ بود. طی سالهای ۱۳۳۲ الی ۱۳۳۶ (برنامه عمرانی ۵ ساله اول) ۵ شرکت جدید سیمان تأسیس و همچنین دو طرح توسعه نیز در سیمان ری و سیمان شرق به منظور افزایش ظرفیت تولید سیمان اجراء گردید. بطوریکه در سال ۱۳۳۶، ۷ شرکت: سیمان ری (با ظرفیت ۶۰۰ تن در روز)، سیمان فارس (با ظرفیت ۲۰۰ تن در روز)، سیمان شرق (با ظرفیت ۱۵۰ تن در روز)، سیمان شمال (با ظرفیت ۱۰۰ تن در روز)، سیمان اصفهان (با ظرفیت ۲۰۰ تن در روز)، سیمان تهران (با ظرفیت ۶۰۰ تن در روز)، سیمان لوشان (با ظرفیت ۳۰۰ تن در روز)، در حال تولید بودند و ظرفیت تولید سالانه به ۴۹۲/۰۰۰ تن رسید.

در دوره زمانی ۱۳۳۷ الی ۱۳۴۱ (برنامه عمرانی ۵ ساله دوم) نیز ۶ طرح توسعه در کارخانه‌های موجود به بهره‌برداری رسید. همچنین در دوره زمانی ۱۳۴۲ الی ۱۳۴۶ (برنامه عمرانی ۵ ساله سوم) نیز ۲ شرکت سیمانی جدید تأسیس و ۵ طرح توسعه در کارخانه‌های موجود اجرا گردید. بطوریکه تعداد کارخانه‌های سیمان به ۱۰ کارخانه با ۱۹ کوره و ظرفیت نامی ۵۶۶۰ تن در روز رسید. در ادامه و در دوره زمانی ۱۳۴۷ الی ۱۳۵۱ (برنامه عمرانی ۵ ساله چهارم) دو واحد جدید سیمان سپاهان به ظرفیت مجموعاً ۶۶۰۰ تن در روز و چند طرح توسعه‌ای در کارخانه‌های موجود ایجاد گردید. در دوره زمانی ۱۳۵۲ الی ۱۳۵۶ (برنامه عمرانی ۵ ساله پنجم) نیز دو شرکت جدید ایجاد و عمده افزایش ظرفیت از طریق طرح‌های توسعه‌ای دنبال شد. جدول ۱ وضعیت رشد تولید سیمان را در این دوره‌ها نشان می‌دهد.

در سال ۱۳۵۷ ظرفیت اسمی کارخانه‌های سیمان به حدود ۷ میلیون تن در سال رسید و ۸ میلیون تن نیز ظرفیت پروژه‌های جدید در دست اقدام به شرح زیر بود:

- طرح توسعه سیمان لوشان (کارخانه سیمان خزر): ۲۰۰۰ تن در روز
- سیمان فارس و خوزستان (کارخانه سیمان آبیگ): ۳۵۰۰ تن در روز
- سیمان فارس و خوزستان (کارخانه سیمان شیراز): ۱۰۰۰ تن در روز
- سیمان فارس و خوزستان (کارخانه سیمان بهبهان): ۲۷۵۰ تن در روز
- سیمان کرمان: ۲۳۰۰ تن در روز
- سیمان تهران (واحد ۶): ۴۰۰۰ تن در روز
- سیمان شمال (دماوند): ۲۰۰۰ تن در روز
- سیمان ری (بعدها با واگذاری به سیمان تهران، واحد هفتم سیمان تهران نامیده شد): ۲۰۰۰ تن در روز
- سیمان صوفیان: ۱۰۰۰ تن در روز
- سیمان ارومیه: ۲۳۰۰ تن در روز
- سیمان صوفیان: ۱۰۰۰ تن در روز
- سیمان صوفیان: ۲۰۰۰ تن در روز
- سیمان فارس و خوزستان (کارخانه سیمان شیراز): ۱۰۰۰ تن در روز

جدول ۱- رشد ظرفیت تولید سیمان در طول ۵ برنامه عمرانی پیش از انقلاب (از سال ۱۳۳۲ الی ۱۳۵۶)

برنامه عمرانی	افزایش ظرفیت (تن در سال)	ظرفیت کل (تن در سال)
برنامه عمرانی اول	۴۰۰/۰۰۰	۵۰۰/۰۰۰
برنامه عمرانی دوم	۵۰۰/۰۰۰	۱/۰۰۰/۰۰۰
برنامه عمرانی سوم	۷۰۰/۰۰۰	۱/۷۰۰/۰۰۰
برنامه عمرانی چهارم	۱/۵۰۰/۰۰۰	۳/۲۰۰/۰۰۰
برنامه عمرانی پنجم	۳/۳۰۰/۰۰۰	۶/۵۰۰/۰۰۰

در انتهای سال ۱۳۵۷ تعداد شرکت‌های سیمانی به ۱۲، تعداد کارخانه‌های سیمان ۱۵، تعداد کوره‌های در حال کار ۳۴، ظرفیت نامی کوره‌ها ۲۵/۷۵۰ تن در روز و ظرفیت پروژه‌های در دست اقدام ۲۹/۸۵۰ تن در روز رسید که قیمت مصوب فروش سیمان در این سال ۲۵۰۰ ریال به ازای هر تن بود.

ب- صنعت سیمان بعد از پیروزی انقلاب اسلامی

بعد از پیروزی انقلاب، به تدریج طی ۷ سال پروژه‌های در دست اقدام به بهره‌برداری رسید و ظرفیت تولید سیمان در سال ۱۳۶۴ به حدود ۱۶ میلیون تن در سال افزایش یافت.



سیمان شرق

با عنایت به رشد مصرف سیمان به ویژه در سال‌های پس از جنگ تحمیلی به منظور بازسازی و اجرای برنامه‌های گسترده عمرانی در کشور، تقاضا برای این کالای سازندگی افزایش چشمگیری یافت. در نتیجه در وزارت صنایع طرح بزرگی برای افزایش ظرفیت تولید تدارک دیده شد و آن احداث ۲۰ کارخانه جدید سیمان با مشارکت این وزارتخانه، نهادهای دولتی و بخش خصوصی بود که در همین راستا شرکت دولتی احداث صنعت جهت اجرا و مدیریت ۶ کارخانه سیمان با ظرفیت ۲۱۰۰ تن در روز ایجاد گردید.

طی سالهای ۱۳۶۵ الی ۱۳۸۲ واحدهای زیر به بهره‌برداری رسید:

- سیمان بجنورد: به ظرفیت ۲۰۰۰ تن در روز در سال ۱۳۷۷
- سیمان سفید نیریز: به ظرفیت ۵۰۰ تن در روز در سال ۱۳۷۷
- سیمان شاهرود: به ظرفیت ۲۰۰۰ تن در روز در سال ۱۳۷۷
- سیمان قائن: به ظرفیت ۲۲۰۰ تن در روز در سال ۱۳۷۰
- سیمان خزر: به ظرفیت ۲۰۰۰ تن در روز در سال ۱۳۶۶
- سیمان ارومیه: به ظرفیت ۲۳۰۰ تن در روز در سال ۱۳۶۸
- سیمان خاش: به ظرفیت ۲۰۰۰ تن در روز در سال ۱۳۷۳
- سیمان خوزستان: به ظرفیت ۳۰۰۰ تن در روز در سال ۱۳۷۷
- سیمان هگمتان: به ظرفیت ۲۳۰۰ تن در روز در سال ۱۳۷۷
- سیمان ایلام: به ظرفیت ۲۰۰۰ تن در روز در سال ۱۳۷۷
- سیمان اردبیل: به ظرفیت ۲۳۰۰ تن در روز در سال ۱۳۷۷
- سیمان هرمزگان واحد اول: به ظرفیت ۳۰۰۰ تن در روز در سال ۱۳۷۶
- سیمان هرمزگان واحد دوم: به ظرفیت ۳۰۰۰ تن در روز در سال ۱۳۷۸
- سیمان داراب: به ظرفیت ۳۰۰۰ تن در روز در سال ۱۳۸۲
- سیمان کردستان: به ظرفیت ۲۳۰۰ تن در روز در سال ۱۳۷۴
- سیمان شرق: به ظرفیت ۳۰۰۰ تن در روز در سال ۱۳۷۸
- سیمان سفید ساوه واحد اول: به ظرفیت ۵۰۰ تن در روز در سال ۱۳۷۶
- سیمان سفید ساوه واحد دوم: به ظرفیت ۵۰۰ تن در روز در سال ۱۳۸۰
- سیمان سفید بنوید: به ظرفیت ۵۰۰ تن در روز در سال ۱۳۸۲
- سیمان آباد: به ظرفیت ۵۰۰ تن در روز در سال ۱۳۷۰
- سیمان اکباتان: به ظرفیت ۵۰۰ تن در روز در سال ۱۳۷۱
- سیمان استهبان: به ظرفیت ۱۰۰۰ تن در روز در سال ۱۳۷۶
- سیمان کارون: به ظرفیت ۳۰۰۰ تن در روز در سال ۱۳۷۹
- سیمان سفید ارومیه: به ظرفیت ۵۰۰ تن در روز در سال ۱۳۷۹



مجتمع سیمان تهران



واحد هفتم سیمان تهران



سیمان ایلام



سیمان قشم



بهینه سازی و افزایش ظرفیت سیمان صوفیان



سیمان ساوه



واحد هشتم سیمان تهران اولین کوره دو پایه در ایران که در سال 1385 راه اندازی شد.



سیمان شرق



اتاق کنترل کارخانه های جدید

قیمت فروش سیمان نیز طی سالهای پس از انقلاب ابتدا با روندی کند و سپس با شتاب بیشتری افزایش یافت به طوری که در سال ۱۳۶۷ به ۴۲۰۰ ریال، در سال ۸۵۵۰۰ ریال، در سال ۱۳۸۲ به ۳۲۰۰۰۰ ریال به ازای هر تن سیمان رسید. دهه اخیر نیز با رشد چشمگیر صنعت سیمان، حتی ورود سرمایه گذاران خارجی و طیف گسترده‌ای از سرمایه گذاری‌های بخش خصوصی همراه است. بطوریکه ظرفیت تولید سیمان کشور در حدود ۸۰ میلیون تن در سال و میزان تولید ۶۱/۶ میلیون تن در سال ۱۳۸۹ حاصل گردید. در حال حاضر ۶۶ کارخانه در حال تولید سیمان می‌باشند و علاوه بر آن پروژه‌ها و طرح‌های توسعه‌ای نیز یکی پس از دیگری به بهره‌برداری می‌رسد.

جدول 2- میزان پیشرفت فیزیکی طرح‌های سیمان تا پایان مهر ماه 1390

نام طرح	ظرفیت تولید /تن در زود	استان محل اجرا	نوع تسهیلات	درصد پیشرفت	سال راه اندازی
بهینه سازی خط ۲ آبیگ	۸۵۰۰	قزوین	صادرات	۸۵	۱۳۹۱
کیاسر	۲۰۰۰	مازندران	سپه	۵۶	۱۳۹۲
مجد خواف	۳۳۰۰	خراسان رضوی	سپه	فاز ۱: ۹۹ کل پروژه: ۶۲	۱۳۹۰
ماه نشان	۱۵۰۰	زنجان	تجارت	۲۰	۱۳۹۳
توسعه تهران	۳۳۰۰	تهران	سیمان تهران	۲۸	۱۳۹۲
توسعه کارون	۳۳۰۰	خوزستان	صادرات	۶۰	۱۳۹۲
توسعه لارستان	۳۳۰۰	فارس	صادرات	۳۶	۱۳۹۱
ماه نشان	۱۵۰۰	زنجان	خصوصی	۲۵	۱۳۹۲
بروجرد	۱۵۰۰	لرستان	تجارت	۲۵	۱۳۹۳
بیارجمند	۳۳۰۰	خراسان رضوی		۲۹	۱۳۹۲
آپادانا	۳۳۰۰	کردستان	ملی	۵۱	۱۳۹۱
نیزار قم	۳۳۰۰	قم	ملی	۹۸	۱۳۹۰
لامرد	۳۳۰۰	فارس	سپه	در حال راه اندازی	۱۳۸۹
سردار	۳۳۰۰	آذربایجان غربی	ملی	۹۵	۱۳۹۰
دهلران	۳۳۰۰	ایلام	ملت	۷۴	۱۳۹۰
باقران بیرجند	۳۳۰۰	خراسان جنوبی	کشاورزی	۸۵	۱۳۹۰
گیلان سبز	۳۳۰۰	گیلان	ملت	۸۹	۱۳۹۰
خمسه	۳۳۰۰	زنجان	کشاورزی	۶۵	۱۳۹۱
عمران آریا	۳۵۰۰	خوزستان	ملی	۴۰	۱۳۹۲
غرب آسیا	۵۰۰۰	خراسان رضوی	صنعت و معدن	۷۵	۱۳۹۱
مند دشتی	۳۴۰۰	بوشهر	ملی	۳۰	۱۳۹۲
خرم آباد	۳۴۰۰	لرستان	سپه	۴۰	۱۳۹۲
سیو	۲۳۰۰	کهگیلویه و بویراحمد	ملی	۲۷	۱۳۹۲



سیمان فیروزکوه

اطلاعات آماری تولید و راه‌اندازی واحدهای تولید سیمان در سالهای اخیر در ماهنامه فن‌آوری سیمان درج گردیده و به منظور اختصار از ذکر مجدد آنها اجتناب گردیده است. خلاصه آمار تولید سیمان و کلینکر و تحویل سیمان برای ۷ ساله اخیر در ادامه ارائه شده است.

در مجموع طی 45 سال سابقه صنعت سیمان قبل از انقلاب، تولید سیمان کشور 55 میلیون تن بود. در حالی که این رقم تنها در سال جاری به 70 میلیون تن خواهد رسید. از حدود 750 میلیون تن سیمان تولید و مصرف شده در کشور از آغاز کار صنعت سیمان تاکنون، 92 درصد آن در بعد از پیروزی انقلاب بوده که مهمترین شاخص از حجم عظیم کارهای عمرانی و آبادانی کشور و نشانگر تلاش و کوشش صنعتگران کشورمان است. همانگونه که آمارها نشان می‌دهند طی چند سال اخیر، صنعت سیمان از رشد بسیار چشمگیری برخوردار بوده است، به طوری که ظرفیت 35/5 میلیون تنی سال 83 در سال جاری به 81 میلیون تن خواهد رسید. در سال 84 با اجرای 9 طرح 3/6 میلیون تن، در سال 85 با اجرای 4 طرح 3 میلیون تن و در سال 86 با اجرای 7 طرح حدود 8 میلیون تن به ظرفیت تولید سیمان کشور اضافه شد. همچنین در سال 87 معادل 13 طرح سیمانی با ظرفیت 12 میلیون تن و در سال 88 نیز 4 طرح با ظرفیت 5/2 میلیون تن در کشور اجرایی شده است. با توجه به اجرای 5 طرح سیمانی در کشور طی سال 89 به ظرفیت 7/5 میلیون تن، می‌توان گفت 66 کارخانه در سراسر کشور به تولید مشغولند و با برنامه‌ریزی‌های انجام شده و تصمیمات اخیر وزارت صنعت و تجارت و با اتمام 20 طرح دیگر در دست اجرا تا پایان سال 92، ظرفیت کشور به حدود 100 میلیون تن سیمان در سال خواهد رسید. در این روند توسعه و افزایش ظرفیت، مسائل توسعه پایدار همواره مورد نظر بوده است و کلیه طرح‌های جدید جهت حفظ محیط زیست به برترین تکنولوژی‌های روز دنیا در رفع آلودگی‌های محیط زیستی مجهز شده‌اند.

رتبه ایران در زمره تولید کنندگان سیمان در جهان در طی سال‌های اخیر همواره ارتقاء یافته و از رتبه چهاردهم در سال 84 به رتبه هشتم طی سال قبل تبدیل شده و در سال جاری رتبه چهارم یا پنجم جهانی جایگاه ایران خواهد بود.

هم اکنون بیش از 80 درصد ماشین‌آلات و تجهیزات سیمان در داخل توسط صنعتگران تولید می‌شود و مراحل طراحی، نصب و راه‌اندازی تمام کارخانه‌ها بومی شده است و امروز ایران به یکی از مراکز صدور خدمات فنی مهندسی این رشته تبدیل گردیده و کارخانه‌هایی مختلفی در کشورهای مختلف تحویل داده و یا در دست ساخت دارد.

علیرغم روند رشد همیشگی مصرف سیمان در داخل که به علت حجم زیاد طرح‌های عمرانی و ساخت و ساز همواره صعودی بوده است، از سال 87 صنعتگران سیمانی موفق به تأمین کامل بازار داخلی و خودکفایی در این زمینه شده و توانستند از سال 88 به صدور سیمان در بازارهای منطقه بپردازند. به طوریکه این صنعت در سال 88 بالغ بر 5/5 میلیون تن و در سال 89 حدود 8/6 میلیون تن سیمان صادر شد و در سال جاری نیز به 10 میلیون تن صادرات ناآل خواهد شد.

این صنعت در حال حاضر به عنوان صنعتی پیشرو و دارای نقش مهم در صنعت، توسعه و اشتغال‌زایی کشور مطرح می‌باشد.

منابع:

- ۱- دکتر عباس طائب و فرشته کوهی، «سیمان»، انتشارات مرکز تحقیقات سیمان، دانشگاه علم و صنعت ایران
- ۲- محمد رضا عزیزیان، «تکنولوژی پخت سیمان»، ۱۳۶۲
- ۳- سید محمد علی اخباری، «تاریخچه کارخانجات سیمان»، انتشارات مرکز آموزش سیمان آبیک
- ۴- مدارک و اطلاعات موجود در سیمان تهران
- ۵- «راهنمای صنعت سیمان»، انجمن صنفی کارفرمایان صنعت سیمان
- ۶- سخنرانی مهندس سید محمد اتابک در دیدار فعالان اقتصادی با مقام معظم رهبری
- ۷- منوچهر بکائیان، «هندبوک مهندسی سیمان، مواد نسوز و مصالح ساختمانی» [انتشارات مرکز آموزش آبیک، ۱۳۷۶]

8- www.cementtechnology.ir

9- www.cementgroup.ir

10- www.cementassociation.ir

11- KHD Humboldt, "150 years of development of plant building", ZKG, No. 9, 2006

12- G. C. Bye, "Portland Cement: Composition, Production and Properties", T. Telford, 1999

13- J. I. Bhatti and et al, "Innovation in Portland Cement Manufacturing", PCA, 2004