

گزارش مطالعاتی طرح

تدوین دانش فنی و راه اندازی واحد تولید مواد مصرفی
سیمانکاری چاه های نفت شامل ریتارد، دیسپرسنت ها و
کنترل کننده های هرزروی آب

فهرست مطالب

۱-۱ تاریخچه پیدایش سیمان	۵
۲-۱ مراحل تولید سیمان پرتلند	۷
۳-۱ ترکیبات اصلی سیمان پرتلند	۸
۱-۳-۱ تترا کلسیم سیلیکات	۱۰
۲-۳-۱ دی کلسیم سیلیکات	۱۰
۳-۳-۱ تری کلسیم آلومینات	۱۱
۴-۳-۱ تترا کلسیم آلومینو فریت	۱۱
۴-۱ هیدراتاسیون سیمان	۱۲
۵-۱ انواع سیمان پرتلند	۱۵
۱-۵-۱ سیمانهای کندبند	۱۵
۲-۵-۱ سیمانهای ضد سولفات	۱۶
۶-۱ خواص فیزیکی و شیمیایی سیمان	۱۷
۱-۶-۱ اندازه ذرات سیمان	۱۷
۲-۶-۱ وزن مخصوص	۱۸
۳-۶-۱ میزان آب به سیمان در دوغاب (WCR)	۱۹
۴-۶-۱ زمان نیم بند شدن سیمان	۱۹
۵-۶-۱ سلامت سیمان	۲۰
۶-۶-۱ استحکام و تنزل استحکام	۲۱
۷-۱ سیمانکاری چاههای نفت	۲۳
۱-۷-۱ لوله گذاری	۲۳
۸-۱ مراحل سیمانکاری	۲۵
۱-۸-۱ مرحله تشکیل دوغاب سیمان	۲۵
۲-۸-۱ مرحله ژلهای شدن سیمان	۲۶
۳-۸-۱ مرحله بندش سیمان	۲۶
۹-۱ کلاسهای مختلف سیمان چاه نفت	۲۷
۱-۹-۱ سیمان کلاس A	۲۸
۲-۹-۱ سیمان کلاس B	۲۹

۲۹.....	۳-۹-۱ سیمان کلاس C
۳۰.....	۴-۹-۱ سیمان کلاس D
۳۲.....	۵-۹-۱ سیمان کلاس E
۳۲.....	۶-۹-۱ سیمان کلاس F
۳۳.....	۷-۹-۱ سیمان کلاس G و H
۳۴.....	۸-۹-۱ سیمان کلاس J
۳۵.....	منابع:
۳۶.....	طراحی دوغاب سیمان
۳۶.....	جهت استفاده در عملیات سیمان کاری چاه های نفت
۷۳.....	۳-۱ مقدمه
۷۴.....	۳-۲ دسته بندی افزودنیهای سیمان
۷۵.....	۱۰- بهبود چسبندگی دوغاب
۷۵.....	۳-۳ عوامل کنترل کننده زمان نیم بندشدن و بندش سیمان
۷۵.....	۳-۳-۱ کنگیر کنندههای سیمان
۷۶.....	۳-۳-۲ تندگیر کنندههای سیمان
۷۷.....	۳-۴ عوامل کنترل کننده گراونروی
۷۸.....	۳-۵ افزایشهای کنترل کنندهی فیلتراسیون
۷۸.....	۳-۶ افزایشهای منسبط کننده
۷۹.....	۳-۷ معرفهای فعال سطحی پخش کننده
۷۹.....	۳-۸ افزایشهای افزایش دهنده استحکام
۸۰.....	۳-۹ ترکیبات کنترل کننده وزن دوغاب سیمان
۸۰.....	۳-۹-۱ عوامل افزایش دهنده وزن
۸۰.....	۳-۹-۲ ترکیبات سبک کننده سیمان
۸۱.....	۳-۱۰ عوامل ضد مهاجرت گاز
۸۱.....	۳-۱۱ بازدارندههای خوردگی
۸۱.....	۳-۱۲ بهبود چسبندگی
۸۲.....	۳-۱۳ افزایشهای کنترل هرزروی
۸۳.....	منابع:



۱-۱ تاریخچه پیدایش سیمان

پیدایش سیمان به زمانی مربوط می‌شود که انسان، نخستین بار سنگ آهک را به منظور تهیه آهک زنده پخت و کلسینه کرد. کلسیناسیون^۱ سنگ آهک خالص یا لایمستون^۲ (CaCO_3) در دمای 900°C منجر به تجزیه آن و تولید کلسیم اکسید یا آهک زنده (CaO) و کربن دی اکسید می‌شود.

از ترکیب کلسیم اکسید با آب، کلسیم هیدروکسید یا آهک مرده Ca(OH)_2 به وجود می‌آید که در ابتدا جسمی فاقد سختی و استحکام است؛ لیکن اگر با مقدار کافی آب ممزوج و به صورت خمیری درآید (و به ویژه مقداری ماسه یا خاک به آن افزوده شود) و به مخلوط حاصل فرصت داده شود تا رطوبت خود را از دست داده و خشک شود، آنگاه جسمی نسبتاً سخت با بافتی محکم به نام ساروج به وجود خواهد آمد. از این جسم، قرن‌ها به عنوان ملات ساختمانی برای پیوند دادن سنگ‌ها و آجرها به یکدیگر استفاده شده است و شاید پیش از آن که بشر آن را کشف کند، به جای آن از مخلوط خاک رس استفاده می‌شد، خاک رس نیز وقتی با آب آمیخته گردد و فرصت یابد تا خشک شود، تبدیل به ملات ضعیفی

^۱- Calcination

^۲- Lime stone

می‌شود که می‌تواند واحدهای ساختمانی را تا اندازه‌ای به هم پیوند دهد. تهیه ملات رس برای انسان ساده‌تر است زیرا احتیاج به فرآیند خاصی نداشته؛ لیکن برای تهیه آهک، بشر نیازمند سنگ آهک و کوره مخصوص می‌باشد.

سخت شدن ساروج به دلیل تبخیر آب آن و تبلور دانه‌ها می‌باشد. با گذشت زمان که ملات، گاز کربنیک هوا را هم جذب می‌کند سخت تر نیز می‌شود. ملات خاک رس هم مثل ساروج به واسطه از دست دادن آب سفت می‌شود به همین دلیل این‌گونه ملات‌ها را در زیر آب نمی‌توان به کار برد زیرا در آنجا شرایط لازم برای سخت شدن آن‌ها (یعنی تبخیر آب و جذب گاز کربنیک) وجود ندارد.

کلسیناسیون انواع مختلف سنگ آهک به تدریج بشر را متوجه این نکته کرد که اگر نوع سنگ آهک ناخالص باشد (یعنی سنگ آهک مخلوط با مقداری خاک باشد)، پس از پخته شدن، آهکی حاصل می‌شود که وقتی با آب ترکیب می‌شود جسمی به مراتب سخت‌تر و محکم‌تر از آهک مرده به وجود می‌آید. کشف این نکته سر آغاز تولید سیمان مصنوعی^۱ توسط انسان است.

در سال ۱۸۲۴ میلادی، جوزف آسپدین^۲ انگلیسی، مخلوطی از سنگ آهک و خاک رس را پخت و جسمی را که بدین ترتیب به دست آورد سیمان پرتلند^۳ نامید. سیمان پرتلند محصولی است "هیدرولیک" یعنی اگر آن را با مقدار معینی آب مخلوط کنند و دوغاب حاصل را به حال خویش بگذارند، پس از مدتی دوغاب تبدیل به جسمی سخت و بسیار محکم خواهد شد که بتن یا سنگ سیمان نام دارد. بتن چون از سایر ملات‌های قبل از خود محکم‌تر بود و به علاوه در زیر آب نیز دوام بیشتری داشت و حتی با گذشت زمان محکم‌تر می‌شد، به زودی جانشین ملات‌های مختلف شد و به عنوان یکی از مهمترین مصالح ساختمانی به ویژه در ساخت پایه پل‌ها و تاسیسات مورد استفاده قرار گرفت.

در آغاز، کارخانه‌های سیمان را در مناطقی بر پا می‌کردند که نزدیک به معادن سنگ آهک ناخالص باشد زیرا سنگ آهک ناخالص می‌توانست به عنوان ماده خام، برای تولید سیمان استفاده شود. بعدها به تدریج سنگ آهک ناخالص را با مخلوطی از چند ماده دیگر جانشین کردند به طوری که امروزه ماده خامی که به عنوان خوراک کارخانه‌های سیمان

^۱- Artificial cement

^۲- Joseph Aspdin

^۳- دلیل نام‌گذاری سیمان پرتلند شباهتی است که از نظر رنگ و شکل ظاهر بین بتن حاصل از این جسم به کانسنگ‌های یکی از جزایر نزدیک انگلستان به نام جزیره پرتلند وجود دارد.

مصرف می‌شود عمدتاً مخلوطی از مواد آهکی^۱ و مواد رسی^۲ است. مواد آهکی شامل موادی مانند سنگ آهک^۳، صدف^۴ و یا کلسیم کربنات طبیعی محتوی خاک رس، مواد آلی و منیزیم کربنات است. مواد رسی نیز شامل خاک رس^۵، شل و سیلیکات‌های کلسیم حاصل از کوره بلند (به عنوان محصول فرعی) می‌باشند.

کارخانه‌های مدرنی که امروزه سیمان را به صورت توده تولید می‌کنند از هر ۵۸۴ پوند ماده خام، ۳۷۶ پوند سیمان به وجود می‌آورند که معمولاً در چهار کیسه‌ی ۹۴ پوندی عرضه می‌شود.

سیمان پرتلند نخستین بار در کوره‌های بطری شکل^۶ ساخته شد و بعدها در کوره‌های پیشرفته تر میله‌ای شکل^۷ ساخته شد اما امروزه در کوره‌های دوار^۸ تولید می‌شود [۵-۱].

۱-۲ مراحل تولید سیمان پرتلند

از تعریف کلی سیمان مشخص شد که سیمان ماده‌ای متشکل از مواد آهکی نظیر سنگ آهک یا گچ و اکسیدهای سیلیسیم و آلومینیوم یعنی رس‌ها و شیل‌ها می‌باشد، مراحل مختلف تولید سیمان شامل آسیاب مواد خام و تبدیل آنها به پودر، مخلوط نمودن آنها با درصد‌های معین و پخت آنها در یک کوره دوار در حرارت بالا می‌باشد.

روش کار به این ترتیب است که مخلوطی از مواد آهکی و رسی را که به نرمی کوبیده شده‌اند، به عنوان ماده خام وارد کوره می‌کنند. ترکیب این مخلوط بر حسب نوع سیمان فرق می‌کند. مواد داخل کوره ابتدا در دمای ۲۱۲ درجه فارنهایت، آب آزاد و رطوبتی که به صورت فیزیکی جذب شده است را از دست می‌دهند و خشک می‌شوند. در نواحی داغ‌تر کوره که دما به ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه فارنهایت می‌رسد، آب درون مولکولی رس‌ها^۹ از آنها جدا می‌شود. وقتی دما به حدود ۱۶۰۰ درجه فارنهایت می‌رسد کربنات‌ها تجزیه شده و کربن دی اکسید از کوره خارج می‌گردد. در درجه حرارت‌های بالاتر، واکنش اصلی صورت می‌گیرد یعنی کلسیم اکسید (CaO) باقی مانده از تجزیه بالا به تدریج با Al_2O_3

1- Calcareous

2-Argillaceous

3-Limestone

4- Oyster Shell

5- Clay

6- Bottle kilns

7 - Rod kilns

8- Rotary kilns

9- Combined Water

و Fe_2O_3 و SiO_2 ترکیب می‌شود تا اینکه مخلوط به نواحی بسیار داغ کوره که دمای آن بین ۲۶۰۰ تا ۲۸۰۰ درجه فارنهایت است می‌رسد. در اینجا واکنش‌های فوق تکمیل می‌شوند و محصول در حالی که به میزان ۲۵ درصد به صورت مذاب در آمده، از کوره خارج می‌گردد. ذرات جامد محصول که در اثر غلتیدن‌های مداوم در کوره به شکل دانه‌های کروی در آمده‌اند از نظر اندازه با یکدیگر بسیار تفاوت دارند و قطر آنها از پنج سانتی‌متر تا چند میکرون متغیر است. این دانه‌های کروی را که کلینکر سیمان^۱ می‌نامند، به همراه بخش مذاب پس از خروج از کوره برای سرد شدن وارد خنک‌کننده‌های دواری می‌کنند که به وسیله هوا کار می‌کنند. در این خنک‌کننده‌ها جریانی از هوای سرد به داخل دمیده می‌شود تا دمای محصول را سریعاً و به طور ناگهانی پایین آورد، در این فرایند قسمتی از کلینکر مذاب سیمان، متبلور می‌شود و قسمت دیگر آن به صورت شیشه باقی می‌ماند.

بعد از سرد کردن توسط هوا^۲، محصول برای مدتی در سیلوهای مخصوص نگهداری می‌شود تا در مرحله بعد در آسیاب خرد شده و به صورت پودر در آید. در اینجا به پودر سیمان معادل ۱/۵ تا ۳ درصد وزنی گچ^۳ اضافه می‌شود تا سرعت بندش دوغاب آن را کند کرده و استحکام بتن حاصل از دوغاب را افزایش دهد. سیمانی که به این ترتیب تهیه می‌شود برای بسته‌بندی در کیسه‌های کوچک ۹۴ پوندی (سیمان کیسه‌ای) یا سیلوهای هزار پوندی (سیمان فله) به قسمت بسته‌بندی فرستاده می‌شود [۱-۲].

۱-۳ ترکیبات اصلی سیمان پرتلند

همانطور که اشاره شد مواد خام تشکیل دهنده سیمان اساساً از اکسیدهای کلسیم، سیلیسیم و آهن تشکیل شده‌اند. این مواد در کوره با هم ترکیب شده و به غیر از مقداری آهک آزاد باقی‌مانده که فرصت کافی برای فعل و انفعال نداشته است، ترکیبات شیمیایی جدید و پایداری به دست می‌آیند. در هنگام خنک کردن مصالح، متناسب با سرعت خنک کردن، مواد به شکل بلوری و بی‌شکل ظاهر می‌گردند. دانه‌های بی‌شکل که اکثراً شیشه‌ای هستند و دانه‌های بلوری شده، در حالی که یک فرمول شیمیایی دارند، دارای خواص متفاوتی می‌باشند. برای سیمان معمولی، درصد

1- Cement Clinker

2 -Air Quench

3 - $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

ترکیبات حاصل از فعل و انفعالات فوق با داشتن درصد اکسیدهای موجود در کلینکر و با فرض این که بلوری شدن کامل انجام پذیرفته باشد، قابل محاسبه است. در کلینکر سیمان پرتلند چهار فاز اصلی بلوری وجود دارد که در جدول (۱-۱) آمده است.

جدول ۱-۱: ترکیبات اصلی سیمان پرتلند

نام ترکیب	اکسیدهای تشکیل دهنده	فاز	علامت اختصاری
تری کلسیم سیلیکات	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	آلیت	C_3S
دی کلسیم سیلیکات	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	بلیت	C_2S
تری کلسیم آلومینات	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	آلومینات	C_3A
تترا کلسیم آلومینوفریت	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	آلومینوفریت	C_4AF

علائم اختصاری که در جدول آمده است به صورت $\text{H}_2\text{O}=\text{H}$ و $\text{CaO}=\text{C}$ ؛ $\text{SiO}_2=\text{S}$ ؛ $\text{Al}_2\text{O}_3=\text{A}$ ؛ $\text{Fe}_2\text{O}_3=\text{F}$ می باشد. محاسبه مربوط به میزان ترکیبات سیمان حاصل از اکسیدهای اصلی تشکیل دهنده آن، توسط بوگ انجام شده که بنام "معادلات بوگ" معروف می باشد. این معادلات درصد ترکیبات اصلی سیمان را نشان می دهند. مقادیر داخل پرانتزها درصد اکسیدهای تشکیل دهنده سیمان نسبت به کل وزن سیمان را نشان می دهند.

$$\text{C}_3\text{S}=4.0710(\text{CaO})-7.6024(\text{SiO}_2)-1.4297(\text{Fe}_2\text{O}_3)-6.7187(\text{Al}_2\text{O}_3)$$

$$\text{C}_2\text{S}=8.6024(\text{SiO}_2)+1.0785(\text{Fe}_2\text{O}_3)+5.0683(\text{Al}_2\text{O}_3)-3.0710(\text{CaO})$$

$$\text{C}_3\text{A}=2.6504(\text{Al}_2\text{O}_3)-1.6920(\text{Fe}_2\text{O}_3)$$

$$\text{C}_4\text{AF}=3.0432(\text{Fe}_2\text{O}_3)$$

علاوه بر اکسیدهای اصلی ذکر شده در جدول ۱-۱ اکسیدهای فرعی نظیر Na_2O و MgO ، K_2O ، Mn_2O_3 ، TiO_2 نیز به مقدار بسیار کمی در سیمان وجود دارند. این اکسیدها با پاره‌ای از مواد سنگی در بتن ترکیب شده و سبب خرابی بتن و نیز تغییر در میزان افزایش مقاومت آن می گردند. بنابراین مقدار کم آنها در سیمان نیز می بایستی کنترل شود و به آن اهمیت داده شود. در جدول (۲-۱) مقدار تقریبی اکسیدهای سیمان پرتلند آمده است.

جدول ۱-۲: مقدار تقریبی اکسیدهای سیمان پرتلند

اکسید	درصدوزنی
CaO	۶۰-۶۷
SiO ₂	۱۷-۲۵
Al ₂ O ₃	۳-۸
Fe ₂ O ₃	۰/۵-۰/۶
MgO	۰/۱-۰/۴
Alkalis	۰/۳-۰/۱
SO ₃	۱-۳

چهار فاز بلوری موجود در سیمان که نقش اصلی در بندش و خصوصیات بتن دارند عبارتند از:

۱-۳-۱ تترا کلسیم سیلیکات

این کانی که میزان متوسط آن در سیمان پرتلند بین ۴۵ تا ۶۵ درصد است عامل عمده ایجاد استحکام در تمام مدت عمر سنگ سیمان به ویژه در ۲۸ روز اول می‌باشد. به هنگام تبلور، به ازای هر دو واحد بلوری از این جسم، سه مولکول آهک آزاد می‌شود. این آهک آزاد شده هیچ‌گونه ضرری به سیمان نمی‌رساند و به صورت یک پرکننده خنثی^۱ در آن باقی می‌ماند. اگر سیلیکای کوبیده و بسیار نرم به چنین سیمانی افزوده گردد و اندکی هم حرارت داده شود، آهک با سیلیکا ترکیب شده و به این ترتیب سیلیکات‌های کلسیم زیادی در سیمان به وجود می‌آید. این سیلیکات‌ها نیز به نوبه خود متبلور شده و موجبات استحکام زیادتیر در سیمان را فراهم می‌کنند. دلیل افزودن پورزولان‌ها به سیمان‌ها نیز همین است.

۱-۳-۲ دی کلسیم سیلیکات

این کانی که میزان متوسط آن در سیمان پرتلند بین ۲۵ تا ۳۵ درصد می‌باشد و به اشکال بلوری مختلفی وجود دارد، کندتر از بقیه کانی‌های سیمان متبلور می‌شود و به همین دلیل روی زمان‌بندی دوغاب سیمان اثر محسوسی ندارد.

^۱ - Inert Filler

در کارخانه‌ها برای تولید سیمان‌هایی که در چاه‌های عمیق و داغ به کار می‌روند از این جسم به میزان نسبتاً زیادی استفاده می‌کنند. در این گونه سیمان‌ها مقدار این کانی ممکن است به چهل درصد و حتی بیشتر هم برسد. همچنین عامل ایجاد استحکام تدریجی و دراز مدت در سنگ سیمان است.

۳-۳-۱ تری کلسیم آلومینات

این کانی قابلیت تبلور بسیار زیادی دارد و مسئول تولید گرمای تبلوری است که سیمان به هنگام آمیخته شدن با آب از خود بروز می‌دهد. هر یک درصد از جسم که در یک گرم سیمان پرتلند موجود باشد، پس از تبلور می‌تواند ظرف مدت سه روز، حدوداً ۲ کالری حرارت تولید کند. این کانی سریعتر از بقیه کانی‌های سیمان پرتلند می‌بندد و وجود آن در سیمان عامل بندش سریع دوغاب است. اما چون با آب‌های خورنده^۱ مثل آب‌های سولفات‌ه ترکیب می‌شود منبسط می‌شود و این انبساط عامل خراب شدن سنگ سیمان است. البته با تقلیل درصد این کانی در سیمان پرتلند، می‌توان هم بندش دوغاب را کندتر کرد و هم مقاومت سنگ آن را در برابر آب‌های سولفات‌ه افزایش داد. یکی از دلایل اینکه، بعضی از سیمان‌های ساختمانی که در مجاورت آب‌های خورنده استفاده می‌شوند، در کارخانه با بخار آب عمل می‌آورند^۲، این است که بخار آب موجب می‌شود هیدروگارنت^۳ به صورت فیلم یا غشاء نازکی به دور ذرات C_3A کشیده شوند و آنها را در برابر تهاجم آب‌های خورنده محافظت کنند.

لازم به ذکر است که وجود مقدار کمی از تری کلسیم آلومینات در سیمان چاه نفت خالی از فایده نیست زیرا همین ماده است که در برابر افزودنی‌های سیمان از خود فعالیت شدید نشان می‌دهد و چون زودتر از بقیه کانی‌های سیمان متبلور می‌شود، بنابراین بندش دوغاب را به عهده گرفته و هدایت می‌کند.

۴-۳-۱ تترا کلسیم آلومینو فريت

^۱- Corrosive Waters

^۲-Steam Curing

^۳- Hydrogarnet ($3CaO.Al_2O_3.6H_2O$)

این کانی که از احیای تری کلسیم آلومینات توسط آهن در قسمت بسیار داغ کوره دوار حاصل می‌گردد، خیلی کم متبلور می‌شود و به همین دلیل سرعت بندش آن نیز فوق‌العاده کم است و روی خواص فیزیکی سیمان اثر بسیار اندکی دارد. در حقیقت بلید این کانی را در سیمان به عنوان یک پرکننده خنثی به حساب آورده به عنوان عاملی که روی خواص فیزیکی دوغاب سیمان یا سنگ آن اثری دارد.

سیمانی که تنها محتوی چهار کانی فوق باشد در هیچ کاری قابل استفاده نیست زیرا وقتی با آب کافی مخلوط شود، دوغاب حاصل ظرف مدت چند دقیقه به سرعت می‌بندد و سفت می‌شود. ژپس (گچ متبلور)^۱ را به سیمان می‌افزایند تا زمان بندش دوغاب آن را به تعویق انداخته و در حد مطلوب و قابل قبولی نگهدارد. این کار بسیار حساس است و باید با دقت کافی انجام شود به طوری که ژپس به صورتی متجانس و یکدست در همه نقاط سیمان پراکنده گردد و تحت شرایط آسیاب، فرمول شیمیایی آن تغییر نکند و کیفیتش ثابت بماند.

ذکر این نکته ضروری است که نوع دیگر بندش در مورد دوغاب‌های سیمان وجود دارد که به بندش زودرس^۲ معروف است. بندش زودرس برخلاف بندش کاذب، دائمی است و لحظه به لحظه زیادتر می‌شود. قبلاً خود سیمان را مسئول آن می‌دانستند لیکن بعدها معلوم شد که علت آن، افزایش غلظت مواد شیمیایی در سیمان است. مثلاً اگر غلظت کلسیم کلرید (CaCl_2) در سیمان پرتلند به بیش از ده درصد وزنی برسد، دوغاب سیمان پس از ساخته شدن، ظرف چند دقیقه به قدری سفت می‌شود که دیگر پمپ کردن آن غیر ممکن است و بعد از آن رفته رفته جامد و سخت می‌گردد.

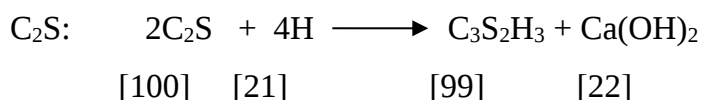
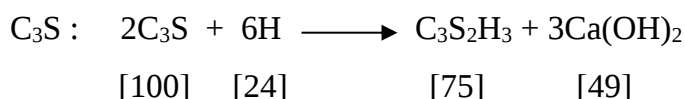
۴-۱ هیدراتاسیون سیمان

تا اینجا در ارتباط با پودر سیمان مطالبی عنوان گردید. اما مطلب مهم فعل و انفعال سیمان با آب، یا هیدراتاسیون سیمان می‌باشد. در ترکیب آب با سیمان، سیلیکات‌ها و آلومینات‌های سیمان هیدراته شده و به تدریج سخت می‌شوند. همانطور که قبلاً بیان شد سیلیکات‌های C_2S و C_3S اصلی‌ترین فعل و انفعال را با آب انجام می‌دهند، لیکن C_4S معمولاً با سرعت بیشتر ترکیب می‌شود. در سیمان‌های تجاری سیلیکات‌های کلسیم نسبت به سایر

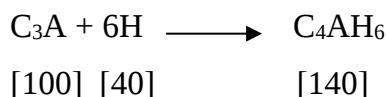
^۱- $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Gypsum)

^۲- Flash Set

اکسیدهای موجود در کلینکر ناخالصی بسیار کمی دارند. این ناخالصی‌ها در خواص سیلیکات‌های هیدراته شده تأثیر به‌سزایی دارند. C_3S ناخالص آلیت^۱ و C_2S ناخالص بلیت^۲ نام دارند. فعل و انفعال C_3S و آب هیدراته میکروبلور $C_3S_2H_3$ و همچنین کلسیم هیدروکسید بلور " $Ca(OH)_2$ " تولید می‌کند. C_2S نیز ترکیباتی مشابه تولید می‌کند، لیکن میزان آهک تولید شده کمتر است. امروزه به سیلیکات‌های کلسیم هیدراته شده " $C-S-H$ " گفته می‌شود (قبلاً به نام "ژل توپرموریته" معروف بودند). فعل و انفعالات به صورت زیر خلاصه شده است [۳].

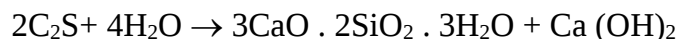
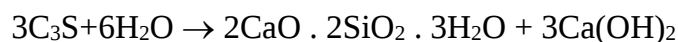


اعداد داخل کروشه نماینده وزن ترکیبات فوق بوده و بر این اساس مشاهده می‌شود سیلیکات‌ها هر دو تقریباً به یک میزان، آب برای فعل و انفعال احتیاج دارند. لیکن C_3S تقریباً بیش از ۲ برابر C_2S ، $Ca(OH)_2$ تولید می‌کند. گیرش C_3A (تری کلسیم آلومینات) خالص با آب، بسیار سریع است و این امر با اضافه کردن گچ کنترل می‌شود. در هر حال گیرش C_3A سریع‌تر از گیرش سیلیکات‌های کلسیم بوده و به صورت فرمول زیر بیان می‌گردد.



مقدار وزن داخل پرانتز نشان می‌دهد، C_3A در مقایسه با سیلیکات‌ها به آب بیشتری برای فعل و انفعال نیاز دارد. هیدراتاسیون سیمان و مواد درگیر در این فرایند در شکل (۱-۱) خلاصه شده است.

واکنش‌های هیدراتاسیون فازهای سیمان:

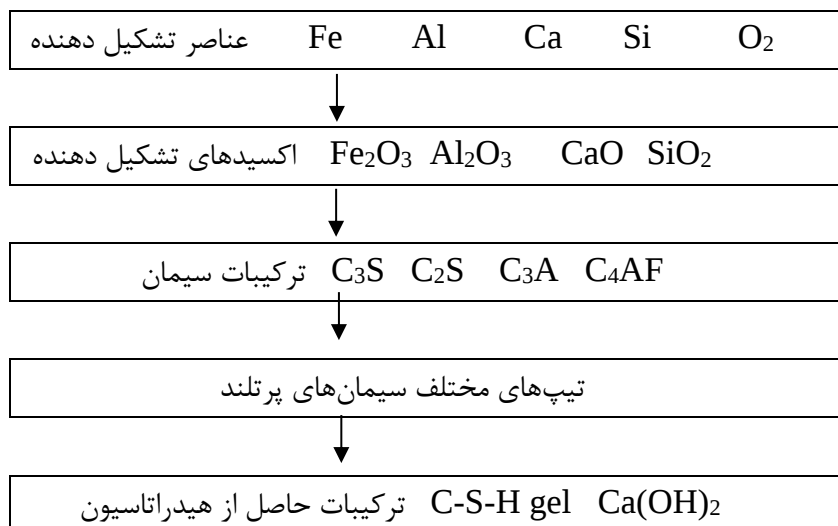


¹- Alite

²-Belite



شکل ۱-۱: فعل و انفعالات هیدراتاسیون سیمان و آب



هیدراتاسیون سیمان همانند بسیاری از فعال و انفعالات شیمیایی گرمازا بوده و حرارت هیدراتاسیون به مقدار حرارت تولید شده (برحسب ژول) در اثر هیدراتاسیون کامل هر گرم سیمان اطلاق می‌شود. روش‌های تعیین حرارت هیدراتاسیون در درجه حرارت معین، در قسمت سوم استاندارد BS4550 و استاندارد ASTM C 186-82 به وضوح بیان گردیده است.

درجه حرارتی که در آن فعل و انفعال صورت می‌پذیرد، اثر به‌سزایی در حرارت تولید شده داشته و در عمل مهمتر از کل حرارت هیدراتاسیون می‌باشد. در سیمان‌های پرتلند حدود نیمی از کل حرارت در مدت بین ۱ تا ۳ روز و یا در ۷ روز و تقریباً ۹۰ درصد آن در مدت ۶ ماه آزاد می‌شود. میزان حرارت ایجاد شده بستگی به ترکیبات سیمان داشته و در واقع کل حرارت، مجموع حرارت متصاعد شده از هر یک از ترکیبات می‌باشد. حرارت هیدراتاسیون این ترکیبات در جدول (۱-۳) آورده شده است.

جدول ۱-۳: حرارت هیدراتاسیون ترکیبات مختلف سیمان

حرارت هیدراتاسیون		ترکیب
J/g	Cal/g	

۵۰۲	۱۲۰	C ₃ S
۲۶۰	۶۲	C ₂ S
۸۶۷	۲۰۷	C ₃ A
۴۱۹	۱۰۰	C ₄ AF

با کاهش درصد ترکیبات C₃A و C₃S حرارت هیدراتاسیون و میزان آزاد شدن آن نیز کاهش می‌یابد. اندازه ذرات سیمان در سرعت حرارت آزاد شده تأثیر داشته، لیکن در کل حرارت ایجاد شده تأثیری ندارد. کل حرارت ایجاد شده در بتن با میزان سیمان موجود در آن کنترل می‌شود. باید متذکر شد که بین حرارت هیدراتاسیون و فرآیند سیمانی شدن هر ترکیب، ارتباط مشخصی وجود ندارد. همانطور که بیان گردید ترکیب C₃S و C₂S نقش اصلی در افزایش مقاومت سیمان را دارد و C₃S بر مقاومت تا ۴ هفته اول و C₂S بر مقاومت بعد از آن تأثیر می‌گذارد. دو ترکیب به یک میزان روی مقاومت سیمان هیدراته شده تأثیر می‌گذارند. به هر حال برخلاف پیش‌بینی که می‌توان برای حرارت تولید شده از ترکیبات مختلف سیمان داشت، امکان پیش‌بینی مقاومت سیمان هیدراته شده از ترکیبات آن وجود ندارد.

۱-۵ انواع سیمان پرتلند

۱-۵-۱ سیمان‌های کندبند^۱

سیمان‌های کندبند به سیمان‌هایی گفته می‌شود که زمان بندش آنها طولانی‌تر از زمان بندش سیمان پرتلند معمولی است. دو نوع سیمان کندبند ساخته می‌شود [۱-۳]:

۱. Retarded Slow Set Cement

چنانچه به سیمان پرتلند درصد معینی از برخی از مواد آلی یا معدنی افزوده شود زمان بندش دوغاب سیمان زیاد می‌شود. این گونه مواد را ریتارد یا کندگیر کننده می‌نامند. از مهم‌ترین ریتاردرهایی که کارخلنه‌های سیمان، برای

^۱ - Slow Set Cements

طولانی تر کردن زمان بندش سیمان پرتلند به کار می‌برند می‌توان نشاسته‌های اصلاح شده، شکر، لیگنین‌ها (یا نمک‌های اسید لیگنوسولفونیک)، بوریک اسید و نمک‌های آن و بالاخره صمغ‌های گیاهی را نام برد.

۲. Unretarded Slow Set Cement

چنانچه میزان C_3A سیمان پرتلند را که عامل بندش سریع دوغاب سیمان است کاهش داده و به صفر نزدیک شود، زمان بندش دوغاب افزایش پیدا خواهد کرد. سطح جانبی ویژه سیمان‌های کندبند باید بین ۱۳۰۰ تا ۱۵۰۰ سانتی متر مربع باشد. میزان ترکیبات اکسیدی این سیمان‌ها به قرار زیر است:

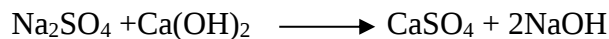
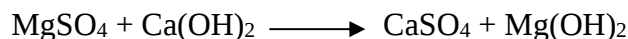
$$C_3S=50\%$$

$$C_2S=28\%$$

$$C_3A=0-4.7\%$$

۱-۵-۲ سیمان‌های ضد سولفات^۱

تجربه نشان داده است که از نمک‌های موجود در آب دریا و آب‌های زیرزمینی، سدیم سولفات، (Na_2SO_4)، منیزیم سولفات ($MgSO_4$) و منیزیم کلرید ($MgCl_2$) آثار تخریبی شدیدی روی سیمان دارند. اگر با آب مقطر و سیمان پرتلند دوغابی ساخته شود و در قالبی مکعب شکل ریخته شود و سپس دوغاب سخت شود؛ آن گاه روی آن آب سولفات (آب دارای یون SO_4^{2-}) ریخته و هر چند روز یکبار، آب عوض شود؛ با گذشت زمان مشخص می‌شود که پیوند بین ذرات سنگ سیمان سست می‌شود و قوام سنگ فرو می‌پاشد. همین اتفاق در محیط آبی نیز می‌افتد و پس از چند سال، سنگ کاملاً متلاشی می‌گردد و از آن جز توده‌ای خاک در زیر آب چیزی باقی نمی‌ماند. علت این پدیده در حقیقت یک رشته فعل و انفعالات شیمیایی است که در درون ظرف صورت می‌گیرد، آهک آزاد موجود در سیمان با سولفات محلول در آب ترکیب شده و منیزیم هیدرات و کلسیم سولفات به وجود می‌آید.



¹- Sulfate Resistant Cements

کلسیم سولفات حاصل از این واکنش با C_3A موجود در سیمان ترکیب می‌شود و جسمی به نام "سولفوآلومینات کلسیم" به وجود می‌آورد که جای C_3A را در سنگ سیمان می‌گیرد.



چون دانه‌های این جسم بزرگتر از دانه‌های C_3A می‌باشد، در اثر این جانشینی، سنگ سیمان شروع به انبساط^۱ می‌کند و سرانجام متلاشی می‌گردد. بدیهی است اگر در ترکیب سیمان، C_3A وجود نداشته باشد و یا میزان آهک آزاد سیمان کم باشد، واکنش‌های فوق در مرحله اول متوقف شده و دیگر پیشروی نمی‌کنند. به همین دلیل است که سیمان‌های فاقد C_3A و آهک آزاد، در مقابل آب‌های سولفاته مقاومت دارند ولی هر قدر میزان این مواد در آن‌ها زیاد شود، به همان نسبت نیز از مقاومتشان در برابر این گونه آب‌ها کاسته می‌شود (سیمان‌های ضد سولفات مجازند حداکثر ۳ درصد وزنی خویش C_3A داشته باشند).

۱-۶ خواص فیزیکی و شیمیایی سیمان

از آنجا که کیفیت سیمان برای ساخت بتن خوب بسیار مؤثر می‌باشد، لازم است در مراحل تولید سیمان کنترل‌های دقیقی به عمل آید. در کارخانه‌های سیمان برای تولید سیمان مطابق استانداردهای بین‌المللی آزمایش‌های متعددی روی سیمان انجام می‌گیرد. همچنین خریداران و آزمایشگاه‌های خصوصی علاقه دارند با انجام آزمایش‌های لازم، سیمانی مناسب با کارهای اختصاصی خود را انتخاب کنند. آزمایش‌های تعیین خواص شیمیایی ترکیبات سیمان در استانداردهای ASTM و BS 4550 آمده است. در این قسمت اندازه ذرات، میزان آب دوغاب سیمان، زمان گیرش، سلامت و مقاومت سیمان توضیح داده می‌شود [۲-۴].

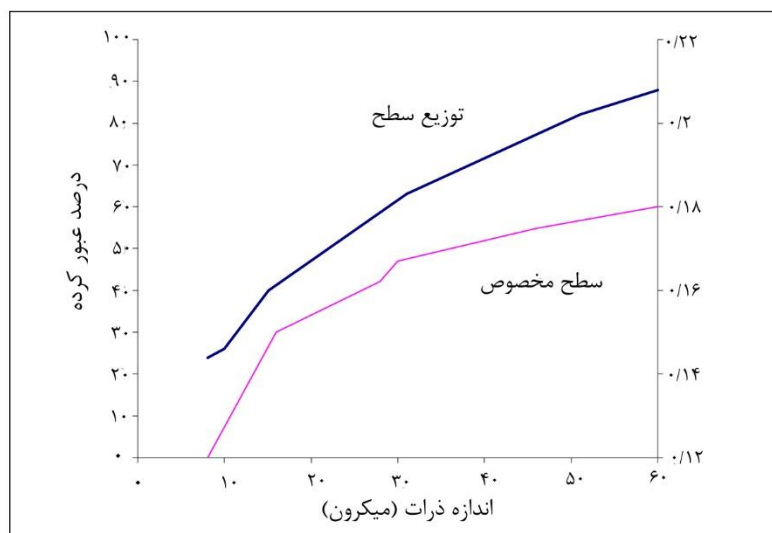
۱-۶-۱ اندازه ذرات سیمان

هیدراتاسیون سیمان از سطح دانه‌های آن آغاز می‌شود. کل سطح جانبی دانه‌ها، نماینده مواد ترکیب شونده با آب است. سرعت واکنش شیمیایی آب و سیمان، به اندازه ذرات سیمان مربوط می‌شود بنابراین برای هیدراتاسیون سریع و افزایش

^۱ - Expansion

مقاومت، سیمانی با اندازه ذرات بسیار ریز مورد نیاز است. در مقابل باید هزینه آسیاب دانه‌ها تا ریز شدن کامل و اثراتی را که سیمان‌های ریزدانه بر روی کارآیی بتن تازه، خواص دراز مدت و میزان گچ مورد نیاز می‌گذارند، در نظر داشت.

اندازه ذرات سیمان یکی از خواص مهم سیمان است و استانداردهای ASTM و BS برای مشخص کردن آن، سطح مخصوص دانه‌ها بر حسب (m^2/kg) را ملاک قرار می‌دهند. روش مستقیم تعیین منحنی توزیع اندازه ذرات، استفاده از قانون "استوک" و تهنشین شدن دانه‌ها در یک محلول، تحت اثر جرم آنها، می‌باشد. "واگنر" با استفاده از یک سلول فوتوالکتریک درصد اشعه خارج شده از ذرات معلق سیمان در یک محلول نفت چراغ را اندازه گرفت و از روی آن قطر و درصد ذرات را تعیین نمود. شکل (۱-۲) منحنی توزیع ذرات و درصد آنها را نسبت به کل سطح مخصوص نشان می‌دهد. این آزمایش در استاندارد ASTM C 115-79b شرح داده شده است.



شکل ۱-۲: منحنی توزیع ذرات و منحنی فراوانی سطح مخصوص دانه‌های یک گرم سیمان

۱-۶-۲ وزن مخصوص

وزن مخصوص، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های دوغاب سیمان می‌باشد. وزن مخصوص یک سیمان خشک ارتباط مستقیم با حداکثر و حداقل آب قابل جذب دارد. البته قابل ذکر است که حداقل آب قابل جذب برای بندش سیمان از میزان محاسبه شده بیشتر است. اگر میزان بیشتری از حداکثر آب قابل جذب استفاده شود، حباب‌های آب اضافی در داخل سیمان سفت شده، ایجاد خواهد شد. معمولاً میزان آب از ۳۸ تا ۴۶ درصد وزنی مخلوط نهایی را تشکیل می‌دهد.

۱-۶-۳ میزان آب به سیمان در دوغاب^۱ (WCR)

برای تعیین زمان گیرش اولیه، گیرش نهایی و سلامت سیمان لازم است خمیر سیمان (دوغاب) با غلظت معینی مطابق استاندارد تهیه شود. بنابراین برای هر نوع سیمان باید مقدار آب لازم برای تهیه دوغاب نرمال یا استاندارد، معین شود. نسبت آب به سیمان در دوغاب، وزن آب لازم برای تشکیل دوغاب به وزن سیمان مورد استفاده تعریف می شود و تاثیر مهمی در کیفیت بتن ایجاد شده دارد. میزان پایین "WCR" به ایجاد بتن هایی با مقاومت و ماندگاری بالا منجر می شود. "WCR" خیلی پایین نیز ممکن است حالت خمیری سیمان را کم کرده و عملیات سیمانکاری آن را با مشکل مواجه کند.

۱-۶-۴ زمان نیم بند شدن سیمان^۲

اگر مقداری سیمان خشک با آب کافی مخلوط شده و هم زده شود، دوغاب سیمان به دست خواهد آمد. دوغاب سیمان بلافاصله پس از ساخته شدن شروع به سفت شدن می کند و به تدریج روانی خود را از دست داده و نیم بند می شود. این پدیده که ویژه سیمان و مواد سیمانی می باشد به خاطر واکنش سریعی است که بین آب و کانی های سیمان و درست از لحظه اختلاط آنها با یکدیگر رخ می دهد. اگر به دوغاب سیمان به اندازه کافی فرصت داده شود کاملاً می بندد و ممکن است مانند سنگ سخت شود. زمان نیم بند شدن یا زمان بندش کامل^۳ دوغاب های سیمان متاثر از عوامل متعددی از جمله گرما، فشار، نسبت آب به سیمان در دوغاب، کلاس و نوع سیمان و بالاخره افزودنی هایی است که به سیمان و آب اضافه می شوند.

درجه نیم بند شدن دوغاب سیمان، (یعنی اینکه دوغاب سیمان با گذشت زمان چقدر سفت می شود و تا چه اندازه در مقابل حرکت مقاومت می کند)، به وسیله دستگاهی به نام کانسیستومتر^۴ اندازه گیری می شود این دستگاه قوام^۵ دوغاب سیمان را اندازه گیری می کند. قوام را به طور خلاصه می توان مقاومت یک سیال در برابر نیروهای خارجی که سعی در به

^۱- Water Cement Ratio

^۲- Thickening Time (T.T)

^۳- Setting Time

^۴- Consistmeter

^۵- Consistency

حرکت در آوردن و دگرگون کردن شکل آن را دارند تعریف کرد. قوام با واحدهایی به نام پویز^۱ یا با واحد کوچکتري به نام سانتی پویز (یکصدم) سنجیده می‌شود.

بنا به تعریف، مدت زمان لازم برای آنکه قوام یک دوغاب تازه تهیه شده سیمان از صفر به یکصد سانتی پویز برسد، زمان نیم بند شدن دوغاب نامیده می‌شود. زمان نیم بند شدن در حقیقت مدت زمانیست که یک دوغاب تازه تهیه شده سیمان، تحت شرایط ویژه آزمایشگاهی همچنان روانی خود را حفظ کند. اگر این شرایط تغییر کند، درجه روانی دوغاب نیز تغییر خواهد کرد. به همین دلیل می‌توان از زمان نیم بند شدن به عنوان ملاکی برای سنجش و مقایسه سیمان‌های مختلف در شرایط یکسان استفاده کرد. تجربه نشان داده است که اگر قوام دوغاب سیمانی از حدود 70 cp تجاوز کند آن دوغاب به قدری سفت می‌شود که دیگر قابلیت پمپ شدن را ندارد و اگر بخواهیم چنین دوغابی را به داخل چاه پمپ کنیم به پمپ‌ها و لوله‌های انتقال دوغاب، فشار بسیار زیادی که خارج از حد تحمل آنهاست وارد شده و ممکن است باعث از کار افتادن یا ترکیدن آنها شود. بنابراین در بیشتر موارد عملی، زمان نیم بند شدن مدت زمانی است که لازم است تا ثبات یک دوغاب تازه ساخته شده سیمان از صفر به 70 cp برسد.

قابل ذکر است که گرانروی^۲ و ثبات هر دو یک مفهوم دارند که برای تعیین مقاومت سیال در برابر حرکت و تغییر شکل استفاده می‌شوند ولی کاربرد آنها متفاوت می‌باشد. گرانروی در مورد سیالات حقیقی به کار می‌رود که گذشت زمان روی گرانروی آنها اثر ندارد ولی ثبات در مورد سیالاتی استفاده می‌شود که گرانروی آنها با گذشت زمان افزایش می‌یابد و این افزایش نه تنها موقتی نیست بلکه دائم هم هست.

۱-۶-۵ سلامت سیمان

این نکته مهم است که دوغاب سیمان بعد از سفت شدن، تغییر حجم عمده‌ای پیدا نکند. علت این محدودیت خرابی و ترکی است که خمیر سیمان در صورت انبساط و در محلی که مکان این انبساط نیست، پیدا می‌کند. چنین انبساطی غالباً ناشی از فعل و انفعالات آهک و منیزیم آزاد و کلسیم سولفات می‌باشد. سیمانی که خاصیت چنین انبساطی را دارد، سیمانی ناسالم است. آهک آزاد که در کلینکر موجود است به آرامی هیدراته شده و حجمی به مراتب بیشتر از حجم

¹- Poise

²- Viscosity

اولیه کلسیم اکسید پیدا می‌کند. با روش‌های تجزیه شیمیایی نمی‌توان مقدار آهک آزاد را تعیین نمود و این بدان علت است که زمانی که سیمان در مجاورت هواست نمی‌توان بین CaO هیدراته نشده و Ca(OH)_2 تولید شده از هیدراتاسیون سیلیکات‌ها، تفاوتی قائل شد.

منیزیم اکسید در مجاورت آب شبیه CaO عمل کرده و با بلوری شدن، حجم بیشتری را اشغال و سلامت سیمان را به مخاطره می‌اندازد. سومین عامل انبساط، کلسیم سولفات می‌باشد که با تشکیل کلسیم سولفوآلومینات از گچ اضافی و C_3A ترکیب نشده، سیمان را خراب می‌کند.

۱-۶-۶ استحکام و تنزل استحکام^۱

استحکام و تنزل استحکام یکی از خواص فیزیکی سیمان می‌باشد که از نظر صنعت حفاری چاه نفت نیز حائز اهمیت بسیاری می‌باشد، استحکام بتن (سنگ سیمان) از دوغاب آن حاصل می‌باشد. دوغاب سیمان پس از ساخته شدن، به تدریج که نیم بند می‌شود تا به بندش کامل برسد، استحکام نیز می‌یابد. توسعه استحکام^۲ بتن، با بندش کامل دوغاب، پایان نمی‌گیرد بلکه ماه‌ها و حتی سال‌ها بعد از آن نیز ادامه دارد و همچنان قوس صعودی را طی می‌کند. تجربه نشان داده است که در شرایط متعارف، سرعت توسعه استحکام سنگ سیمان در ۲۸ روز اول بسیار زیاد است لیکن بعد از آن کند می‌شود و به تدریج به سوی مقدار ثابتی میل می‌کند و البته این درحالتی است که هیچ‌گونه عوامل فیزیکی و شیمیایی، سنگ سیمان را مورد تهاجم قرار ندهد.

برای سنگ سیمان دو نوع استحکام تعریف شده و در نظر گرفته می‌شود:

۱. استحکام تراکمی^۳

۲. استحکام کششی^۴

^۱- Strength & Strength Retrogression

^۲- Strength Development

^۳- Compressive Strength

^۴- Tensile Strength

استحکام تراکمی، حداکثر فشاری است که بتن می‌تواند زیر تراکم تحمل کند قبل از آن که شکسته شود. استحکام کششی، حداکثر فشاری است که بتن می‌تواند زیر کشش تحمل کند قبل از آنکه شکسته شود. واحد سنجش هر دو نوع استحکام ، PSI می‌باشد.

در درجه حرارت‌های بیش از 230°F ، بتن حداکثر استحکام خود را ظرف چند روز اول پیدا می‌کند لیکن این استحکام پس از مدتی، شروع به کم شدن نموده و در برخی از موارد ممکن است تا حد صفر هم کاهش یابد. این پدیده را تنزل استحکام می‌گویند. شدت تنزل استحکام با افزایش دما نسبت مستقیم دارد یعنی در دماهای بیشتر، تنزل استحکام زیادتر است.

دلیل تنزل استحکام این طور بیان شده است: وقتی که مخلوط سیمان و آب به نسبت‌های مناسب، در دماهای زیاد قرار می‌گیرد، واکنش‌های مربوط به تبلور کانی‌های آن به قدری سرعت پیدا می‌کنند که دانه‌های محصول عمل بسیار بزرگ می‌شود و سطح جانبی داخلی آنها کاهش می‌یابد. در نتیجه، نفوذپذیری سنگ سیمان زیاد می‌شود. تحقیقات آزمایشگاهی نشان داده است که در میان محصولات واکنش‌های فوق، مقداری هم دی کلسیم سیلیکات آلفا هیدرات^۱ به وجود می‌آید. این جسم به خودی خود فاقد استحکام است (یا اگر استحکام داشته باشد بسیار ناچیز است). سنگ سیمانی که به این ترتیب حاصل می‌شود در مقابل آب‌های خورنده بسیار ضعیف می‌گردد و به واسطه نفوذپذیری زیاد، تنزل استحکامش بالا خواهد بود. این نوع کاهش استحکام را تنزل استحکام در دمای بالا^۲ می‌گویند. یک نوع دیگر تنزل استحکام وجود دارد که ناشی از آلوده شدن دوغاب سیمان به گل حفاری است. سنگ سیمان حاصل از دوغاب آلوده شده به گل حفاری، دارای تنزل استحکامی به مراتب بیشتر از سنگ سیمان مشابهی است که تنزل استحکامش در اثر دمای زیاد به وجود آمده است.

از جمله عواملی که در شدت تنزل استحکام بتن موثرند می‌توان نسبت آب به سیمان دوغاب (WCR) و افزودنی‌های سبک وزن را نام برد. افزایش WCR تنزل استحکام بتن را سریعتر می‌کند. افزودنی‌های سبک وزن مثل بنتونیت و خاک دیاتومه، بیشترین کاهش را در استحکام تراکمی بتن به وجود می‌آورند. تجربه نشان داده است که آرد

¹- Dicalcium Silicate Alpha Hydrate

²- High Temperature Strength Retrogression

سیلیس^۱، اگر به میزان ۳۵ تا ۴۰ درصد با سیمان آمیخته شود، اثرات تنزل و استحکام و افزایش نفوذپذیری بتن را تقلیل می‌دهد. باید توجه شود که آرد سیلیس در چنین بتنی، نقش یک پرکننده را ندارد بلکه جزئی از خود بتن می‌گردد. در حقیقت آرد سیلیس با غلظت‌هایی در این حدود، در دمای $F^{\circ} 320$ با محصولات حاصل از تبلور کانی‌های سیمان ترکیب می‌شود و به صورت بخشی جدا نشدنی از بتن در می‌آید.

۷-۱ سیمان کاری چاه‌های نفت

از میان کلیه مراحل که در طول حفاری یک چاه نفت یا گاز اجراء می‌شود لوله‌گذاری^۲ و سیمان کاری^۳ را یقیناً می‌توان یکی از مهم‌ترین بخش‌ها دانست. عمر چاه، میزان تولید و مدت بهره‌برداری از آن به مقدار وسیعی به درجه موفقیت این عملیات بستگی دارد. در عملیات لوله‌گذاری، دیواره‌ی چاه نفت به وسیله یک رشته لوله فولادی مخصوص پوشیده می‌شود و متعاقب آن در عملیات سیمان کاری، فضای حلقوی بین لوله و دیواره چاه از یک دوغاب سیمان با ترکیبات معین پر می‌گردد. این دوغاب سیمانی بعد از سفت شدن همچون غلافی محکم، لوله‌های پوششی را در بر می‌گیرد و آنها را با سازند پیوند می‌دهد. این غلاف سیمانی وظایف متعددی را انجام می‌دهد که شاید بتوان همه آنها را در دو کلمه "محافظت" و "ممانعت" خلاصه کرد: سیمان به دیواره چاه ثبات می‌دهد و لوله‌های پوششی را در مقابل فشارهای خارجی ناشی از طبقات زمین که ممکن است حتی باعث درهم شکستن و خرد شدن لوله‌ها شوند و همچنین در مقابل خوردگی ناشی از آب‌های خورنده زیرزمینی "محافظت" می‌کند و از مهاجرت سیال‌های یک سازند به سازند دیگر و آلوده شدن ناخواسته هیدروکربن‌های ارزشمند (نفت و گاز) "ممانعت" به عمل می‌آورد. به طور کلی روش‌های سیمان کاری به دو مرحله اولیه و ثانویه تقسیم می‌شود [۸-۶]. در فصل ۲ به تفصیل به انواع روش‌های سیمان کاری پرداخته خواهد شد.

۷-۱-۱ لوله گذاری

^۱- Silica Flour

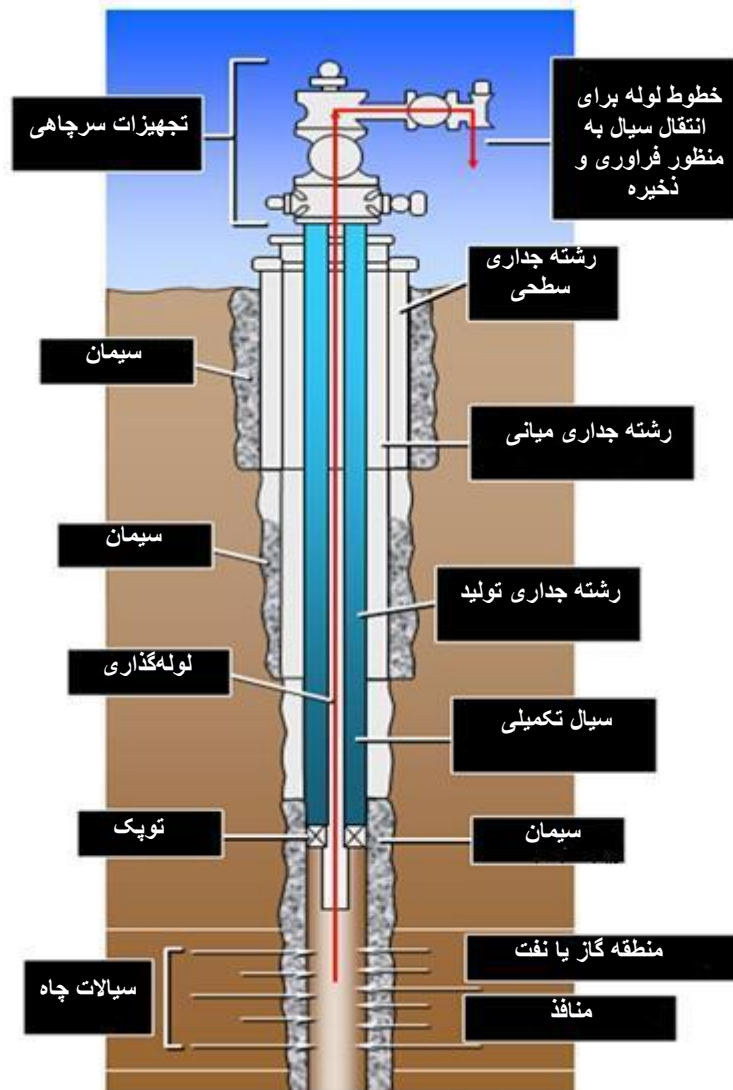
^۲- Casing

^۳- Cementing

جداره گذاری هر چاهی که مته حفاری درون لایه های زمین حفر می کند در مرحله ای از عملیات حفاری ضروری است. جداره گذاری به این معنی است که لوله های فولادی مخصوص به هم متصل و تا ته چاه رانده می شوند تا دیواره چاه به وسیله یک جداره فولادی پوشانده شود. به این نوع از لوله ها، لوله های جداری و به مجموعه به هم پیوسته آنها در چاه رشته جداری گفته می شود. رشته جداری به صورت یک لوله طولانی کشیده شده از ته چاه تا سطح، مسیر صاف و مشخصی را ایجاد می کند. در هر چاه نفت چندین بار جداره گذاری می شود و هر یک از رشته های جداری آن بر اساس دلایل عمومی و خاص رانده می شود. وضعیت زمین شناسی محل حفر چاه و خصوصاً عمق چاه و تغییرات شرایط و به ویژه فشار سازند از دلایل مهم راندن چندین رشته جداری در یک چاه است. هر رشته جداری پس از رسیدن به ته چاه حفر شده در آن مرحله سیمانکاری می شود. به این معنی که حجم لازم دوغاب ساخته شده از سیمان مخصوص چاه های نفت توسط پمپ های سیمان زنی از طریق رشته جداری به فضای دالیز بین دیواره چاه و بیرون رشته جداری فرستاده می شود. دوغاب سیمان پس از مدتی بسته و سفت شده و با تشکیل یک پیوند سیمانی قوی بین دیواره چاه و لوله های جداری، آنها را در محل خود برای همیشه محکم می کند [۹].

به طور کلی برای همه رشته های جداری می توان وظایف عمومی زیر را بر شمرد:

- ۱- ایجاد مجرای ثابت با قطر مشخص و دقیق؛ این مجرا این امکان را می دهد که از طریق آن کلیه مراحل بعدی حفاری شامل جداره گذاری و سیمانکاری تکمیلی و نیز بهره برداری انجام شود.
 - ۲- طبقات زمین را پوشانده و از هم مجزا و ارتباط بین آنها را قطع می کند و امکان می دهد که از لایه مشخص استخراج انجام شود.
 - ۳- امکان کاربرد وسایل کنترل چاه مانند شیرهای تولید را فراهم می کند.
- در طول عملیات حفاری یک چاه نفت آن را چندین بار باید جداره گذاری و سیمانکاری کرد. هر یک از رشته های جداری که در هر مرحله رانده می شود به خاطر یک سری از شرایط ویژه چاه بوده و باید کارهای خاص را انجام دهد و بر این اساس رشته های جداری یک چاه دسته بندی شده اند. انواع رشته های جداری شامل رشته جداری سطحی، میانی، رشته جداری تولید و رشته آستری می شوند. شکل (۱-۳) ساختار یک چاه نفت سیمانکاری شده را نشان می دهد.



شکل ۱-۳: ساختار یک چاه نفت سیمان کاری شده

۸-۱ مراحل سیمان کاری

فرآیند سیمان کاری، سه مرحله قبل از بندش سیمان، شامل مرحله دوغاب سیمان، مرحله ژله ای شدن و مرحله

بندش سیمان را طی می کند [۹].

۸-۱-۱ مرحله تشکیل دوغاب سیمان

در این مرحله، سیمان در حال حرکت با فاز پیوسته واکنش می دهد. این بدین معنی است که دوغاب سیمان در

نقاط مختلف در داخل چاه خواص رئولوژیکی متفاوتی خواهد داشت. دوغاب سیمان در طول زمان مخلوط شدن سیمان با

آب، از مدل سیال تابع قاعده توانی^۱، پیروی می کند. بعد از این دوره، سیمان از مدل سیال هرشل-بالکلی^۲ پیروی می کند که با معادله زیر بیان می شود:

$$\tau = \tau_y + k\gamma^n$$

در این مرحله K ثابت گرانروی و γ نرخ برش ژله‌ای شدن می باشد.

۱-۸-۲ مرحله ژله‌ای شدن سیمان

این مرحله بحرانی ترین مرحله ای است که بندش سیمان طی می کند. در این مرحله، دوغاب سیمان بیشتر فاز پیوسته خود (آب آزاد) را به شکل هرزروی در سازند از دست داده و دیگر جریان نمی یابد و دارای یک شکل سه بعدی تیکسوتروپیک^۳ است که ذرات سیمان را به هم متصل می کند. البته، این اتصالات به اندازه کافی قوی نیستند که دوغاب بالای خود را تحمل کنند. در طول این مرحله، سیمان چرخه نخست انبساط (از طریق واکنش آب و سیمان) و انقباض (واکنش کامل و اتصالات مولکولی) را طی می کند. در این مرحله حفظ فشار فضای حلقوی بین چاه و لوله جداری ممکن است به حذف خلل و فرج موضعی که در طول این مرحله تشکیل می شود کمک کند. پایداری به گرانروی سیالات غیرتیکسوتروپیک که تابع زمان هستند اطلاق می شود. در این طول این مرحله پایداری دوغاب سیمان به اندازه ۱۵۰ بار بیشتر از مقدار اولیه در حین مخلوط شدن است و تمام ذرات، اتصالات سه بعدی قوی تری تشکیل می دهند.

۱-۸-۳ مرحله بندش سیمان

دوغاب سیمان بعد از پمپ شدن و استقرار در سازندهای زمین شروع به ژله ای شدن کرده و بلافاصله بعد از این مرحله، بندش دوغاب آغاز می شود. در این مرحله، سیمان به دلیل واکنشی که با آب باقی مانده انجام می دهد به حداکثر انقباض خود می رسد. در مرحله بندش، سیمانی که با سازند متخلخل مواجه می شود، نیاز به آب بیشتری برای تکمیل واکنش خود دارد. با توجه به این که در مرحله ژله‌ای شدن، آب دوغاب به درون سازند نفوذ می کند لذا، واکنش

¹- Power Law

²- Herschel and Buckeley

³- Tixotropic

سیمان به دلیل در دسترس نبودن آب کافی تکمیل نشده و ذرات سیمان اتصالات نزدیک تری با هم خواهند داشت و این عامل، باعث ایجاد خلل و فرج در ساختمان خواهد شد.

۹-۱ کلاس‌های مختلف سیمان چاه نفت

کارخانه‌های سیمان امروزه ۹ کلاس مختلف سیمان ویژه‌ی چاه نفت تولید می‌کنند. پایه همه این سیمان‌ها، سیمان پرتلند است و همگی از آن مشتق شده‌اند، بر طبق دسته بندی انستیتوی نفت آمریکا^۱ (API) این سیمان‌ها را به ترتیب با حروف A, B, C, D, E, F, G, H و J نام‌گذاری کرده‌اند [۱۲].

سیمان‌های A, B و C سیمان‌های ساختمانی هستند لیکن آنها در سیمان‌کاری چاه‌های کم عمق نفت نیز استفاده می‌شوند.

سیمان‌های D, E و F دارای ترکیبات اکسیدی یکسانی بوده و به سیمان‌های کند بند^۲ معروف هستند. این سیمان‌ها را در کارخانه، علاوه بر گچ، به برخی مواد شیمیایی دیگر مثل کلسیم لینگوسولفونات آغشته می‌سازند تا زمان بندش دوغاب آنها طولانی‌تر شده و به این ترتیب میدان کاربریشان وسیع‌تر گردد. سیمان‌های G و H سیمان‌های پایه هستند و فاقد هرگونه افزودنی می‌باشند. سیمان J سیمان مخصوص چاه‌های عمیق و داغ است.

عواملی که باعث بروز تفاوت بین سیمان‌های ۹ گانه فوق می‌شوند عبارتند از :

۱- ترکیب مواد خام

۲- میزان نرمی دانه‌های سیمان

۳- میزان و نوع افزودنی‌های سیمان

در حقیقت بسته به اینکه ترکیبات مواد خام تغذیه شده به کوره دوار و دمایی که این مواد در کوره تحمل کرده‌اند و همچنین بسته به اینکه کلینکر سیمان در مرحله آسیاب تا چه اندازه نرم شده و در آنجا با چه افزودنی‌هایی و به چه میزان، آغشته شده است، کلاس سیمان فرق خواهد کرد.

¹- American Petroleum Institute

²- Oil well slow Set Coments

با کم و زیاد کردن عوامل فوق نه تنها می توان کلاس های مختلفی از سیمان چاه نفت را به وجود آورد بلکه می توان هر کلاس را در انواع گوناگونی نیز ساخت.

انواع سیمان های چاه نفت عبارتند از :

نوع معمولی^۱ (O)

نوع کم مقاوم در برابر سولفات ها^۲ (MSR)

نوع پرمقاوم در برابر سولفات ها^۳ (HSR)

۱-۹-۱ سیمان کلاس A

این سیمان که تنها در نوع معمولی ساخته می شود برای استفاده در عمق های صفر تا ۶۰۰۰ فوت (یا دماهای زیر ۱۷۰° F) مناسب است و در مواردی به کار می رود که از بتن، خواص ویژه و به خصوصی مورد نظر نباشد. این سیمان بهتر از سایر کلاس های سیمان عمل می کند و این به خاطر درصد بالای C₃A آن است که با افزودنی ها سازگاری دارد و زمان بندش دوغاب را کاهش و استحکام تراکمی سنگ آن را افزایش می دهد (البته همین درصد بالای C₃A در مواقعی که لازم است سیمان در برابر تهاجم آب های سولفات ه از خود مقاومت نشان دهد، یک نقطه ضعف محسوب می شود).

مشخصات فیزیکی این سیمان به قرار زیر است :

حداقل سطح جانبی ویژه ذرات = ۱۵۰۰ cm²/ gm

WCR^۴=۰/۴۶

حداقل استحکام تراکمی ۸ ساعته = ۲۵۰ PSI^۵ در ۱۰۰ درجه فارنهایت

حداقل استحکام تراکمی ۲۴ ساعته = ۱۸۰۰ PSI در ۱۰۰ درجه فارنهایت

حداقل زمان نیم بندش = ۹۰ دقیقه

^۱- Ordinary Type

^۲- Moderate Sulfate Resistant Type

^۳- High Sulfate Resistant Type

^۴- Water Cement Ratio

^۵- Pound Per Square Inch

برای تهیه دوغاب نرمالی از سیمان، از کلاس A (استاندارد API) باید هر کیسه ۹۴ پوندی آن را در ۰/۱۲۳۴ بشکه آب شیرین (معادل ۱۹/۶ لیتر) حل نمود. دوغابی که به این ترتیب به دست می‌آید^۱ ۱۱۷/۲۳ pcf وزن و ۰/۲۰۸۵ بشکه حجم خواهد داشت.

۱-۹-۲ سیمان کلاس B

این سیمان در دو نوع MSR و HSR ساخته می‌شود و برای استفاده در عمق‌های صفر تا ۶۰۰۰ فوت (در دماهای زیر ۱۷۰°F) مناسب است. از نظر ترکیبات شیمیایی، بسیار شبیه سیمان کلاس A می‌باشد لیکن غلظت C₃A آن کمتر است. از نظر مشخصات فیزیکی نیز دانه‌های آن معمولاً (ولی نه همیشه) درشت‌تر از دانه‌های سیمان کلاس A است. به‌خاطر همین دو تفاوت، زمان نیم‌بند شدن دوغاب آن بیشتر از زمان نیم‌بند شدن دوغاب سیمان کلاس A می‌باشد و توسعه استحکام سنگ آن کمتر از توسعه بتن اخیر است.

مشخصات فیزیکی سیمان کلاس B، طبق استاندارد API به قرار زیر است:

حداقل سطح جانبی ویژه ذرات = $1600 \text{ cm}^2/\text{gm}$

$\text{WCR} = 0.46$

حداقل استحکام تراکمی ۸ ساعته = ۲۰۰ PSI در ۱۰۰ درجه فارنهایت

حداقل استحکام تراکمی ۲۴ ساعته = ۱۵۰۰ PSI در ۱۰۰ درجه فارنهایت

حداقل زمان نیم بندش = ۹۰ دقیقه

۱-۹-۳ سیمان کلاس C

این سیمان در هر سه نوع O, MSR و HSR ساخته می‌شود و برای استفاده در عمق‌های صفر تا ۶۰۰۰ فوت (یا دماهای زیر ۱۷۰°F) مناسب است و در مواردی به‌کار می‌رود که از بتن، استحکام نخستین زیادی را توقع داشته باشند.

^۱ - Pound Cubic Foot

دانه‌های این سیمان نرمتر از دانه‌های سیمان‌های کلاس A و B است و به همین دلیل، توسعه استحکام در سنگ آن بیشتر از توسعه استحکام در بتن‌های یاد شده می‌باشد.

از معایب این سیمان می‌توان ثبات زیاد دوغاب آن را نام برد که این خود زائیده نرمی دانه‌های سیمان می‌باشد. نرم بودن دانه‌های این سیمان تمایل دوغاب آن را به ژله‌ای شدن افزایش می‌دهد. دوغاب‌های سیمان کلاس C، تیکسوتروپیک هستند و به واسطه خواص رئولوژیکی ضعیفی که دارند نمی‌تواند دیواره چاه را به خوبی تمیز کرده و آنرا سیمان‌کاری کنند. مضاف بر این‌ها، سیمان‌های کلاس C درمقابل کندگیرکننده‌ها و مواد کنترل کننده هرزآب، معمولاً از خود واکنش قابل ملاحظه‌ای نشان نمی‌دهند.

مشخصات فیزیکی سیمان کلاس C، استاندارد API به قرار زیر است:

حداقل سطح جانبی ویژه ذرات = $2200 \text{ cm}^2/\text{gm}$

$WCR = 0.56$

حداقل استحکام تراکمی ۸ ساعته = 300 PSI در 230°F درجه فارنهایت

حداقل استحکام تراکمی ۲۴ ساعته = 2000 PSI در 100°F درجه فارنهایت

حداقل زمان نیم بندش = ۹۰ دقیقه

برای تهیه دوغاب نرمالی از سیمان کلاس C (استاندارد API) باید هر کیسه ۹۴ پوندی آنرا در 0.15 بشکه آب شیرین (معادل $23/9$ لیتر) حل نمود. دوغابی که به این ترتیب به دست می‌آید 111 PCF وزن و 0.2353 بشکه حجم خواهد داشت.

۱-۹-۴ سیمان کلاس D

این سیمان که در دو نوع MSR و HSR ساخته می‌شود برای استفاده در چاه‌هایی با عمق ۶۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ فوت که فشار و دمای آن‌ها نسبتاً زیاد است مناسب می‌باشد (برای این گونه چاه‌ها $170 - 230^\circ\text{F} = \text{BHST}^1$). سیمان‌های

¹ - Botton Hole Static Temperature

خانواده D را در کارخانه معمولاً آغشته به "کلسیم لیگنوسولفونات" می کنند تا زمان بندش دوغاب آنها طولانی تر شود و به این ترتیب کاربردهای بیشتری پیدا کنند. شرکت های سیمان کار چاه های نفت نیز افزودنی هایی دارند که آنها را با درصد معینی به سیمان های کلاس D اضافه می کنند، بنابراین زمان بندش دوغاب های سیمان نیز افزایش می یابد. از چنین سیمان هایی می توان برای چاه های با عمق بیشتر از ده هزار فوت استفاده کرد. در کل برای آن که سیمان های کلاس D خواصشان توسعه یافته و کاربرد وسیع تری پیدا کنند در مقایسه با سایر کلاس های سیمان به افزودنی های شیمیایی کمتری نیاز دارند.

در عملیات حفاری دریایی که برای ساختن دوغاب سیمان معمولاً از آب دریا استفاده می شود می توان سیمان کلاس D را به کار برد، لیکن باید بخاطر داشت که آب دریا زمان بندش دوغاب را کاهش می دهد .

مشخصات فیزیکی سیمان کلاس D مطابق استاندارد API به قرار زیر است :

$$WCR = 0.38$$

PSI ۵۰۰ = حداقل استحکام تراکمی ۸ ساعته (زیر شدیول ۶S: PSI ۳۰۰۰، ۲۳۰ درجه فارنهایت)

PSI ۱۰۰۰ = حداقل استحکام تراکمی ۲۴ ساعته (زیر شدیول ۶S: PSI ۳۰۰۰، ۱۷۰ درجه فارنهایت)

PSI ۲۰۰۰ = حداقل استحکام تراکمی ۸ ساعته (زیر شدیول ۶S: PSI ۳۰۰۰، ۲۳۰ درجه فارنهایت)

۹۰ دقیقه = حداقل زمان نیم بند شدن (عمق ۶۰۰۰ فوت)

۱۰۰ دقیقه = حداقل زمان نیم بند شدن (عمق ۱۰۰۰ فوت)

برای تهیه دوغاب نرمالی از سیمان کلاس D، مطابق استاندارد API، باید هر کیسه ۹۴ پوندی آن را در ۱۰۱۹/۰

بشکه آب شیرین (معادل ۱۶/۲ لیتر) حل نمود، دوغابی که به این ترتیب به دست می آید PCF ۱۲۳/۵ وزن و ۱۸۷/۰ بشکه حجم خواهد داشت.

حجم عرف هر بشکه بین ۱۰۰ یا ۲۰۰ است. حتی بشکه های ۱۰۰۰ لیتری هم وجود دارد.

$$158.99 \text{ Litr} = 1 \text{ بشکه نفت خام}$$

هر پوند 453.56 گرم

۵-۹-۱ سیمان کلاس E

این سیمان در دو نوع MSR و HSR ساخته می‌شود و برای استفاده در چاه‌های با عمق ۱۰۰۰۰ تا ۱۴۰۰۰ فوت که فشار و دمای آنها زیاد است مناسب می‌باشد (برای این گونه چاه‌ها ۲۹۰-۲۳۰ درجه فارنهایت=BHST) مشخصات فیزیکی این سیمان به قرار زیر است :

$$WCR=0/38$$

۵۰۰ PSI = حداقل استحکام تراکمی ۸ ساعته (۳۰۰۰ PSI، ۲۹۰ درجه فارنهایت)

۱۰۰۰ PSI = حداقل استحکام تراکمی ۲۴ ساعته (۳۰۰۰ PSI، ۱۷۹۰ درجه فارنهایت)

۲۰۰۰ PSI = حداقل استحکام تراکمی ۸ ساعته (۳۰۰۰ PSI، ۲۹۰ درجه فارنهایت)

۱۰۰ دقیقه = حداقل زمان نیم‌بند شدن (عمق ۱۰۰۰۰ فوت)

۱۵۴ دقیقه = حداقل زمان نیم‌بند شدن (عمق ۱۴۰۰۰ فوت)

برای تهیه دوغاب نرمال سیمان کلاس E، مثل سیمان کلاس D عمل می‌شود.

۶-۹-۱ سیمان کلاس F

این سیمان در دو نوع MSR و HSR ساخته می‌شود و برای استفاده در چاه‌های با عمق ۱۰۰۰۰ تا ۱۶۰۰۰ فوت که فشار و دمای آنها بسیار زیاد است مناسب می‌باشد.

(برای این گونه چاه‌ها ۳۲۰-۲۳۰ درجه فارنهایت=BHST)

مشخصات فیزیکی این سیمان به قرار زیر است :

$$WCR=0/38$$

۵۰۰ PSI = حداقل استحکام تراکمی ۸ ساعته (۳۰۰۰ PSI، ۳۲۰ درجه فارنهایت)

1000 PSI = حداقل استحکام تراکمی 24 ساعته (3000، 2300 PSI درجه فانهیت)

1000 PSI = حداقل استحکام تراکمی 8 ساعته (3000، 2200 PSI درجه فانهیت)

100 دقیقه = حداقل زمان نیم بند شدن (عمق 1000 فوت)

190 دقیقه = حداقل زمان نیم بند شدن (عمق 1600 فوت)

برای تهیه دوغاب نرمال سیمان کلاس F، مثل سیمان کلاس D عمل می‌شود.

1-9-7 سیمان کلاس H و G

این سیمان در دو نوع MSR و HSR ساخته می‌شود و برای استفاده در عمق‌های صفر تا 8000 فوت (دماهای زیر 200 درجه فانهیت) مناسب است. لیکن با افزودن تندگیرکننده‌ها یا کندگیرکننده‌های مناسب، می‌توان زمان بندش دوغاب آنها را تغییر داد و به این ترتیب دامنه کاربردشان را وسیعتر ساخت و از آنها در عمق‌ها و دماهای بیشتر نیز استفاده کرد. از این رو این سیمان‌ها را در صنعت حفاری چاه نفت به عنوان سیمان پایه می‌شناسند. زیرا کارخانه، هیچ‌گونه افزودنی شیمیایی بجز ژپس به آنها اضافه نکرده است و به همین دلیل برنامه ریز می‌تواند آنها را به عنوان مبنا در نظر گرفته و با افزودن مواد شیمیایی لازم کیفیت و توانایی هایشان را برای چاه مورد نظر و شرایط آن متناسب و آماده سازد.

سیمان کلاس G نخستین بار در سال 1964 و سیمان کلاس H نخستین بار در سال 1967 ساخته شد. کارخانه‌های سیمان برای ساختن این سیمان‌ها از خود تمایل زیادتری نشان می‌دهند زیرا فکر می‌کنند اگر روزی به دلیل رکود حفاری نتوانند آنها را به عنوان سیمان چاه نفت بفروشند، در این صورت آنها را با سیمان‌های ساختمانی مخلوط کرده و به این عنوان به فروش می‌رسانند. در جدول زیر مشخصات فیزیکی سیمان‌های کلاس G و H نشان داده شده است.

جدول ۱-۴: مشخصات فیزیکی کلاس‌های G و H

مشخصات فیزیکی	کلاس سیمان G	کلاس سیمان H
WCR	۰/۴۴	۰/۳۸
حداکثر آب آزاد	۳/۵ ml (۱/۴۷)	۳/۵ ml (۱/۴۷)
حداقل استحکام تراکمی ۸ ساعته	۳۰۰ PSI	۳۰۰ PSI
حداقل زمان نیم‌بند شدن (عمق ۸۰۰۰ فوت)	۹۰ دقیقه	۹۰ دقیقه

چنان‌که از این جدول بر می‌آید تنها تفاوت فیزیکی این سیمان‌ها WCR آنها است: دوغاب نرمال سیمان کلاس H سنگین‌تر از دوغاب نرمال سیمان کلاس G است

برای تهیه دوغاب نرمال سیمان کلاس G باید هر کیسه ۹۴ پوندی آنرا در ۰/۱۱۸ بشکه آب شیرین (معادل ۱۸/۷۶ لیتر) حل نمود. دوغابی که به این ترتیب به دست می‌آید ۱۱۸/۷ PCF وزن و ۰/۲۰۳۱ بشکه حجم خواهد داشت. برای تهیه دوغاب نرمال سیمان کلاس H باید مثل سیمان کلاس D عمل کرد.

۱-۹-۸ سیمان کلاس J

این سیمان نیز مانند سیمان‌های پایه، فاقد هرگونه افزودنی شیمیایی به‌جز ژپس است لیکن می‌توان با استفاده از تندگیرکننده‌ها یا کندگیرکننده‌های مناسب دامنه کاربرد آنرا وسیع‌تر ساخت. سیمان کلاس J برای استفاده در چاه‌هایی با عمق ۱۲۰۰۰ تا ۱۶۰۰۰ فوت که فشار و دما در ته این چاه‌ها بسیار زیاد است؛ مناسب می‌باشد.

منابع:

- [1] M. Michaux, E. B. Nelson, B. Vidick, Chemistry and Characterization of Portland Cement, in: E. B. Nelson (Eds.), Well cementing, Schlumberger, texas, 1990, chapter 2.
- [2] V.S. Ramachandran, R.f. Feldman, Concrete science, in: V.S. Ramachandran (Eds.), Concrete Admixtures Hansbook: Properties, Science, and Technology, Noyes Publication, New Jersey, 1995. Chapter 1.
- [۳] الف. م. نویل. سیمان پرتلند، مترجم نرمین عسگری، مرکز تحقیقات مسکن، تهران، ۱۳۸۶.
- [۴] الف. م. نویل و جی. جی. بروکس. تکنولوژی بتن، مترجمان دکتر علی اکبر رمضانپور و دکتر محمد رضا شاه نظری. آذرنگ، تهران، ۱۳۸۶.
- [۵] محمدرضا عزیزیان. تکنولوژی پخت سیمان، تهران، کتاب دانشجو،
- [6] M. J. Economides, Implications of Cementing on Well Performance. in: E. B. Nelson (Eds.), Well cementing, Schlumberger, texas, 1990, chapter 1.
- [7] J.K. Fink, Cement additive, in: J.K. Fink (Eds.) Oil Field Chemicals, Elsevier, 2003 chapter 10.
- [8] J. Bensted; Admixtures for Oil well cements, in: V.S. Ramachandran (Eds.), Concrete Admixtures Hansbook: Properties, Science, and Technology, Noyes Publication, New Jersey, 1995. Chapter 18.
- [۹] بیژن اسدی، اصول برنامه ریزی و عملیات سیمانکاری چاه نفت، چاپخانه مرکزی شرکت نفت اهواز، اهواز، ۱۳۶۲.
- [10] L. Burdylo, G. Birch, Primary Cementing Techniques, in: E. B. Nelson (Eds.), Well cementing, Schlumberger, texas, 1990, chapter 12.
- [11] C. Marca; Remedial Cementing, in: E. B. Nelson (Eds.), Well cementing, Schlumberger, texas, 1990, chapter 13.
- [12] Anonymous. Well cements. *API Spec*, 10a 1/1/95, 1995.

فصل دوم

**طراحی دوغاب سیمان
جهت استفاده در عملیات
سیمان کاری چاه های نفت**

۲-۱ مقدمه

پس از حفر چاه و راندن رشته لوله های جداری به درون چاه باید فضای حلقوی بین دیواره چاه و لوله های جداری طی عملیات سیمان کاری از دوغاب سیمان پر شود. سیمان کاری چاه دارای اهمیت ویژه ای می باشد که از جمله فواید مهم آن می توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱. محافظت از لوله های جداری در برابر فشارهای ناشی از لایه های مختلف زمین.
 ۲. جلوگیری از خوردگی شیمیایی ناشی از مواد خورنده زیرزمینی.
 ۳. جلوگیری از جابجایی سیال موجود در یک سازند به سازند دیگر.
 ۴. پر کردن و مسدود کردن مقاطع ضعیف و شکننده چاه توسط سیمان.
- برای طراحی یک دوغاب سیمانی مناسب، باید پارامترهای مختلفی را مد نظر قرار داد. تمام پارامتر های مورد نظر به شرایط چاه حفر شده بستگی دارد. در طراحی یک دوغاب سیمان علاوه بر دما و فشار چاه باید عوامل زیادی را در نظر گرفت که شرح آنها آورده شده است.

۱-۱-۲ عوامل مهم در تهیه دوغاب سیمان

۱-۱-۲-۱ نوع آب مورد استفاده برای ساخت دوغاب سیمان

آب مورد استفاده برای تهیه دوغاب سیمان بهتر است پاک و تمیز باشد. در بعضی از موارد چاه در مناطقی حفر شده است که دسترسی به آب پاک و تمیز سخت است و نزدیک ترین منبع تأمین آب آن منطقه نیز دارای آب مناسبی نمی‌باشد. در چنین مواقعی و در شرایط حساس، آزمون‌های مربوط به دوغاب سیمان مورد نظر را با آب همان منطقه نیز باید انجام داد.

۱-۱-۲-۲ دانسیته دوغاب سیمان

دانسیته دوغاب سیمان متناسب با وزن گل و شرایط کنترل چاه تعیین می‌گردد. برای تهیه دوغاب‌های سبک وزن معمولاً از مواد سبک کننده و برای دوغاب‌های سنگین از مواد وزن افزا استفاده می‌شود. معمول‌ترین سبک کننده دوغاب سیمان بنتونیت و معمولترین وزن افزا را با نام تجاری هایدنس می‌شناسند. برای اندازه‌گیری دانسیته دوغاب سیمان از ترازوی گل^۱ استفاده می‌شود. در شکل ۱-۲ تصویری از یک ترازوی گلمشاهده می‌شود.



¹ - Mud Balance

شکل ۲-۱: تصویری از ترازوی گل

در حالت کلی از این وسیله برای اندازه گیری وزن گل استفاده می شود. این دستگاه از بخش‌های مختلفی تشکیل شده است که عبارتند از: پایه، پیچ ترازو، درپوش گل و تکیه‌گاه.

نکته مهم در کاربرد این وسیله این است که باید همیشه خشک و تمیز باشد تا دقت کافی را داشته باشد. برای استفاده از این وسیله ابتدا تکیه‌گاه را بر روی یک سطح تخت قرار می‌دهیم، سپس ظرف گل را از سیال حفاری پر کرده و در پوش آن قرار داده می‌شود طوری که از در پوش، گل بیرون بزند. بعد از تمیز کردن گل‌های زائد، بر روی تکیه‌گاه قرار داده می‌شود و وزنه‌ی بازو آن‌قدر حرکت داده می‌شود تا حباب تنظیم درست در وسط قرار بگیرد در این صورت عدد مقابل پیکان وزنه یادداشت می‌شود. برای اطمینان از دقت این دستگاه معمولاً آن را با آب کالیبره می‌کنند، به این صورت که ابتدا آن را بر روی یک سطح صاف و تخت قرار داده و ظرفش را از آب پر می‌کنند. اگر در این حالت دستگاه عدد را نشان داد، دستگاه کالیبره است. در غیر این صورت می‌توان آن را با پیچ تنظیم کالیبره کرد.

۲-۱-۱-۳ میزان جدایش فازهای مختلف تشکیل دهنده دوغاب سیمان

میزان جدایش آب و افزایش‌ها از فاز سیمانی دوغاب سیمان در کیفیت سیمان کاری یک چاه تأثیرگذار می‌باشد. این مسئله به خصوص در دوغاب‌های سیمانی سبک وزن که درصد آب آنها بیشتر است از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد. برای بررسی این موضوع معمولاً پانصد میلی لیتر از دوغاب سیمانی تهیه شده را در یک بشر ریخته و به مدت سه ساعت در یک مکان ثابت قرار می‌دهند. مقدار فاز جدا شده از فاز سیمانی دوغاب نباید چشمگیر باشد. در صورتی که یک دوغاب با میزان جدایش بالا به درون چاه پمپ شود امکان عدم ثبات دوغاب سیمان مناسب در قسمت بالایی فضای حلقوی بین لوله‌های جداری و دیواره چاه افزایش پیدا می‌کند.

۲-۱-۱-۴ خواص رئولوژی دوغاب سیمان

دوغاب سیمان باید دارای خواص رئولوژی مطلوبی باشد. خواص رئولوژی خوب در جابجایی دوغاب سیمان و گل بسیار مؤثر است. معمولاً میزان فاز آب و جامد سازنده دوغاب سیمان در خواص رئولوژی آن تأثیرگذار است. این عامل مهم معمولاً در دوغاب‌های سنگین وزن که حاوی مواد وزن افزا هستند به صورت یک امر الزامی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

ویسکوزیته پلاستیکی و نقطه تسلیم دو پارامتر مهم از خواص رئولوژی می‌باشند که باید محاسبه گردند. مواد روان کننده و معلق ساز در بهبود خواص رئولوژی دوغاب سیمان بسیار موثر می‌باشند. معمولاً در دوغاب‌های سنگین با تغییر اندازه مواد کندکننده^۱ و پراکنده ساز^۲ خواص حرکتی دوغاب را در شرایط مطلوب قرار می‌دهند. در شکل ۲-۲ دستگاه ویسکومتر که برای اندازه‌گیری خواص رئولوژی دوغاب سیمان مورد استفاده قرار می‌گیرد مشاهده می‌شود.



شکل ۲-۲: دستگاه ویسکومتر

۲-۱-۱-۵ میزان آب از دست دادگی دوغاب سیمان

در برخی از عملیات سیمان کاری به‌ویژه در سیمان کاری‌های تزریقی و سیمان کاری آستری‌ها کنترل صاف آب دوغاب سیمان بسیار مهم است. از دست رفتن آب فیلتره سیمان در یک محیط با قابلیت تراوایی متوسط باعث افزایش گرانیروی دوغاب و رسوب سریع کیک فیلتره می‌شود. عوامل زمان، فشار، دما و قابلیت تراوایی بر افت صافی دوغاب‌های سیمان تأثیرگذارند. برای اندازه‌گیری افت صافی دوغاب سیمان در آزمایشگاه از دستگاه Filter Press تحت فشار و دما استفاده می‌شود. در شکل ۲-۳ نمونه‌ای از دستگاه اندازه‌گیری آب از دست دادگی دوغاب سیمان مشاهده می‌شود.

^۱ - Retarder

^۲ - Dispersant



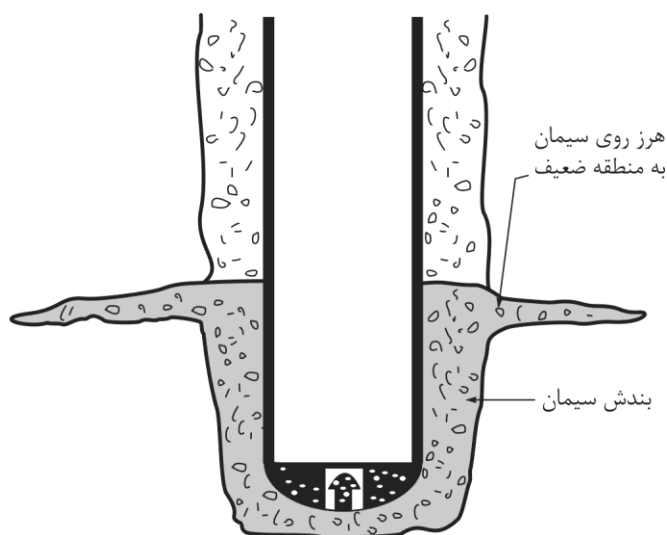
شکل ۲-۳: نمونه‌ای از دستگاه اندازه‌گیری آب از دست دادگی دوغاب سیمان حفاری

دستگاه اندازه‌گیری افت صافی دوغاب سیمان در حالت استاتیک، دارای سلی می‌باشد که در قسمت تحتانی خود دارای دو فیلتر با مش ۲۰۰ و ۳۲۵ می‌باشد. همچنین دارای یک ژاکت حرارتی است که در اطراف سل قرار گرفته و درجه حرارت دوغاب را در دمای مورد نظر ثابت نگه می‌دارد. در قسمت تحتانی دستگاه یک نازل وجود دارد که آب دوغاب از طریق باز کردن شیر آن، می‌تواند خارج شود. دوغاب درون سل تحت فشار حدود ۱۰۰۰ PSI قرار می‌گیرد تا فشار هوا روی دوغاب اعمال شود. همزمان با اعمال فشار به دوغاب، شیر نازل باز می‌شود و سپس مقدار مایع خارج شده از نازل دستگاه را در یک سیلندر مدرج ریخته و حجم صافاب یادداشت می‌شود. البته زمان خروج صافاب نیز اندازه‌گیری می‌شود که حداکثر زمان می‌تواند ۳۰ دقیقه باشد.

۲-۱-۱-۶-هرزروی

یکی دیگر از پارامترهایی که در طراحی یک دوغاب سیمان باید مورد توجه قرار گیرد شرایط چاه از لحاظ هرزروی می‌باشد. در صورتی که شاهد هرزروی در بخشی از چاه باشیم باید دوغاب را متناسب با این وضعیت طراحی نمود. به همین منظور از مواد کنترل کننده هرزروی در ساخت دوغاب سیمان استفاده می‌شود. مواد کنترل کننده هرزروی باید از نظر دانه بندی به گونه‌ای باشند که امکان پمپ کردن آنها توسط تجهیزات موجود وجود داشته باشد. همچنین در انتخاب مواد باید اندازه

شکاف و درزهای موجود را نیز مورد توجه قرار داد. اگر اندازه شکاف‌ها بسیار زیاد باشد به گونه‌ای که مواد کنترل کننده هرزروی مفید نباشند باید از دوغاب‌های سیمانی با بندش سریع استفاده نمود. در شکل ۲-۴ شمایی از هرزروی دوغاب سیمان در یک شکاف نمایش داده شده است.



شکل ۲-۴ شمایی از هرزروی دوغاب سیمان در شکاف

۲-۱-۱-۷ زمان نیم بندش دوغاب سیمان

بحث زمان نیم بندش در طراحی دوغاب سیمان با زمان پمپاژ مورد نیاز برای عملیات سیمان‌کاری در ارتباط می‌باشد. در واقع زمان نیم بندش یک دوغاب سیمان طراحی شده، باید حتماً قبل از استفاده عملیاتی از این دوغاب مورد بررسی قرار گیرد. یک مهندس برنامه ریز سیمان با محاسبه زمان پمپاژ مورد نیاز جهت عملیات سیمان‌کاری و در نظر گرفتن مقداری زمان اضافی جهت ایمنی کار (معمولاً نصف زمان محاسبه شده را به آن اضافه می‌کنند)، انتظار دارد که وضعیت گرانروی دوغاب سیمان در این مدت زمان جهت پمپاژ مطلوب باشد. به طور کلی مهندسان برنامه ریز مقدار ۲۷ سانتی پواز را به عنوان نهایت پایداری ویسکوزیته دوغاب سیمان جهت پمپاژ در شرایط عملیاتی در نظر می‌گیرند. به عنوان مثال، اگر زمان پمپاژ مورد نیاز برای انجام یک عملیات سیمان‌کاری ۱۲۰ دقیقه محاسبه شده باشد با در نظر گرفتن ۶۰ دقیقه به عنوان زمان اضافی مجموعاً ۱۸۰ دقیقه زمان مد نظر می‌باشد و باید آزمون مربوط به این دوغاب سیمان طی

مدت زمان ۱۸۰ دقیقه در دستگاه اندازه گیری زمان نیم بندش دوغاب سیمان مورد ارزیابی قرار گیرد. حال نباید مقدار ویسکوزیته دوغاب سیمان در این مدت زمان از ۲۷ سانتی پواز تجاوز کند. در صورت تجاوز از این مقدار، برنامه ریز با تغییر برنامه که معمولاً با افزایش مقدار مواد کندکننده زمان بندش همراه است شرایط را بهبود می‌دهد.

بررسی زمان نیم بندش دوغاب سیمان بسته به شرایط (دما و فشار) در دو دستگاه متفاوت می‌تواند انجام شود. در صورتی که دما پایین و فشار خاصی مد نظر نباشد این ارزیابی در دستگاه کانسیستومتر تحت فشار اتمسفر انجام می‌پذیرد. اما در صورتی که جهت ارزیابی، فشاری بالاتر از فشار اتمسفر مد نظر باشد این آزمون در دستگاه کانسیستومتر تحت فشار انجام می‌پذیرد. در شکل ۲-۵ نمونه‌ای از دستگاه‌های کانسیستومتر تحت فشار مشاهده می‌شود.



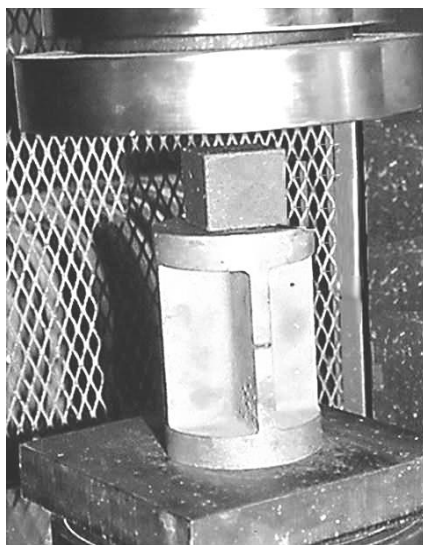
شکل ۲-۵: نمونه‌ای از دستگاه کانسیستومتر تحت فشار

ساختمان دستگاه شامل یک جعبه از جنس فولاد ضد زنگ است که داخل آن به دو قسمت تقسیم شده است: در یک قسمت، موتور و تسمه انتقال نیرو و در قسمت دیگر یک وان آب قرار دارد که لیوان‌های (سل نمونه) برنجی محتوای دوغاب سیمان را می‌توان در آن قرار داد. لیوان‌ها همزمان با سرعت 150 rpm می‌چرخند. آب داخل وان، به وسیله دو المنت گرمازا که هر یک ۶۰ وات قدرت دارند گرم می‌شوند. دمای آب، توسط یک ترموستات روی عدد دلخواه بین

۲۰۰°F تا دمای محیط بطور اتوماتیک کنترل می‌شود. پایداری دوغاب سیمان در هر لحظه از طریق یک همزن شبکه‌ای^۱ ثابت از جنس فولاد ضدزنگ به یک فنر حلزونی که در انتهای خود، عقربه‌ای دارد منتقل شده و اندازه آن برحسب سانتی پواز (CP) بوسیله این عقربه و از روی صفحه مدرج سرپوش خوانده می‌شود.

۸-۱-۱-۲ استحکام تراکمی سنگ سیمان

نکته دیگر که در طراحی دوغاب سیمان حائز اهمیت می‌باشد، استحکام تراکمی حاصل از سنگ سیمان دوغاب طراحی شده می‌باشد. پس از انجام عملیات سیمان‌کاری برای نگه داشتن لوله‌های جداری به حد اقل استحکام سنگ سیمان نیاز است. به همین جهت در طراحی دوغاب سیمان و تعیین مقدار افزایه‌ها باید دقت نمود (به خصوص در مقدار افزایه‌های کندکننده زمان بندش و روان‌کننده‌های دوغاب سیمان). در شکل‌های ۲-۶ و ۲-۷ نمونه‌ای از قالب‌های سیمانی و همچنین نحوه قرارگیری قالب در دستگاه پرس هیدرولیکی برای اندازه‌گیری استحکام تراکمی مشاهده می‌شود.



شکل ۲-۶: نحوه‌ی قرارگیری قالب در دستگاه پرس هیدرولیکی

^۱- Paddle



شکل ۲-۷: نمونه‌هایی از قالب‌های سیمانی

۲-۲ انواع سیمان کاری

۲-۲-۱ سیمان کاری اولیه

مجموعه عملیاتی را که برای سیمان کاری فضای حلقوی بین یک چاه و لوله های پوششی آن انجام می‌شود و مقاصد فوق را برآورده می‌کند سیمان کاری اولیه^۱ می‌نامند. سیمان کاری اولیه یک تکنیک حفاری برای جابجایی دوغاب سیمان در فضای حلقوی میان لوله جداری و دیواره چاه می‌باشد که بلافاصله پس از راندن رشته جداری و رسیدن آن به ته چاه انجام می‌شود. بنابراین سیمان کاری اولیه یک مرحله بحرانی در طول حفاری و تکمیل یک چاه می‌باشد و باید به دقت طراحی و اعمال شود. علاوه بر جدایش لایه‌ها، سیمان باید رشته جداری را خوب بچسباند و از آن در برابر خوردگی که سیال سازند ممکن است به وجود آورد محافظت کند. لوله جداری سیمان نشده هنگامی که در معرض آب‌های بسیار گرم سازند و H_2S و CO_2 قرار می‌گیرد می‌تواند به سرعت خورده شود و همچنین به علت سرعت بالای تولید سیال در معرض فرسایش واقع شود. در مناطقی از چاه که سیمان ضعیف باشد، بارهای تنش‌های جانبی می‌تواند موجب بیضی شدن و کمانش یا حتی مچاله شدن کامل بر اثر فشار غالب در نقطه ای مخصوص شود. سیمان کاری پشت لوله‌های

جداری راهنما^۱، سطحی^۲، میانی^۳ و تولیدی یا عمیق^۴ و نیز سیمان کاری پشت لوله‌های آستری (Liner) را باید در زمره‌ی سیمان کاری های نخستین به حساب آورد و به این ترتیب می توان دلیل سیمان کاری نخستین یک چاه نفت یا گاز را در دو کلمه محافظت^۵ و ممانعت^۶ خلاصه کرد. سیمان به دیواره چاه ثبات می دهد و لوله‌های جداری را در مقابل فشارهای خارجی ناشی از طبقات زمینی که ممکن است حتی باعث درهم شکسته شدن و خرد شدن لوله ای گردند و نیز در مقلبل الکترولیز و خوردگی که ناشی از آب‌های خورنده زیرزمینی یا تماس مستقیم لوله ها با چینه هاست محافظت می کند و از مهاجرت سیالات یک سازند به سازند دیگر و آلوده شدن ناخواسته نفت و گاز ممانعت به عمل می آورد. در یک جمله، سیمان کاری نخستین، موثرترین و مقرون به صرفه ترین روش برای جدا کردن مناطق مختلف یک چاه نفت یا گاز است.

سیمان کاری نخستین، بر حسب عمق چاه و شرایط دیواره آن ممکن است در یک، دو و یا سه مرحله انجام شود که در این صورت آن را به ترتیب سیمان کاری نخستین یک مرحله‌ای، دو مرحله‌ای یا سه مرحله‌ای می‌گویند. در ایران سیمان کاری بیشتر چاه‌های نفت و گاز در یک مرحله انجام می‌شود ولی مواردی هم وجود داشته است که سیمان کاری در سه مرحله صورت گرفته است.

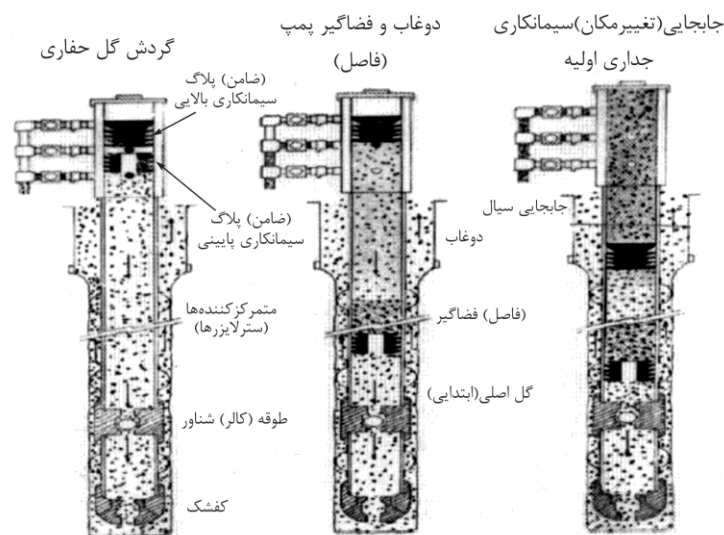
وظایف اصلی سیمان کاری اولیه را می‌توان در موارد ذیل خلاصه کرد:

- ۱- از مهاجرت گاز^۷ و حرکت سایر سیالات بین سازند و سطح زمین جلوگیری می‌کند.
 - ۲- تکیه گاه و پشتیبانی برای رشته جداری مهیا می‌سازد.
 - ۳- از آلودگی سازندهای (سفره‌های) آب‌ده جلوگیری می‌نماید.
 - ۴- از خوردگی رشته جداری جلوگیری می‌کند (با جلوگیری از تماس لوله با آب‌های حاوی مواد خورنده)
- اغلب سیمان کاری اولیه به وسیله پمپ کردن دوغاب سیمان به داخل لوله جداری و بالا آمدن آن در فضای حلقوی انجام می‌شود.

1- Conductor Casing
2- Surface Casing
3- Intermediate Casing
4- Production Casing
5- Protection
6- Pervention
7- Gas Migration

۲-۱-۲-۱ سیمان کاری یک مرحله‌ای

این نوع سیمان کاری طی یک مرحله انجام می‌شود. برای انجام این نوع سیمان کاری فقط از یک طوقه لوله وصل کن^۱ در رشته لوله‌های جداری استفاده می‌شود. این نوع سیمان کاری در سیمان کاری پشت لوله‌های جداری راهنمای سطحی، میانی و تولیدی کاربرد دارد. اکثر سیمان کاری‌های چاه‌های نفت در ایران به روش یک مرحله‌ای می‌باشد. در شکل ۲-۸ روند انجام کار مشاهده می‌شود.



شکل ۲-۸: روند انجام سیمان کاری یک مرحله‌ای

۲-۱-۱-۲-۲ سیمان کاری جداری راهنما

قرار دادن لوله جداری در عمق ۳۰ تا ۱۰۰ فوت به سیمان کاری جداری راهنما معروف است.

از جمله ویژگی‌های این سیمان کاری می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱. قطر خارجی لوله‌های جداری در این کار بین ۲۰ تا ۳۰ اینچ می‌باشد.

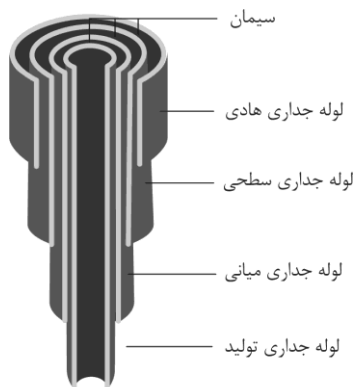
۲. نوع سیمان مصرفی، خالص و زودبند^۲ است و سیمان کاری بدون استفاده از پلاگ و یا حائل انجام می‌شود.

1 - Collar

۱- سیمان زودبند، سیمانی است که در حداقل زمان به استحکام مورد نظر برسد.

۳. پلاگ‌های این کار معمولاً دارای اسکلت چوبی و بدنه‌ای از جنس کرباس هستند.

در شکل ۲-۹ تصویری از سیمان کاری جداری راهنما مشاهده می‌شود.



شکل ۲-۹: سیمان کاری جداری راهنما

۲-۱-۱-۲-۲ سیمان کاری جداری سطحی

قرار دادن لوله جداری در عمق ۱۰۰ تا ۳۰۰ فوت به سیمان کاری جداری سطحی معروف است.

از جمله ویژگی‌های این سیمان کاری می‌توان به موارد زیر اشاره نمود :

۱. قطر لوله‌های جداری بین ۷/۶۲۵ اینچ برای چاه‌های کم عمق و ۲۰ اینچ برای چاه‌های عمیق است.

۲. احتمال گیر کردن لوله جداری به‌ویژه در سازندهای سست وجود دارد.

۳. احتمال گم شدن گل و دوغاب سیمان وجود دارد.

۴. در اطراف پاشنه جداری سیمان خالص و در مقاطع بالاتر سیمان ناخالص به کار می‌رود.

۲-۱-۱-۲-۳ سیمان کاری جداری میانی

قرار دادن لوله جداری در عمق ۱۵۰۰ تا ۲۵۰۰ فوت به سیمان کاری جداری میانی معروف است.

از جمله ویژگی‌های این سیمان کاری می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱. اندازه لوله‌های جداری ۷/۵ ، ۵/۵ ، ۴/۵ اینچ می‌باشد.

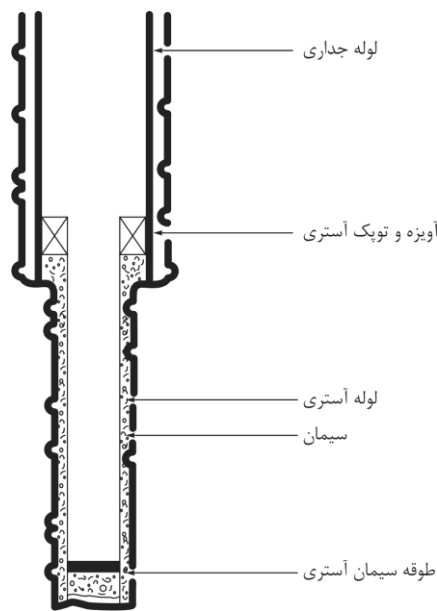
۲. دوغاب سیمان باید سنگین باشد تا بتواند با فشارهای بیش از اندازه چاه مقابله کند.
۳. ^۱WCR سیمان، به خصوص در لایه تولیدی باید پایین باشد تا استحکام تراکمی سیمان زیاد شود.
۴. در ناحیه پاشنه سیمان خالص با استحکام تراکمی زیاد و در بالای آن سیمان ناخالص به کار می‌رود.

۲-۲-۱-۱-۴ سیمان کاری جداری تولیدی یا عمیق

- از جمله ویژگی‌های این سیمان کاری می‌توان به موارد زیر اشاره نمود :
۱. اندازه لوله های جداری ۴/۵ , ۵/۵ , ۷ اینچ می‌باشد.
۲. دوغاب سیمان باید سنگین باشد تا بتواند با فشارهای بیش از اندازه چاه مقابله کند.
۳. ^۱WCR سیمان، به خصوص در لایه تولیدی باید پایین باشد تا استحکام تراکمی سیمان زیاد شود.
۴. در ناحیه پاشنه، سیمان خالص با استحکام تراکمی زیاد و در بالای آن سیمان ناخالص به کار می‌رود.

۲-۲-۱-۱-۵ سیمان کاری آستری

سیمان کاری آستری نیز بخشی از سیمان کاری اولیه می‌باشد. لوله‌های آستری توسط لوله‌های حفاری پایین برده شده و توسط آویزه‌ی لوله آستری در جای خود (چند متر مانده به انتهای لوله‌های جداری) نصب می‌گردد. پس از نصب، سیمان کاری نیز از طریق لوله‌های حفاری انجام می‌شود. میزان سیمان مورد نیاز برای سیمان کاری آستری شامل حجم فضای بین طوقه لوله وصل کن (کالر) و کفشک به علاوه حجم فضای بین آستری و چاه باز و فضای بین آستری و لوله جداری و یک مقدار اضافه می‌باشد. در شکل ۲-۱۰ نمایی از یک آستری سیمان کاری شده را مشاهده می‌شود.



شکل ۲-۱۰: نمایی از یک لوله آستری سیمان کاری شده

۲-۱-۲-۲ سیمان کاری چند مرحله‌ای

اگرچه سیمان کاری بیشتر چاه های نفت و گاز در ایران به روش سنتی (یعنی در یک مرحله) انجام می شود، اما از آنجا که چاه گاهی محدودیت‌های ویژه‌ای را پیش پای اپراتور می‌گذارد که سیمان کاری را در یک مرحله مشکل (و شاید هم غیر ممکن) می‌سازد. لذا در این‌گونه موارد باید برنامه سیمان کاری چاه را در دو مرحله (یا بیشتر) طراحی و اجرا کرد. به طور کلی سیمان کاری چند مرحله‌ای شامل سیمان کاری دو مرحله‌ای و سه مرحله‌ای می‌شود.

۲-۱-۲-۲-۱ سیمان کاری دو مرحله‌ای

سیمان کاری دو مرحله‌ای روش خاصی است در سیمان کاری چاه نفت که طی آن دالان چاه، در دو نوبت سیمان کاری می‌شود: در نوبت اول، قسمت پایین دالان و در نوبت دوم، قسمت بالای آن از دوغاب سیمان پر می‌گردد. این روش سیمان کاری را می‌توان در سیمان کاری جداری سطحی، جداری میانی و جداری تولیدی به کار برد. قلب سیمان کاری دو مرحله‌ای وسیله‌ای است به نام (Differential Valve Cementer) که آن را به نام‌های دیگری نیز می‌شناسند. محل قرار گرفتن این وسیله روی رشته لوله های جداری، بستگی به وضعیت سازندهای چاه لخت دارد. معمولاً آن را کمی بالاتر از سازندهای ضعیف و شکننده چاه که امکان گم شدن دوغاب سیمان در آنها زیاد است قرار می‌دهند و

درست در زیر آن یک سبد سیمان کاری^۱ نصب می‌کنند تا ارتباط دو قسمت دالان چاه با یکدیگر از نظر فشار هیدرواستاتیک قطع شود. DV Collar دارای ساختمانی کاملاً منحصر به فرد است. در شکل (۱۱-۲) یک نمونه DV Collar به همراه پلاگ های مرتبط مشاهده می‌شود.

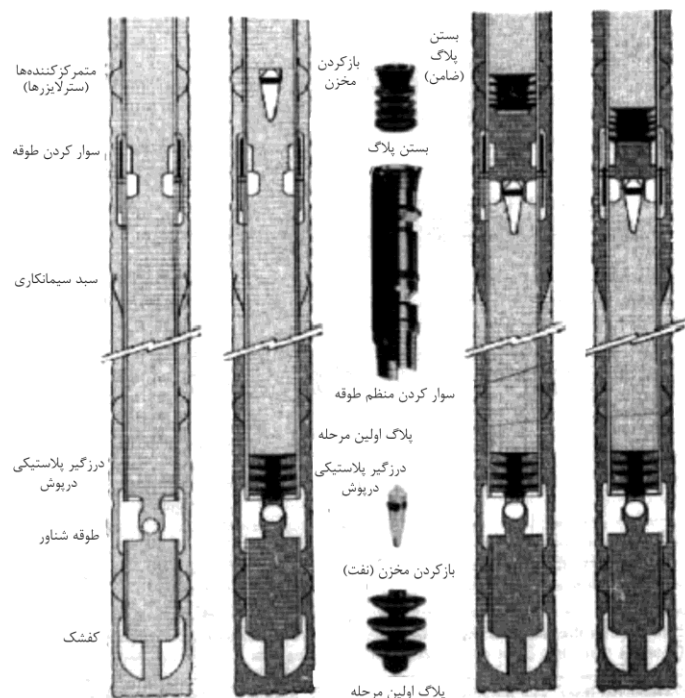


شکل ۱۱-۲: یک نمونه DV-Collar به همراه پلاگ‌های مرتبط

۱-۲-۱-۲-۲ نحوه انجام سیمان کاری دو مرحله‌ای

ابتدا سیمان مرحله اول که قرار است فضای پایین دالان چاه را در بر گیرد پمپ شده، پلاگ اول پشت سیمان قرار می‌گیرد و گل حفاری پمپ می‌شود. opening bomb را رها کرده تا دریچه Stage Collar باز شود و سپس سیمان مرحله دو را پمپ می‌کنند تا فضای بالای دالان چاه را در بر گیرد. پشت سیمان مورد نظر پلاگ دوم قرار گرفته و عمل جابجایی سیمان مرحله دو توسط گل انجام می‌شود. روند انجام این نمونه سیمان کاری در شکل (۱۲-۲) نشان داده شده است.

1 - Cementing Basket



شکل ۲-۱۲: روند انجام سیمان کاری

۲-۲-۱-۲-۲ سیمان کاری سه مرحله‌ای

سیمان کاری سه مرحله ای در اصول با سیمان کاری دو مرحله‌ای یکی است. حتی در نوع مکانیسم شبیه آن است و تنها در تعداد DV Collar و پلاگ‌ها و نوع آن‌ها با آن فرق می‌کند. در سیمان کاری سه مرحله‌ای از دو DV Collar استفاده می‌شود. این DV Collar ها که به فاصله معینی از هم روی رشته لوله‌های جداری نصب می‌شوند، اگرچه از نظر ظاهر مثل هم هستند، لیکن ساختمان داخلی آن‌ها اندکی با هم متفاوت است.

۲-۲-۲ سیمان کاری ثانویه

علاوه بر سیمان کاری های اصلی که عمدتاً به عنوان سیمان کاری اولیه شناخته می‌شوند، چندین نوع سیمان کاری دیگر نیز وجود دارد که به نوعی برای تکمیل سیمان کاری اولیه و یا به عنوان یک عملیات سیمان مجزا به کار گرفته می‌شوند که به سیمان کاری ثانویه معروف است.

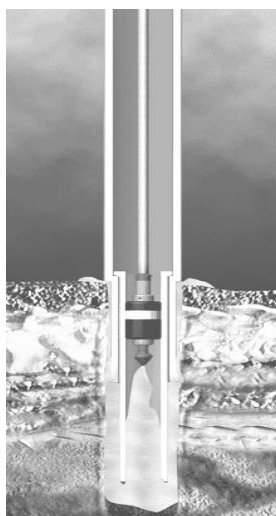
۱-۲-۲-۲ سیمان کاری ترمیمی و تزریقی

سیمان کاری ترمیمی که با عنوان سیمان کاری ثانویه نیز شناخته می‌شود، جهت ترمیم و تکمیل بخشی از سیمان کاری اولیه که به خوبی انجام نشده است، انجام می‌شود. سیمان کاری تزریقی نیز نوعی سیمان کاری ترمیمی می‌باشد. در سیمان کاری تزریقی ستونی از دوغاب سیمان تحت فشار به درون سازند و به پشت لوله‌های جداری یا مشبک‌ها تزریق می‌شود. این عملیات یا در حین حفاری و یا در چاه‌های تعمیراتی به کار گرفته می‌شود. در شکل (۲-۱۳) نمایی از تزریق سیمان در مشبک کاری‌ها مشاهده می‌شود.

شکل ۲-۱۳: نمایی از تزریق سیمان در مشبک کاری‌ها

در مواردی به دلیل نبود سیمان کافی در اطراف کفشک که ممکن است در اثر هرزروی (گم شدن) سیمان در بخشی از سازند به وجود بیاید، برای محکم شدن کفشک نیاز به سیمان کاری مجدد به روش تزریقی در ناحیه اطراف کفشک

می‌باشد. برای این منظور با توپک^۱ و لوله‌های حفاری تا نزدیکی کفشک پایین رفته و سیمان مورد نظر را تزریق نموده و پس از آزمون اتمام کار، پکر را ترخیص نموده و لوله‌ها را بالا می‌کشند. در شکل (۲-۱۴) نمایی از تزریق در اطراف کفشک دیده می‌شود.



شکل ۲-۱۴: نمایی از تزریق در اطراف کفشک

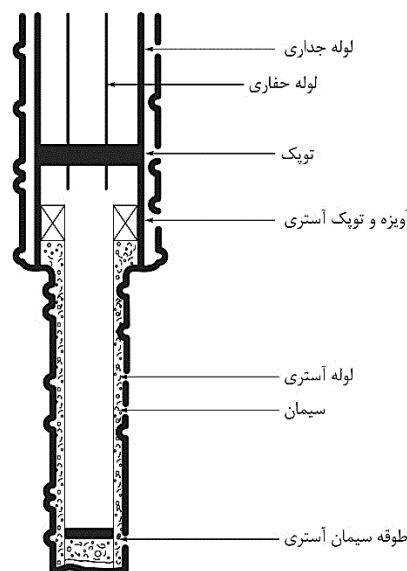
۲-۲-۲-۱-۲ تزریق در دالیز

نوعی دیگر از انواع سیمان‌کاری تزریقی، تزریق در دالیز (فضای بین لوله جداری و دیوار چاه) می‌باشد. این نوع از سیمان‌کاری معمولاً زمانی صورت می‌گیرد که دوغاب سیمان مربوط به سیمان‌کاری اولیه به سطح نمی‌رسد که در نتیجه آن فضای بالای دالیز بدون سیمان باقی می‌ماند. یکی از روش‌های تزریق در دالیز همان روش سیمان‌کاری خارجی است که توسط لوله‌های ماکارونی انجام می‌شود و روش دیگر آن از طریق و شیرهای^۲ موجود بر روی فورانگیرها (BOP^۳) می‌باشد.

۲-۲-۲-۱-۳ تزریق در لبه آستری

1 - Packer
2-Valve
3- Blow out prevent

پس از عملیات سیمان کاری آستری یک آزمون تزریق پذیری از لبه آستری توسط گل حفاری انجام می‌شود. در صورتی که جواب این آزمون مثبت باشد یعنی لبه آستری تزریق پذیر باشد، این امر بدین معنی می‌باشد که لبه آستری نیاز به سیمان کاری دارد. برای سیمان کاری لبه لاینر باید از سیمان کاری تزریقی استفاده نمود. به همین جهت توسط توپک و لوله‌های حفاری پایین رفته و در فاصله‌ای بالاتر از لبه لاینر قرار گرفته و عملیات تزریق سیمان را انجام می‌دهند. در شکل (۲-۱۵) نمایی از تزریق در لبه آستری مشاهده می‌شود.



شکل ۲-۱۵: نمایی از تزریق در لبه آستری

۲-۲-۲-۲ سیمان کاری مسدود نمایی^۱

در یک چاه ممکن است از عمق‌های پایین‌تر تا فاصله‌ای بالاتر به وسیله دوغاب سیمان مسدود شود تا عملیات حفاری بعدی ادامه یابد. این سیمان کاری به دلایل فراوان ممکن است انجام شود که مهمترین آنها عبارتند از: متروکه نمایی^۲، حفاری انحرافی^۳، مسدود نمایی جریان آب^۴ و هرزروی گردش دورانی^۵.

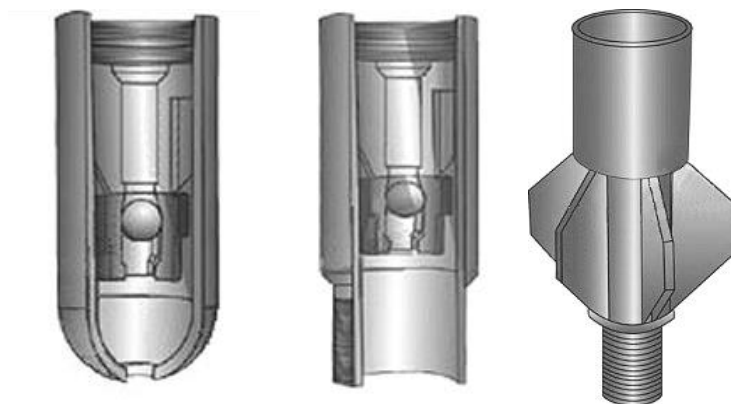
۲-۲-۲ سیمان کاری از طریق لوله‌های حفاری

-
- 1- Plug Back Cementing
 - 2- Abandonment
 - 3- Whipstocking
 - 4- Shutting of Water
 - 5- Lost Circulation

این سیمان کاری معمولاً در چاه‌هایی صورت می‌گیرد که قطر آن‌ها زیاد است در این چاه‌ها به هنگام راندن لوله‌های جداری از یک کفشک و طوقه مخصوص استفاده می‌شود که به ترتیب (Stab-in Shoe) و (Stab-in Collar) نام دارند. این دو معمولاً روی لوله‌های جداری بسته می‌شوند و در مواردی به کار می‌روند که می‌خواهند سیمان کاری پشت این لوله‌ها را از طریق لوله‌های حفاری انجام دهند. از Stab-in Unit برای محکم شدن لوله‌ها در طوقه استفاده می‌شود.

۲-۳-۱ نحوه سیمان کاری از طریق لوله‌های حفاری

مراحل انجام این سیمان کاری : بستن Stab-in Shoe بر روی اولین شاخه جداری، قرار دادن Stab-in Collar روی رشته جداری، پایین فرستادن جداری‌ها، بستن Stab-in Unit روی لوله‌های حفاری و فرستادن آن در لوله‌های جداری، قرار گرفتن Stab-in Unit در جای مخصوص خود روی طوقه، یک طرفه کردن طوقه و کفشک با انداختن گلوله مخصوص، پمپ کردن سیمان از درون لوله‌های حفاری، قرار دادن پلاگ پشت سیمان، پمپ کردن گل تا نشستن پلاگ بر روی طوقه. در شکل (۲-۱۶) تجهیزات مهم سیمان کاری از طریق لوله‌های حفاری مشاهده می‌کنید.



شکل ۲-۱۶: تجهیزات مهم سیمان کاری از طریق لوله‌های حفاری

۲-۳-۲ سیمان کاری خارجی

چنانچه در حین سیمان کاری اولیه به روش سنتی، دوغاب سیمان در سازند ضعیفی هرز رود و به سطح نرسد، می‌توان عملیات را در همان جا متوقف نمود و پس از بندش کامل دوغاب سیمان، قسمت فوقانی دالان چاه را با استفاده از

سیمان کاری خارجی سیمان کاری نمود. در سیمان کاری خارجی، تمام دالان چاه یا بخش فوقانی آن، از بالا و توسط لوله های بسیار نازکی که به لوله های ماکارونی معروف هستند، سیمان کاری می شود.

۲-۴-۱ نحوه انجام سیمان کاری خارجی

پس از بندش کامل دوغاب سیمان قسمت تحتانی، لوله های نازک را از بالا وارد دالان چاه می کنند تا به نقطه دلخواه (یعنی بالای سیمان) برسند. آنگاه به وسیله ی پمپ تراک بقیه دوغاب سیمان را ساخته و از طرق همین لوله ها به درون چاه پمپ می کنند. وقتی که دالان چاه از دوغاب سیمان پر شد می توان این لوله ها را بالا کشید و یا اینکه آنها را در چاه باقی گذاشت. این نوع سیمان کاری تنها در چاه هایی اجرا می شود که دالان برای پذیرفتن لوله های ماکارونی به قدر کافی بزرگ باشد.

۲-۴-۲ ویژگی های سیمان کاری خارجی

برخی از ویژگی های سیمان کاری خارجی عبارتند از:

۱. لوله های نازک معمولاً دارای قطر خارجی ۱ اینچ هستند.
۲. افت فشار بسیار زیاد و سرعت سیمان کاری بسیار کم است.
۳. نوع سیمان معمولاً زودبند می باشد.
۴. تعداد رشته لوله های نازک را می توان برحسب بزرگی دالان چاه بیش از یکی انتخاب کرد.

۲-۳ ابزار و تجهیزات سیمان کاری

تجهیزات سیمان کاری به طور معمول شامل کفشک و انواع آن، طوقه، سنترلایزر، سبد سیمان کاری، پلاگ و هدایت کننده سیمان می باشند. هر کدام از این تجهیزات نقش مهمی را در سیمان کاری یک چاه ایفا می نماید که در ادامه به آنها پرداخته خواهد شد.

۲-۳-۱ کفشک (Shoe)

کفشک‌ها به اولین شاخه لوله جداری متصل شده و هدف عمده استفاده از آنها، هدایت رشته لوله های جداری در چاه می‌باشد. کفشک‌ها عمدتاً به چهار دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از :

۱. کفشک راهنما^۱

۲. کفشک شناور^۲

۳. کفشک های خودکار^۳

۴. کفشک دیفرانسیلی^۴

۲-۳-۱-۱ کفشک‌های راهنما

کفشک‌ها، قطعات استوانه‌ای هستند که لوله جداره گذاری را هدایت کرده و کمک می‌کنند تا وارد بخش غیرجداره گذاری شده چاه شود. کفشک‌های راهنما منحصراً همین وظیفه یعنی هدایت لوله‌های جداری به درون چاه را بر عهده دارند و در ساختار آنها پیچیدگی خاصی دیده نمی‌شود. نمونه کفشک راهنما را در شکل (۲-۱۷) مشاهده می‌کنید.



شکل ۲-۱۷: نمونه‌ای از کفشک راهنما

-
- 1 - Guide Shoe
 - 2 - Float Shoe
 - 3- Automatic Shoe
 - 4- Differential Fill-Up Shoe

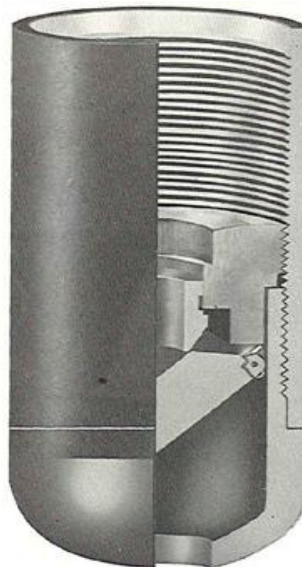
۲-۳-۱-۲ کفشک‌های شناور

کفشک‌های شناور علاوه بر هدایت لوله‌های جداری، در دل خود یک شیر شناور نیز دارند که کار شیر یک طرفه را می‌کند و مانع از حرکت سیال از پایین به بالا (یعنی از دالان به داخل لوله‌ها از طریق کفشک) می‌شود. این شیر شناور ممکن است یکی از دو نمونه زیر باشد:

۱. شیر شناور گلوله‌ای^۱

۲. شیر شناور دستکی^۲

نمونه‌ای از یک کفشک شناور در شکل (۲-۱۸) مشاهده می‌شود.



شکل ۲-۱۸: شمایی از یک کفشک شناور

۲-۳-۱-۳ کفشک‌های خودکار

کفشک‌های خودکار در سطح جانبی خود دارای چند جفت سوراخ هستند و همین‌طور که در چاه پایین می‌روند و لوله‌های جداری را هدایت می‌کنند، به گل حفاری اجازه می‌دهند که از طریق این سوراخ‌ها وارد لوله‌ها شده و آن‌ها را پر کند. نحوه عملکرد این کفشک‌ها را در هر زمان که لازم باشد می‌توان به وسیله‌ی گلوله‌ای که از بالا به درون لوله‌ها

1- Ball-Type Float Valve

2- Flapper-Type Float Valve

انداخته می‌شود خنثی کرد و سوراخ‌های جانبی را مسدود نمود. لوله‌هایی که دو کفشک قبلی را در سر خود دارند از بالا پر می‌شوند. نمونه‌ای از کفشک‌های خودکار در شکل ۲-۱۹ مشاهده می‌شود.



شکل ۲-۱۹: نمونه‌ای از کفشک‌های خودکار

۴-۱-۳-۷ کفشک‌های دیفرانسیلی

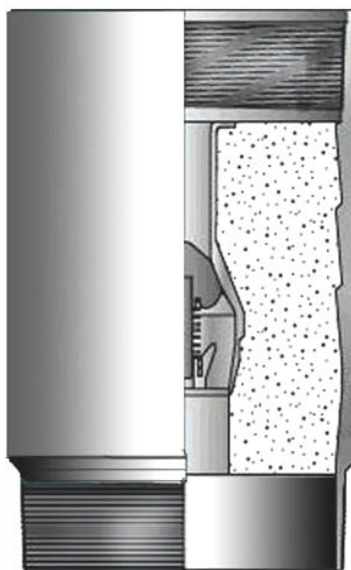
این کفشک‌ها نیز مانند کفشک‌های خودکار، همین طور که در چاه پایین می‌روند و لوله‌های جداری را هدایت می‌کنند، به گل حفاری اجازه می‌دهند که از طریق آنها لوله‌ها را پر کند. اما مکانیسم آنها با مکانیسم کفشک‌های خودکار فرق می‌کند. این کفشک‌ها دارای یک شیر پیستونی حساس به فشار هیدرولیک هستند که با بالا و پایین شدن متفاوت، به گل اجازه ورود به لوله‌ها را می‌دهد. تصویری از کفشک‌های دیفرانسیلی در شکل (۲-۲۰) مشاهده می‌شود.



شکل ۲-۲۰: تصویری از کفشک‌های دیفرانسیلی

۲-۳-۲ کالر

هدف استفاده از کالر را به طور عمده می‌توان متوقف ساختن وایپر پلاگ‌ها دانست. چنین کالری معمولاً یکی دو شاخه بالاتر از کفشک نصب می‌شود. کالرها نیز مانند کفشک‌ها از نظر ساختمان داخلی به چهار دسته عمده تقسیم می‌شوند که شامل کالرهای شناور، کالرهای خودکار، کالرهای دیفرانسیلی و کالرهای چند مرحله‌ای می‌شوند. کالرهای سه دسته اول معمولاً به فاصله یک تا دو شاخه بالاتر از کفشک قرار می‌گیرند. شکل (۲-۲۱) نمایانگر شمایی از یک کالر می‌باشد.



شکل ۲-۲۱: شمایی از یک کالر

۲-۳-۱ تفاوت کفشک و کالر

کفشک‌ها در پایین بدنه خود دارای دماغه‌ای سهمی شکل از جنس آلومینیوم، کانکریت یا پلاستیک فشرده هستند در حالی که کالر‌ها در آنجا دارای پینی از جنس فولاد می‌باشند که برای پیچیده شدن در باکس لوله جداری طراحی و ساخته شده است. کفشک‌ها را همیشه در سر لوله‌های جداری و عمدتاً برای هدایت آن‌ها به درون چاه به کار می‌برند در حالی که کالر‌ها را بسته به نوعشان در نقاط مختلف رشته لوله‌های جداری نصب می‌کنند. هدف عمده کالر‌ها متوقف ساختن وایپر پلاگ است. در شکل (۲-۲۲) تفاوت کفشک و کالر را از لحاظ ظاهری می‌توان مشاهده کرد.



شکل ۲-۲۲: تفاوت ظاهری کفشک و کالر

۲-۳-۳ سنترلایزر

طوقه‌های تمرکز، وسایل ساده‌ای هستند که دارای فنرهای کمّانی شکل بوده که این فنرهای کمّانی فولادی سخت در اطراف لوله‌های جداری نصب شده و باعث متمرکز نگه داشتن لوله‌ها در درون چاه می‌شود. بعضی از شرکت‌های نفتی ترجیح می‌دهند از نوع بخصوص طوقه‌های تمرکز استفاده نمایند که دارای تیغه‌های مارپیچی بوده و عبور مایع حفاری را به حالت آشفته^۱ در آورده و کمک بهتر سیمان در جداره گردد. نمونه‌ای از سنترلایزر در شکل (۲-۲۲) دیده می‌شود.

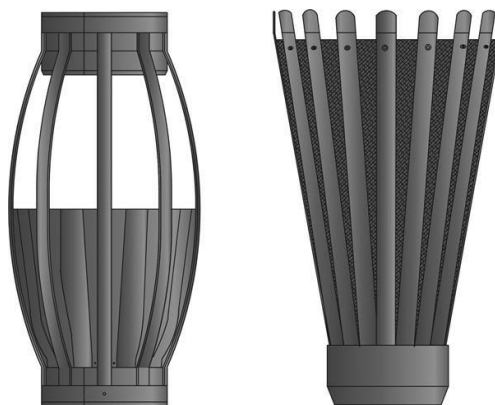
1- Turbulence



شکل ۲-۲۳: نمایی از یک نمونه سنتز لایزر

۲-۳-۴ سبد سیمان کاری

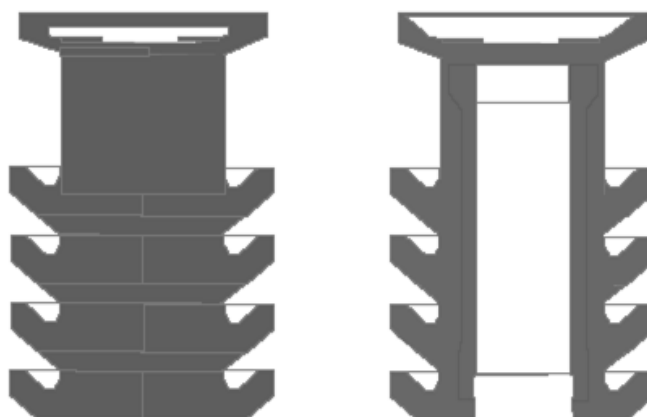
سبد سیمان کاری، تجهیزاتی است مشابه طوقه‌های تمرکز که علاوه بر کارایی طوقه تمرکز کاربرد دیگری نیز دارد که از آن در سیمان کاری‌های چند مرحله‌ای استفاده می‌شود. در سیمان کاری‌های چند مرحله‌ای معمولاً در زیر Stage Collar نصب می‌شود و ارتباط دو قسمت دالان چاه را با یکدیگر از نظر فشار هیدرواستاتیک قطع می‌کند. در زیر آن سیمان مرحله اول و در بالای آن سیمان مرحله دو قرار می‌گیرد. نمونه‌هایی از سبد سیمان کاری در شکل (۲-۲۴) دیده می‌شود.



شکل ۲-۲۴: نمونه‌هایی از سبد سیمان کاری

۲-۳-۵ پلاگ‌ها

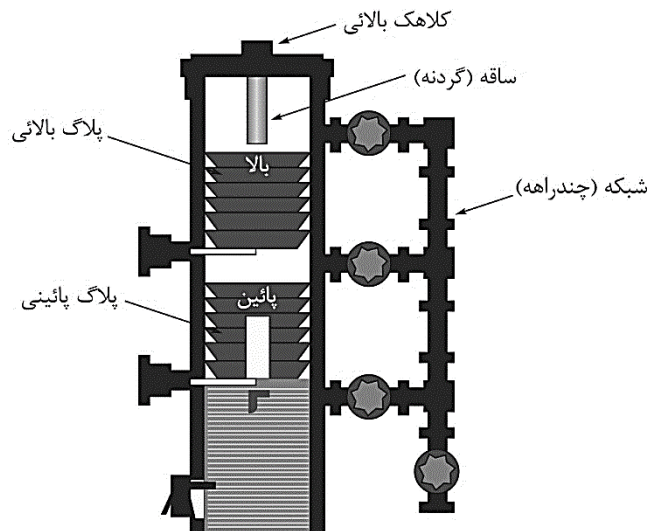
پلاگ‌های جارو یا تمیز کننده^۱ از درون لوله جداری قبل و بعد از سیمان رانده می‌شوند. پلاگ پایینی دارای مغزه‌ای توخالی است که روی آن دارای یک دیافراگم است، پس از آنکه روی کالر نشست، تحت فشار اعمال شده توسط مایع روی آن، پاره شده و سیمان از درون آن عبور نموده و به پشت لوله جداری رانده می‌شود. پلاگ بالایی دارای بدنه‌ای جامد بوده و به دنبال سیمان رانده می‌شود و بر روی پلاگ پایینی و روی کالر نشسته و راه عبور جریان را مسدود می‌کند. در تصویر زیر نمایی از هر دو نمونه پلاگ بالا و پایین نشان داده شده است.



شکل ۲-۲۵: نمایی از دو نمونه پلاگ بالا و پایین

۲-۳-۶ هدایت کننده سیمان

هدایت کننده سیمان محل اتصال خطوط ماشین‌های سیمان‌زنی و لوله جداری است و محلی است برای استقرار پلاگ‌های سیمانی که در سطح دکل به بالاترین شاخه لوله جداری پیچ می‌شود و وسیله ارتباط آن با ماشین‌های سیمان‌زنی از طریق خطوط باریک‌تری است. این ابزار به صورت تکی یا دوتایی است یعنی می‌توان یک یا دو پلاگ سیمانی در آن جای داد. در نوع دوتایی قبل از شروع سیمان‌کاری هر دو پلاگ را درون آن قرار می‌دهند. در شکل (۲-۲۶) یک هدایت کننده سیمان و محل قرار گیری پلاگ‌ها مشاهده می‌شود.



شکل ۲-۲۶: یک نمونه هدایت کننده سیمان و محل قرارگیری پلاگ‌ها

۲-۴ سیستم‌های اختلاط و پمپاژ سیمان

سیمان و برخی از افزایشه‌های مورد نظر (فقط افزایشه‌هایی که به صورت خشک نیاز به اختلاط دارند مثل هایدنس) قبل از ارسال به درون چاه در محلی به نام Bulk Plant با یکدیگر مخلوط شده و سپس توسط تریلرهای مخصوص به سر چاه منتقل و در سیلوهای مخصوصی که از قبل در آنجا مستقر شده‌اند ذخیره و نگهداری می‌شود. عملیات ساخت و پمپاژ دوغاب سیمان نیز توسط پمپ تراک‌ها^۱ صورت می‌پذیرد.

۲-۴-۱ اختلاط سیمان و افزایشه‌ها در کارخانه مخلوط شیمیایی^۲

Bulk Cementing به رشته عملیاتی اطلاق می‌شود که در آن سیمان چاه نفت و افزایشه‌های شیمیایی لازم را در ابزار مخصوص به نام Bulk Plant به صورت خشک با یکدیگر می‌آمیزند و محصول را به وسیله ی بارکش و تریلرهای درست سیلودار به سر چاه حمل می‌کنند و در مخازن ویژه ای که از قبل به آنجا فرستاده شده است تخلیه می‌کنند تا در موقع مناسب آن‌را با آب یا محلول (ترکیب آب و افزایشه‌ها) ترکیب نموده و با دوغاب حاصل دیواره چاه را سیمان‌کاری کنند.

1-Pump Trucks
2- Bulk Cementing

۲-۴-۲ سیستم‌های اختلاط در Bulk Plant

به طور معمول سیستم‌های ثابت موجود در Bulk Plant برای اختلاط خشک مواد، یکی از دو نوع زیر می‌باشند:

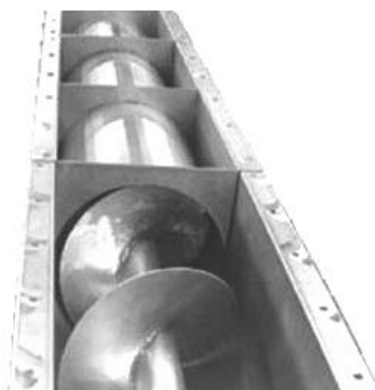
1. Mechanical Screw Conveyor System

2. Pneumatic System

البته سیستم سوم دیگری نیز وجود دارد که قابل حمل بوده و به صورت نیوماتیک^۱ می‌باشد.

۴-۲-۱- سیستم نقاله ای پیچ مکانیکی^۲

در این سیستم، اختلاط خشک سیمان و افزایه‌های شیمیایی آن در خطوط لوله دستگاه با استفاده از یک پیچ حلزونی دوار (مثل پیچ حلزونی دوار چرخ گوشت عمل می‌کند) صورت می‌گیرد. سیمان از یک طرف لوله وارد شده و در اثر حرکت مارپیچی پیچ، به جلو یا به بالا رانده می‌شود. در این سیستم علاوه بر اینکه سرعت کم است، اختلاط سیمان و افزایه‌های شیمیایی آن نیز به صورتی یکنواخت و یکدست انجام نمی‌گیرد. نمونه‌ای از سیستم مورد نظر در شکل (۲-۲۷) مشاهده می‌شود.



شکل ۲-۲۷: تصویر نمونه‌ای از سیستم اختلاط خشک سیمان و افزایه‌ها

۲-۴-۲-۲ سیستم نیوماتیک

در این سیستم انتقال مواد خشک در خطوط لوله و اختلاط آن‌ها با یکدیگر در سیلوهای کارخانه به طریق نیوماتیک (با استفاده از هوای فشرده) انجام می‌شود. این سیستم در مقایسه با سیستم قبل و نیز در مقایسه با روش‌های ابتدایی

1- Pneumatics

2 Mechanical Screw Conveyor System

آمیختن مواد خشک با یکدیگر که غالباً به وسیله‌ی کارگر و با دست انجام می‌شد، از فواید بیشتر و محاسن زیاده‌تری برخوردار است. از مزایای آن می‌توان به سرعت بیشتر، یکنواختی سیمان و افزایش‌های شیمیایی و کاهش ضایعات سیمان اشاره کرد.

۲-۴-۳ پمپ تراک‌ها

ساختن دوغاب و پمپ کردن آن در چاه وظیفه پمپ تراک‌ها است. هر پمپ تراک مجهز به دو عدد Triplex Plunger Pump است که پشت به هم قرار گرفته‌اند و مکش و دشارژ مشترکی دارند. هر پمپ تراک دارای دو عدد پمپ سانتریفیوژ کوچک نیز می‌باشد که به منزله‌ی پمپ‌های کمکی برای پمپ‌های اصلی دستگاه به شمار می‌آیند. در شکل (۲-۲۸) نمونه‌ای از پمپ تراک‌های مورد استفاده در عملیات سیمان‌کاری چاه دیده می‌شود.



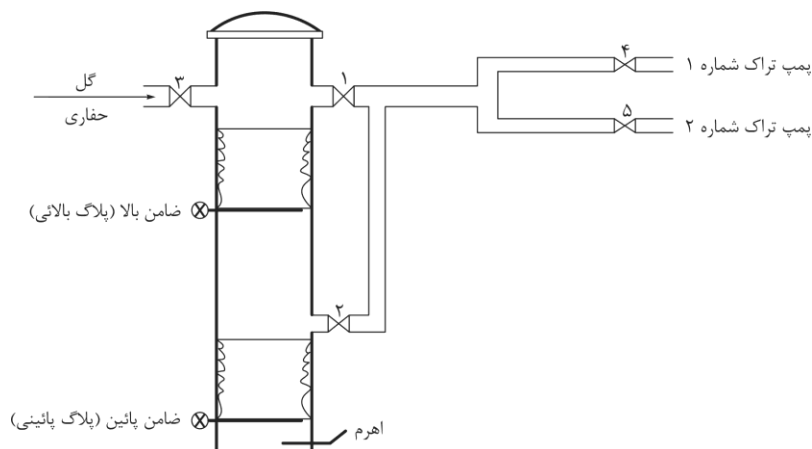
شکل ۲-۲۸: نمونه‌ای از پمپ تراک‌های مورد استفاده در عملیات سیمان‌کاری چاه نفت

۲-۵ جابجایی دوغاب سیمان

پس از این‌که تمامی تجهیزات مرتبط با عملیات سیمان‌کاری در جای خود نصب گردید، شرایط برای آغاز عملیات سیمان‌کاری و جابجایی دوغاب سیمان فراهم می‌گردد. پمپ کردن سیمان و اتمام سیمان‌کاری شامل چندین عملیات و اتفاق مختلف می‌باشد که شامل آزاد کردن پلاگ پایین و پمپ کردن سیمان پشت آن، آزاد کردن پلاگ بالا و پمپ کردن گل حفاری پشت آن، نشستن پلاگ پایین روی کالر و پاره شدن آن، رسیدن پلاگ بالا به پلاگ پایین و نشستن روی آن می‌باشد.

۲-۵-۱ کشیدن ضامن پلاگ پایین و پمپ کردن دوغاب سیمان

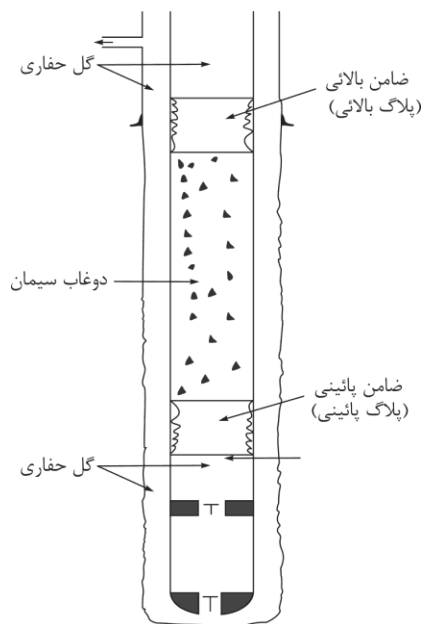
پس از اینکه تمامی شرایط برای پمپ کردن دوغاب سیمان به درون چاه فراهم گردید، ضامن پلاگ پایین را کشیده و دوغاب سیمان ساخته شده را پشت آن پمپ می‌کنند و پلاگ با فشار سیمان پشت سر خود، وارد لوله‌های جداری می‌شود و به سمت پایین حرکت می‌کند. دوغاب سیمان به طور کامل و بر اساس محاسبات انجام شده به درون چاه پمپ می‌گردد و شرایط برای اجرای عملیات بعدی فراهم می‌شود. در شکل (۲-۲۹) شمایی از وضعیت قرار گیری تجهیزات سرچاهی عملیات سیمان‌کاری نمایان است.



شکل ۲-۲۹: شمایی از وضعیت قرارگیری تجهیزات سرچاهی عملیات سیمان کاری

۲-۵-۷ کشیدن ضامن پلاگ بالا و پمپ کردن گل حفاری

با عقب کشیدن ضامن پلاگ بالا و پمپ کردن گل به پشت آن، این پلاگ نیز رها می شود و به دنبال دوغاب سیمان وارد لوله های جداری می شود. از این لحظه جابجایی دوغاب سیمان توسط گل حفاری شروع شده و دوغاب در حالی که محصور بین دو پلاگ است با فشار گل پشت سر خود پایین می رود تا زمانی که پلاگ پایین به کالر برسد و بر روی آن بنشیند. با ادامه پمپاژ، دیافراگم پلاگ پاره شده و سیمان از روزنه ایجاد شده، کالر و کفشک عبور می کند. در شکل (۲-۳۰) انجام شمایی از روند جابجایی دوغاب سیمان توسط گل حفاری نمایش داده شده است.

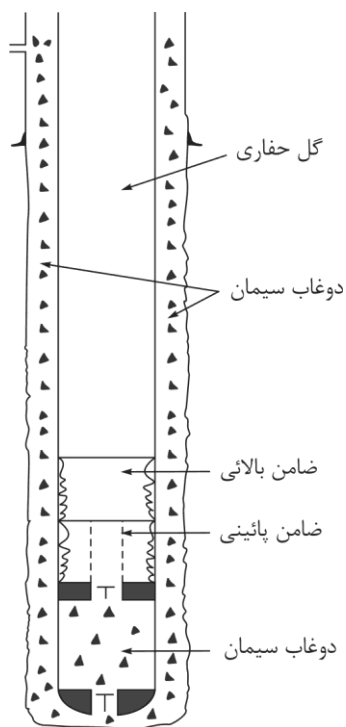


شکل ۲-۳۰: شمایی از روند جابجایی دوغاب سیمان توسط گل حفاری

۲-۵-۳ پلاگ بالا بر روی پلاگ پایین و کالر

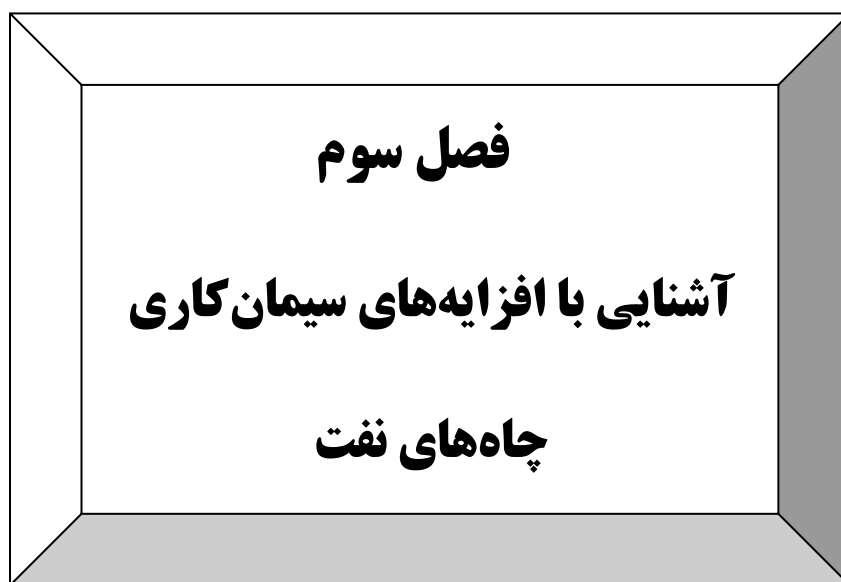
جابجایی دوغاب سیمان توسط گل حفاری همچنان ادامه می کند تا لحظه ای که پلاگ بالا به پلاگ پایین برسد و بر روی آن سوار شود. در این لحظه فشار ریگ پمپ افزایش یافته زیرا پلاگ بالا مسیر حرکت گل را مسدود کرده و

جریان آن را متوقف ساخته است. اینک سیمان کاری چاه پایان گرفته و اگر چه شیرهای یک طرفه درون کفشک و کالر مانع بازگشت دوغاب سیمان از دالان چاه به پشت لوله جداری می‌شوند، از نظر ایمنی فشار ریگ پمپ را حداقل به مدت ربع ساعت حفظ می‌کنند. در شکل (۳۱-۲) این اتفاق به خوبی نشان داده شده است.



شکل ۳۱-۲: نشست پلاگ بالا بر روی پلاگ پایین

- [1] Erik B. Nelson, Dominique Guillot , well cementing, schlumberger, 2006 .
MJ Lecourtier, Jacqueline lecourtier, cementing technology and proceduros, Editions Technip, 1994.



۳-۱ مقدمه

سیمان چاه نفت وقتی که از کارخانه بیرون می‌آید دارای خواص فیزیکی و شیمیایی معین و محدودی است و غالباً نمی‌توان آن را به همان صورت که هست با آب مخلوط کرد و چاه را با دوغاب حاصل سیمان کاری نمود زیرا چاه‌های نفت در عمق‌های مختلف، از نظر دما، فشار، نفوذپذیری و بافت دیواره و غیره شرایط کاملاً متفاوتی را از خود بروز می‌دهند و هیچ دوغاب خالصی از نظر خواص فیزیکی مانند وزن، استحکام، زمان بندش و غیره نمی‌تواند آنقدر متنوع ساخته شود که خود را به تنهایی با همه این شرایط سازگار کند. بنابراین لازم می‌شود برخی مواد شیمیایی را برای تقویت خواص فیزیکی دوغاب و ایجاد توانایی‌های مشخصی در آن به سیمان یا به آب یا به هر دو افزوده تا دوغاب حاصل بتواند شرایط فوق را تحمل کرده و قابلیت سیمان کاری همه مقاطع چاه را پیدا کند. این گونه مواد شیمیایی را افزایه می‌گویند.

سیمان به لحاظ طبیعت شیمیایی‌اش در مقابل بسیاری از مواد خارجی ماده‌ای بسیار حساس است. کوچکترین آلودگی ناخواسته سیمان یا دوغاب آن به برخی از مواد شیمیایی، می‌تواند خواص آن را به شدت دگرگون کند و آثار زیانباری در آن ایجاد کند. استحکام نخستین، استحکام نهایی و زمان نیم بند شدن دوغاب‌های سیمان که از نقطه نظر سیمانکاری چاه نفت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است کاملاً بستگی به این دارد که سیمان در زمان تولید یا به هنگام استفاده آغشته به چه نوع موادی شده است. به طور مثال زمان نیم بند شدن دوغاب خالصی از سیمان کلاس A با $WCR=0.46$ در دمای $F 103^{\circ}$ در حدود ۲۰۰ دقیقه است یعنی این دوغاب در این دما می‌تواند دست کم ۲۰۰ دقیقه به حالت مایع باقی بماند و بعد رفته رفته جامد شود در حالی که اگر همین دوغاب در موقع ساخته شدن، به میزان سه درصد وزنی سیمان خشک، آغشته به کلسیم کلراید ($CaCl_2$) شود، آن‌گاه زمان بندش آن به ۶۰ دقیقه تنزل پیدا می‌کند. استحکام تراکمی سنگ سیمان دوغاب خالص فوق در همان دما پس از ۴۸ ساعت در حدود 3000 PSI است و اگر به آن بیشتر هم زمان داده شود محکم‌تر نیز خواهد شد و حال آن‌که اگر سیمان قبل از مخلوط شدن با آب، به یک گرم شکر آلوده گردد، دوغاب حاصل هر چند پس از مدتی احتمالاً می‌بندد و جامد می‌شود لیکن هرگز استحکام پیدا نمی‌کند.

در آزمایش دیگری دوغاب‌های مشابهی را که هر یک می‌توانستند تا شش ساعت هم به صورت مایع باقی بمانند انتخاب کردند. دوغاب اول را به یک درصد فریک کلراید ($FeCl_3$) و دوغاب دوم را به یکدهم درصد زینک کلراید ($ZnCl_2$)

آغشته نمودند، دوغاب اول ظرف مدتی کمتر از ۵ دقیقه تبدیل به جسم جامد شد در حالیکه دوغاب دوم تا روز بعد همچنان به حال خود باقی ماند.

این مثال‌ها و ده‌ها مورد مشابه دیگر بیانگر این حقیقت هستند که مواد شیمیایی بیگانه، بر کارایی سیمان به شدت اثر می‌گذارند و خواص فیزیکی و توانایی‌هایی آن را افزایش یا کاهش می‌دهند و اگرچه این امر ممکن است طبیعی به نظر برسد اما آنچه که قطعاً بسیار تعجب آور، و در عین حال هشدار دهنده است این است که این مواد با غلظت‌های بسیار اندک چنین تأثیراتی را بر سیمان می‌گذارند بنابراین در موقع برنامه‌ریزی سیمان‌کاری یک چاه باید در محاسبات مربوط به افزودنی‌های سیمان کمال دقت را نمود [۱-۳].

۳-۲ دسته بندی افزودنی‌های سیمان

افزودنی‌های سیمان را از نظر تأثیری که روی سیمان می‌گذارند به دو دسته افزودنی‌های شیمیایی و افزودنی‌های فیزیکی تقسیم می‌کنند [۳]:

افزودنی‌های شیمیایی افزودنی‌هایی هستند که با غلظت‌های اندکی (معمولاً زیر چهار درصد) منشاء تأثیرات قابل ملاحظه‌ای روی سیمان هستند.

افزودنی‌های فیزیکی افزودنی‌هایی هستند که تأثیرات کلوئیدی آن‌ها روی سیمان بیشتر از تأثیرات شیمیایی آنهاست و معمولاً در غلظت‌های زیادتر به سیمان افزوده می‌شوند.

بعضی از افزودنی‌ها دارای چندین عملکرد هستند یعنی دارای چند نوع تأثیر متفاوت روی سیمان می‌باشند مثلاً کربوکسی متیل هیدروکسی اتیل سلولز^۱ (CMHEC) گاهی به عنوان کندگیر کننده و زمانی به عنوان کنترل کننده کاهش سیال به کار می‌رود و یا مانند سدیم کلراید که در غلظت‌های کم، تندگیر کننده و در غلظت‌های زیاد کندگیر کننده است.

منابع علمی با توجه به کارکرد و نوع استفاده دسته‌بندی‌های مختلفی را برای افزایه‌های سیمان حفاری ارائه نموده‌اند [۱-۴]. معمولاً افزایه‌ها را به یکی از دلایل زیر به سیمان اضافه می‌کنند:

^۱- Carboxymethyl Hydroxyethyl Cellulose

۱- برای افزایش یا کاهش زمان نیم بندش شدن دوغاب

۲- کنترل گراونروی دوغاب سیمان

۳- برای کنترل کاهش سیال (فیلتراسیون) از دوغاب

۴- منبسط کردن سیمان

۵- کاهش اصطکاک بین ذرات دوغاب (عوامل پخش کننده)

۶- برای افزایش یا تقویت دوام و پایداری سنگ سیمان

۷- برای افزایش یا کاهش وزن مخصوص دوغاب

۸- کنترل مهاجرت گاز به دوغاب سیمان

۹- کنترل خوردگی در برابر عوامل شیمیایی

۱۰- بهبود چسبندگی دوغاب

۱۱- جلوگیری از هرزروی دوغاب در سازند.

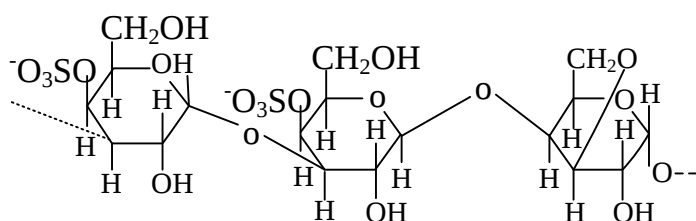
در بخش‌های زیر مهم‌ترین افزایش‌هایی که در سیمان‌کاری چاه‌های نفت مورد استفاده قرار می‌گیرند به طور خلاصه معرفی خواهند شد.

۳-۳ عوامل کنترل کننده زمان نیم بندشدن و بندش سیمان

اغلب لازم است زمان بندش سیمان چه به واسطه کندگیر کردن و یا تندگیر کردن تغییر داده شود. اگر سیمان‌کاری در عمق‌های کم انجام گیرد استفاده از تندگیر کننده‌ها برای جلوگیری از زمان طولانی و ناخواسته بندش سیمان ضروری است. از طرف دیگر سیمان‌کاری در عمق‌های زیاد، زمان بیشتر و طولانی‌تری را می‌طلبد از این رو از ترکیبات کندگیر کننده استفاده می‌شود.

۳-۳-۱ کندگیر کننده‌های سیمان

این ترکیبات برای جلوگیری از بندش سریع سیمان به کار برده می‌شوند. از این ترکیبات برای جلوگیری از بندش سریع در محیط‌هایی با دمای بالا و فشار بالای اعماق چاه‌ها استفاده می‌شود. معمولترین کندگیرکننده‌ها لیگنوسولفونات‌ها [۵ و ۶] و مشتقات کربوهیدرات‌ها مثل صمغ ولان [۷]، سلولز [۸] و کاراگینان [۹] هستند. کاراگینان^۱ یک ترکیب پلی ساکارید با وزن مولکولی بالاست که از علف دریایی به دست می‌آید. به طور استثنایی پایدار است و به دلیل قابلیت ذخیره شدن به صورت مایع از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. صمغ کاراگینان حاوی پلی‌ساکاریدهای یونی و خطی است که از واحدهای تکرار شونده گالاکتوز (سولفات شده یا غیر سولفات شده) تشکیل شده است. ساختار مولکولی آن در شکل (۳-۱) نشان داده شده است.



شکل ۳-۱: ساختار مولکولی کاراگینان

۳-۳-۲ تندگیرکننده‌های سیمان

معمول‌ترین تندگیرکننده‌ها شامل کلسیم کلرید و سدیم کلرید می‌باشد. کلسیم کلرید در غلظت‌های تا حد ۴ درصد وزنی برای کاربرد در اعماقی با دمای کمتر از 50°C به کار گرفته می‌شود. کلسیم کلرید مقاومت نهایی سیمان را تحت فشار افزایش می‌دهد. ترکیب سدیم کلرید به عنوان تندگیرکننده در فرمولاسیون‌های بدون بنتونیت مورد استفاده قرار می‌گیرد و ماکزیمم دمای مورد استفاده 70°C می‌باشد. در غلظت‌های بالای ۵٪ وزنی، اثر ترکیب کاهش می‌یابد. سدیم کلرید اشباع به عنوان کندگیرکننده عمل می‌کند.

انواع خاصی از هیدرات گچ با سیمان پرتلند برای کاهش زمان بندش سیمان به کار می‌رود. استفاده از این ترکیبات موجب استفاده از آب به مقدار بیشتر می‌شود. ماکزیمم دمای مورد استفاده $70-80^{\circ}\text{C}$ می‌باشد. سدیم سیلیکات در

¹- Carrageenan

دوغاب‌هایی با خاک سیلیسی مورد استفاده است. این ترکیب تا ۷۵ وزنی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. اضافه کردن سدیم سولفات به سیمان پرتلند، سخت شدن سیمان را سرعت می‌بخشد و تحرک آن را افزایش می‌دهد [۴].

اخیراً تندگیرکننده‌های بدون کلرید توسعه یافته‌اند. تری هیدروکسی بنزوئیک اسید یک تندگیرکننده ضعیف محسوب می‌شود. همچنین از ۴ و ۴ دی‌هیدروکسی متیل بنزن دی سولفونات نیز برای افزایش جزی بندش سیمان استفاده می‌شود [۱۰].

۳-۴ عوامل کنترل کننده گراونروی^۱

گراونروی سیمان، خصوصیت پمپ کردن آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد بنابراین گراونروی باید به اندازه کافی پایین باشد تا در کل زمان کار قابلیت پمپ دوغاب را تضمین کند. در چاه‌های عمیق، به دلیل افزایش دما، گراونروی به شدت پایین می‌آید، به طوری که رفتار جریانی دوغاب نامطلوب می‌شود. با توجه به قانون آرنیوس این اثر می‌تواند خطرناک و مضر باشد. بعضی از افزایه‌ها برای کنترل گراونروی استفاده می‌شوند که به عنوان تندگیر کننده نیز عمل می‌کنند. افزایه‌های کنترل گراونروی در جدول ۳-۱ نشان داده شده اند.

برای مقابله با اثر رقت دمائی^۲، لاتکس بدون سورفکتانت (پایدار کننده لاتکس) به دوغاب سیمان اضافه می‌شود که در نتیجه دوغابی با گراونروی پایین و با خواص سوسپانسیون جامد خوب در دمای اعماق زمین خواهیم داشت. امولسیون لاتکس در عمق معکوس می‌شود و یا می‌شکند، در نتیجه گراونروی و قدرت ژل شدن لازم را فراهم می‌کند تا رقت دمائی جبران شود و سوسپانسیون جامد را در دوغاب حفظ می‌کند. امولسیون لاتکس تجزیه شده و تبدیل به ذرات شبیه لاستیک می‌شود بنابراین گراونروی و قدرت کششی دوغاب سیمان را افزایش می‌دهد و هیچ معرف ویسکوز کننده ی اضافی برای جلوگیری از ته نشین شدن ذرات لازم نیست.

جدول ۳-۱: افزایه‌های کنترل کننده گراونروی

نام ماده	مرجع
لاتکس	۱۱
اسکروگلوکان ^۳	۱۲
کلسیم لیگنو سولفونات	۴

^۱- Viscosity Control Agents

^۲- Thermal Thinning

^۳- Scleroglucan

۱۳	رزین فنل فرمالدهید-اصلاح شده با فورفوریل الکل
۱۴	کو پلیمر سولفونیک اسید
۱۵	خاک رس هکتورایت ^۱

۳-۵ افزایش‌های کنترل کننده‌ی فیلتراسیون^۲

محدود کردن کاهش آب از دوغاب سیمان در مکان‌های نفوذپذیر به دلایل زیر مهم و ضروری است:

- برای به حداقل رساندن هیدراتاسیون ساختارهای حساس به آب
- در دسترس قرار دادن میزان آب کافی برای هیدراتاسیون سیمان
- برای جلوگیری از تغییر خواص دوغاب (مانند رئولوژی، دانسیته زمانی، ضخیم شدن)
- برای جلوگیری از پل زنی در شکاف‌های سوراخ

با اینکه مکانیسم عمل افزایش‌های کنترل فیلتراسیون کاملاً فهمیده نشده است ولی ترکیبات مختلفی مثل بنتونیت، لاتکس، پلیمرهای آلی و کوپلیمرها برای این منظور استفاده می‌شوند. استفاده از وینیل سولفونات در سیمان کاری میدان‌های نفتی معمول می‌باشد [۱۶].

۳-۶ افزایش‌های منبسط کننده^۳

در طول زمان سخت شدن، سیمان به صورت نرمال دستخوش تغییر انقباضی و جمع‌شدگی می‌شود و این پدیده باعث ایجاد ترک در ساختار بتنی می‌گردد. با افزودن افزایش‌های متورم شونده قابل انبساط به مخلوط، می‌توان با جمع‌شدگی مقابله کرد.

منبسط شدن سیمان (بدون تشکیل شکاف‌های درحد ماکرو) به زمان بلوری شدن افزایش‌های منبسط کننده مثل کلسیم اکسید و منیزیم اکسید بستگی دارد [۱۷ و ۱۸]. منیزیم اکسید پخته شده کهنه به عنوان افزایش منبسط کننده مناسب است. انبساط با مکانیسم هیدراتاسیون آگیری رخ می‌دهد. این افزایش به ویژه هنگامی مؤثر است که در دمای سفت شدن تقریباً ۱۵۰° C استفاده شود. چسبندگی بالای سیمان منبسط شده با افزایش رزین اوره- فرمالدهید بدست می‌آید [۱۹].

^۱- Hectorite Clay

^۲- Filtration Control

^۳- Expansion Additive

۳-۷ معرفی‌های فعال سطحی پخش کننده^۱

پخش کننده‌ها خواص رئولوژیکی دوغاب سیمان را اصلاح می‌کنند. به طور ویژه پخش کننده‌ها به دوغاب سیمان اضافه می‌شوند تا مخلوط شدن آن را در دانسیته بالا بدون مصرف آب اضافی تسهیل کنند. همچنین رفتار جریان دوغاب سیمان را بهبود می‌بخشند و باعث می‌شوند دوغاب با یک جریان توربلانسی پمپ شود و باعث ایجاد پیوند چسبندگی بهتری بین قالب چاه و سازندهای اطراف می‌شود. به علاوه این ترکیبات ممکن است اثرات جانبی داشته باشند مثلاً باعث افزایش عملکرد افزاینده‌های کنترل کاهش آب و افزایش اثر کند گیر کننده‌ها شوند. این مواد به طور گسترده در کنار فعالیت‌های سیمان کاری به عنوان مواد سیمانی در میدان‌های نفتی استفاده می‌شوند (جدول ۳-۲).

جدول ۳-۲: ترکیبات دارای عملکرد پخش کنندگی

پخش کننده ها	مراجع
پلی اکسی اتیلن سولفونات	۲۰
رزین‌های سیانید فرمالدهید استون	۲۱
پلیمر ملامین سولفونات	۲۲
لیگنوسولفونات قلیایی	۲۳
استون، فرمالدهید pre condensate	۲۴
نفتالن سولفونات فرمالدهید condensate	۲۵

۳-۸ افزاینده‌های افزایش دهنده استحکام

دی آلکانول آمینو الکیل فنل‌ها به عنوان افزاینده، استحکام بتن را افزایش می‌دهند [۲۶]. این افزاینده‌ها در مقادیر خیلی پایین مفید هستند و خواص اولیه سیال را تحت تاثیر قرار می‌دهند. این افزاینده‌ها باعث استحکام زود هنگام نمی‌شوند اما استحکام کششی سیمان را در مراحل بعدی افزایش می‌دهند. افزودن مقادیر کمی از پتاسیم فریک سیانید و نیتریل تری متیل فسفونیک اسید موجب افزایش تشکیل ترکیبات کمپلکس شده و بنابراین استحکام سیمان را نیز افزایش می‌دهد [۲۷].

¹- Surface Active Agents as Dispersants

مخلوطی از آلومینیم سیلیکات فعال شده و ماده معدنی فایبروس^۱ مانند سنگ معدنی ولستونایت^۲ [۲۸] استحکام کششی، مقاومت خمشی را در ترکیبات سیمانی مرسوم افزایش می‌دهد. ولستونایت معمولاً به صورت یک فیبر یا میکروفیبر با قطر داخلی مشابه با ذرات سیمان (تقریباً ۲۵ تا ۴۰ μm) و طول فیبر بین ۰/۴ تا ۰/۶ mm در دسترس می‌باشند. همین‌طور ترکیبات سیمانی ممکن است شامل فیبرهای تثبیت کننده مانند نایلون یا فیبرهای پلی پروپیلن باشند. فیبرها، قابلیت تشکیل خرده‌های سیمانی را در شرایط فشار بالا کاهش می‌دهند. این فیبرها معمولاً در مقادیر ۰/۲۵ تا ۰/۵ پوند بر کیسه به سیمان اضافه می‌شوند.

۳-۹ ترکیبات کنترل کننده وزن دوغاب سیمان

۳-۹-۱ عوامل افزایش دهنده وزن

عوامل افزایش دهنده وزن^۳، عوامل افزایش دهنده دانسیته^۴ نیز نامیده می‌شوند و برای افزایش دانسیته دوغاب به کار برده می‌شود. این ترکیبات اکثراً برای مقابله با فشارهای بالای عمق چاه‌ها به کار برده می‌شود. ترکیبات معمول برای این موضوع پودر آهن، فرومات^۵، پودر مگنتیت^۶ و باریت (باریم سولفات) می‌باشد. سنگ هماتیت^۷ توانایی افزایش دانسیته محصول تا 2200 Kg/m^3 را دارد. لازم به ذکر است که این ترکیب نیاز به افزودن مقداری آب هم دارد. ایلمینیت هم با وزن مخصوص 4700 Kg/m^3 برای این منظور به کار برده می‌شود و در ضمن نیازی به افزودن آب به دوغاب نیست. این ترکیب کمترین تأثیر را در زمان غلیظ شدن و مقاومت فشاری سیمان دارد. ترکیب باریت نسبت به هماتیت میزان آب بیشتری را برای افزودن به دوغاب لازم دارد. در نتیجه مقاومت سیمان کاهش می‌یابد [۴].

۳-۹-۲ ترکیبات سبک کننده سیمان

1- Fibrous
2- Wollastonite
3- Weighting Agents
4- Density-Increasing
5- Ferromat
6- Magnetite
7- Hematite

افزودن ترکیبات با دانسیته پایین باعث کاهش دانسیته دوغاب سیمان می‌شود. این ترکیبات به عنوان ترکیب سبک‌کننده هم نامیده می‌شوند. از بنتونیت، گیلسونایت، لاستیک، میکروگوی‌های شیشه‌ای میان تهی، میکروگوی‌های آلومینا سیلیکاتی میان تهی برای سبک سازی دوغاب سیمان استفاده می‌کنند.

۳-۱۰ عوامل ضد مهاجرت گاز^۱

کانال سازی گاز در طول سفت شدن دوغاب سیمان رخ می‌دهد. تشکیل حفره‌ها به رفتار بندشی سیمان بستگی دارد. در طول زمان سفت شدن سیمان، دو سیکل زمانی انبساط و انقباض مشاهده می‌شود [۲۹ و ۳۰]. این به دلیل سهم جداگانه هر جزء در مخلوط سیمان می‌باشد. برای بدست آوردن سیمان با استحکام مناسب، کنترل انقباض نهایی برای جلوگیری از مهاجرت گاز مهم است. اسفنج آیرونیت^۲، پودر لاستیک سنتزی و کربن سیاه و پلیمرلاتکس به عنوان کاهنده نفوذپذیری آزمایش شده‌اند [۳۰ و ۳۱].

۳-۱۱ بازدارنده‌های خوردگی^۳

آب‌های زیرزمینی با شوری بالا، میزان CO_2 بالا، قابلیت وارد شدن در واکنش‌های شیمیایی و انبساط، باعث خوردگی سیمان می‌شوند. با اصلاح نفوذپذیری سیمان و کاهش میزان Ca(OH)_2 در سیمان اثرات ضد خوردگی بهتری حاصل می‌شود. افزودن آرد سیلیس فلوئور، نسبت کلسیم و ترکیبات هیدراته شده را تغییر می‌دهد. یکنواختی، سوراخ‌های ریز و تنگ، نفوذپذیری پایین، استحکام سیمان و اثرات ضد خوردگی را اصلاح می‌کند [۳۲].

۳-۱۲ بهبود چسبندگی

افزایه‌ای حاصل از ترکیب مواد متیل سلولز، رزین ملامین فرمالدهید و تری اکسان، به منظور پیوند بهتر سیمان به میله‌های قالب به کار می‌رود [۳۳]. رزین‌های اپوکسیدی بیس فنول، با معرف‌های عمل آورنده بتن بر پایه آمین،

¹- Anti-Gas-Migration Agents

²- Ironite

³- Corrosion Inhibitors

پرکننده‌های شنی و مخلوطی از دی متیل بنزن به عنوان رقیق کننده برای افزایش خواص چسبندگی (کشش سطحی) سیمان استفاده می‌شوند.

۳-۱۳ افزایش‌های کنترل هرزروی^۱

هرزروی به مفهوم هرز رفتن سیال حفاری یا سیمان از چاه به سازندهای زمین می‌باشد.

هرزروی معمولاً در مواقع زیر رخ می‌دهد:

(۱) هنگام روبه رو شدن با سازندهای بسیار نفوذپذیر مثل لایه‌های گراولی، صدف یا سنگ آهک متخلخل

(۲) هنگام مواجه شدن با سنگ سازند شکسته که ممکن است در اثر فشار در چاه ایجاد شده باشد.

هرزروی معمولاً در حین حفاری رخ می‌دهد و با افزودن مواد ضد هرزروی به سیال یا با کاهش دانسیته می‌توان بر

آن غلبه کرد. در مورد سیمان‌کاری اکثراً مواد ضد هرزروی به دوغاب اضافه می‌شوند تا هرزروی به درون یک سازند

مشکل دار به حداقل برسد. این ترکیبات شامل مواد رشته‌ای^۲، گرانولی^۳ و ورقه‌ای^۴ می‌شود. ترکیبات گرانول و رشته‌ای در

لایه‌های گرانول با تراوای بالا استفاده می‌شوند. از مهم‌ترین این ترکیبات می‌توان به گیلسونیت، پرلیت^۵ منبسط شده،

پلاستیک و پوسته گردوی خرد شده اشاره کرد. مواد رشته‌ای معمول شامل رشته‌های نایلونی، خاک اره و علف خشک

می‌شود. و مواد ورقه‌ای شامل سلوفان^۶ و ورقه‌های میکایی می‌شوند [۲].

^۱- Lost Circulation additive

^۲- Fibrous

^۳- Granular

^۴- Planar

^۵- Perlite

^۶- Cellophan

- [1] J. Bensted, Admixtures for Oil well cement, in: V.S. Ramachandran (Eds.), Concrete Admixtures Hansbook: Properties, Science, and Technology, Noyes Publication, New Jersey, 1995, chapter 18.
- [2] E. B. Nelson, J.F. Baret, M. Michaux, Cement Additives and Mechanisms of Action, in: E. B. Nelson (Eds.), Well cementing, Schlumberger, texas, 1990, chapter 3.
- [۳] بیژن اسدی، اصول برنامه‌ریزی و عملیات سیمان‌کاری چاه نفت، چاپخانه مرکزی شرکت نفت اهواز، اهواز، ۱۳۶۲.
- [4] J.K. Fink, Cement additive, in: J.K. Fink (Eds.) Oil Field Chemicals, Elsevier, 2003, chapter 10.
- [5] W. J. Detroit. Nitric acid oxidized lignosulfonates. Patent: US 5446133, 1995.
- [6] W. J. Detroit and M. E. Sanford. Solubilizedlignosulfonate derivatives. Patent: US RE32895, 1989.
- [7] W. G. Rakitsky andD. D. Richey. Rapidly hydrating welan gum. Patent: EP 505096, 1992.
- [8] L. Eoff. Set retarding additives, cement compositions and methods. Patent: US 5264470, 1993.
- [9] P. J. Rae, N. Johnston, and G. Dilullo. Storable liquid systems for use in cementing oil and gas wells. Patent: US 6173778, 2001.
- [10] S. E. Fry, J. D. Childs, L. E. Brothers, and D. W. Lindsey. Method of reducing fluid loss in cement compositions which may contain substantial salt concentrations. Patent: US 4676317, 1987.
- [11] L. E. Brothers. Composition and method for inhibiting thermal thinning of cement. Patent: US 5135577, 1992.
- [12] U. Cartalos, J. Lecourtier, and A. Rivereau. Use of scleroglucan as high temperature additive for well cements. Patent: EP 526310, 1993.
- [13] C. Noik and A. Rivereau. Method and material for well cementing. Patent: EP 881353, 1998.
- [14] S. Bin Ibrahim, R. Huizenga, D. Oakley, and K. Sithamparam. Multifunctional additive to cement slurries. Patent: WO 0166487, 2001.
- [15] R. B. Carpenter, J. B. Bloys, and D. L. Johnson. Cement composition containing synthetic hectorite clay. Patent: WO 9902464, 1999.
- [16] J. Chatterji, F. Zamora, B. J. King, and R. J. McKinley. Well cementing method. Patent: EP 1065186A, 2001.
- [17] S. V. Danjuschewskij and R. Ghofrani. Volume changes in cement slurries and set cements. *Erdol Erdgas Kohle*, 107(11):447-455, November1991.
- [18] R. Ghofrani. Development of CaO- and MgO-swelling cements into usage maturity for cementation of natural gas underground storage wells and natural gas production wells. DMGK Res Rep 444-3, Clausthal Tech Univ, 1997.
- [19] Y. Ya. Taradymenko, V. P. Timovskij, V. A. Kushu, V. E. Akhrimenko, and Y. G. Karpenko. Plugging solution—contains Portland cement, calcium oxide-based expanding additive, water and additionally polymethylene-urea, to improve efficiency. Patent: SU 1799999-A, 1993.
- [20] J. D. Childs and J. F. Burkhalter. Fluid loss reduced cement compositions. Patent: GB 2247234, 1992.

- [21] K. M. Cowan and L. Eoff. Surfactants: Additives to improve the performance properties of cement. In *Proceedings Volume*, pages 317-327. SPE Oilfield Chem Int Symp (New Orleans, LA, 3/2-3/5), 1993.
- [22] L. K. Moran and L. L. Moran. Composition and method to control cement slurry loss and viscosity. Patent: CA 2184548, 1997.
- [23] J. Chatterji, D. C. Brennels, D. W. Gray, S. E. Lebo, and S. L. Dickman. Cement compositions and biodegradable dispersants therefor. Patent: US 6019835, 2000.
- [24] D. D. Onan, D. T. Terry, and B. G. Brake. Downhole cement composition. Patent: EP 618344, 1994.
- [25] L. K. Moran and L. L. Moran. Composition and method to control cement slurry loss and viscosity. Patent: CA 2184548, 1997.
- [26] E. M. Gartner and R. P. Kreh. Cement additives and hydraulic cement mixes containing them. Patent: CA 2071080, 1993.
- [27] P. F. Tsytsymushkin, S. R. Khajrullin, A. P. Tarnavskij, Z. N. Kudryashova, and B. V. Mikhajlov. Plugging solution contains Portland cement, sodium sulphate, potassium ferricyanide and nitrile-trimethyl- phosphonic acid. Patent: SU 1700204-A, 1991.
- [28] L. Bailey, P. I. Reid, and J. D. Sherwood. Mechanisms and solutions for chemical inhibition of shale swelling and failure. In *Proceedings Volume*, pages 13-27. Recent Advances in Oilfield Chemistry, 5th Royal Soc Chem Int Symp (Ambleside, England, 4/13-4/15), 1994.
- [29] S. Talabani and G. Hareland. Expansion-contraction cycles for cement optimized as a function of additives. In *Proceedings Volume*, pages 277-284. SPE Prod Oper Symp (Oklahoma City, OK, 4/2-4/4), 1995.
- [30] S. Talabani and G. Hareland. New cement additives that eliminate cement body permeability. In *Proceedings Volume*, pages 169-176. SPE Asia Pacific Oil & Gas Conf (Kuala Lumpur, Malaysia, 3/20- 3/22), 1995.
- [31] S. Talabani, G. Hareland, and M. R. Islam. New additives for minimizing cement body permeability. *Energy Sources*, 21(1—2):163—176, January-March 1999.
- [32] G. Liao, Y. Yang, and H. Wang. Effect on anti corrosion ability of oil well slurry using silica flour. *Oil Drilling Prod Technol*, 18(4):31- 34,43,106, 1996.
- [33] V. E. Akhrimenko, A. K. Kuksov, and E. M. Levin. Oil, gas well cementing additive—has added melamine formaldehyde resin for better bonding of cement to casing. Patent: SU 1709072-A, 1992.