تکنولوژی بتن

مدرس: اصغر قلی زاده
موسسه آموزش عالی علاءالدوله سمنانی
پائیز ۹۱

- **رئوس مطالب (مصوب شورایعالی برنامه ریزی وزارت علوم تحقیقات و فناوری):**

تکنولوژی بتن

تعریف بتن، اهمیت آن، تفاوت ها با مصالح مختلف به ویژه فولاد، انواع بتن و کاربرد آن ها، بتن سبک، بتن سنگین، بتن پیش ساخته، بتن با مقاومت زیاد، بتن پلیمری، بتن الیافی، بتن فروسیمانی.
سیمان و انواع آن، شیمی سیمان، خلاصه ای از روش تولید، خواص فیزیکی و شیمیایی و مکانیکی سیمان، آزمایش های سیمان، خواص و کاربرد انواع سیمان ها.
سنگدانه: طبقه بندی کلی، خواص فیزیکی و شیمیایی نظیر وزن مخصوص، جذب آب، تخلخل، شکل و بافت و ابعاد و دانه بندی و مقاومت، ناخالصی ها در سنگدانه ها و اثرات آن.

- **رئوس مطالب (مصوب شورایعالی برنامه ریزی وزارت علوم تحقیقات و فناوری):**

تکنولوژی بتن

آب: خواص آب مناسب برای ساخت و عمل آوری بتن، اثر کمی و کیفی آب بر خواص بتن.
مواد افزودنی: خواص و کاربرد مواد افزودنی تسریع کننده گیرش، کند کننده گیرش، کاهنده های آب (روان کننده و فوق روان کننده)، حباب هواساز بتن.
خواص بتن تازه: تعریف کارایی، آزمایش های تعیین کارایی، نقش مواد بتن در کارایی، آب انداختن، جدایی مواد از یکدیگر.
اجرای بتن: روش های ساخت بتن، حمل و ریختن و تراکم بتن.
طرح اختلاط بتن: طرح بتن با روش های مختلف کارگاهی و آزمایشگاهی.

- **رئوس مطالب (مصوب شورایعالی برنامه ریزی وزارت علوم تحقیقات و فناوری):**

تکنولوژی بتن

عمل آوری بتن: شیوه ها مختلف عمل آوری و نقش آن در خواص بتن، روش ها و مراقبت های لازم ر شرایط بتن ریزی در هوای گرم یا سرد.
خواص بتن سخت شده: آزمایش های بتن سخت شده، مقاومت های فشاری، کششی و خمشی بتن، چسبندگی بتن و آرماتور، ضریب الاستیسیتهٔ بتن، انقباض بتن، خزش بتن و نقش عوامل مختلف در آن.
خرابی ها و دوام بتن: مختصری از خرابی های شیمیایی و فیزیکی در بتن، روش های پیشگیری و شیوه های مختلف افزایش دوام بتن.

- **معرفی بتن:**

بعنوان یک تعریف کلی میتوان گفت بتن یک سنگ مصنوعی است که متشکل از چسب و پرکننده می باشد.

- **مولفه های بتن:**
  - ✓چسب (cement): آب + سیمان
  - ✓پرکننده (سنگدانه): ریزدانه + درشت دانه

نکته: واژۀ سیمان یک مفهوم عمومی داشته و به هر ماده ای اطلاق می شود که خاصیت چسبندگی و چسباننده‌گی داشته باشد. از این نظر موادی همچون گچ، آهک، قیر و ... نیز سیمان می باشند.

- **معرفی بتن:**

لذا بتن هایی تحت عنواین بتن گچی، بتن گوگردی، بتن آسفالتی، بتن پلیمری و ... نیز مطرح می باشند و در مورد هریک چسب و یا همان سیمان مصرفی از نوع غیر از سیمان پرتلند (سیمان های متعارف در ساخت بتن) می باشند.

سیمان هایی که در رنگ های خاکستری و گاهاً سفید جهت ساخت بتن ها و ملات ها استفاده می شوند از نوع سیمان پرتلند می باشند. واژۀ پرتلند به این دلیل به این نوع سیمان اختصاص داده شده که شکل ظاهری خمیر سخت شدۀ این سیمان شبیه نوعی سنگ طبیعی بود که در جزیرۀ پرتلند یافت می شد.

نکته: از این پس، هرگاه واژۀ سیمان مورد استفاده قرار گرفت منظور همان سیمان پرتلند می باشد؛ سایر انواع سیمان با ذکر نام دقیق خودشان مطرح خواهند شد.

- **معرفی بتن:**

برخی مواد سیمانی (Cementitious materials) در صورتی قابلیت چسبندگی و چسبانندگی از خود نشان می دهند که در تماس با آب قرار گیرند (مانند سیمان پرتلند، گچ، آهک). از سوی دیگر برخی مواد سیمانی در صورت قرارگیری در معرض حرارت تا دمای مشخصی این خاصیت را از خود بروز می دهند (مانند قیر و گوگرد).

به آن دسته از مواد سیمانی که در صورت تماس با آب تبدیل به چسب می شوند، **سیمان های هیدرولیکی** گفته می شود.

به آن دسته از مواد سیمانی که جهت بروز خواص چسبندگی نیاز به قرارگیری در معرض آب ندارند **سیمان های غیر هیدرولیکی** گفته می شود.

- **معرفی بتن:**

برخی از سیمان های هیدرولیکی قادر به گیرش و کسب مقاومت در زیر آب می باشند (مانند سیمان پرتلند و آهک آبی). به این دسته **سیمان های با عملکرد هیدرولیکی** گفته می شود. به این مفهوم که در زیر آب قادر به گیرش می باشند.

برخی دیگر از این مواد (مانند گچ و آهک هوایی) جهت گیرش و کسب مقاومت نیاز به قرارگیری در معرض هوا دارند و در زیر آب قادر به کسب مقاومت نیستند. به این دسته از مواد سیمانی اصطلاحا **سیمان های با عملکرد هوایی** اطلاق می شود.

تذکر: در عمدهٔ منابع علمی، عبارت Non-hydraulic cement (سیمان غیر هیدرولیکی) به سیمان هایی که قادر به کسب مقاومت در زیر آب نمی باشند (ولو اینکه در صورت قرارگیری در معرض آب خاصیت چسبندگی را از خود نشان دهند).

- **معرفی بتن:**

پرکننده در بتن:

همانطورکه اشاره شد بتن متشکل از چسب و پرکننده می باشد. این پرکننده ها بخش اصلی حجم بتن را تشکیل می دهند (معمولا ۷۵٪) و در واقع چسب تنها فضای خالی بین این پرکننده ها (ریزدانه و درشت دانه) را پر نموده و این ذرات را به یکدیگر متصل می نمایند تا بتن یکپارچه همانند یک سنگ عمل نماید.

دلایل استفاده از پرکننده:

- ✓مزایای اقتصادی (بدلیل ارزان تر بودن پرکننده از سیمان)
- ✓مزایای فنی (در صورت استفادهٔ مناسب منجر به افزایش دوام، کاهش جمع شدگی و ترک های ناشی از آن و نیز بهبود خصوصیات مکانیکی خواهد شد).

- **مزایا و معایب بتن**

✓ **مزایای بتـــن:**

۱) قابلیت قالب گیری
۲) اقتصادی بودن
۳) دوام بـالا
۴) مقاوم در برابر آتـش
۵) مصرف انرژی پایین جهت تولیـد
۶) قابلیت شکل دهی در محل ساخت
۷) خصوصیات زیبایـی شناسی
۸) انعطاف پذیری در خصوصیات مختلف

✓ **معایب بتن**

۱) تردی و مقاومت کششی پاییـن
۲) عدم ثبـات حجمی
ضمن هیدراتاسیون
ضمن بارگذاری
۳) نسبت مقاومت به دانسیتهٔ پایین

✓ **مزایای بتـــن:**

۱) قابلیت قالب گیری:

قابلیت ساخت و قالب گیری بتن درکارخانه با انرژی و هزینه ناچیز یکی را مزایای بتن می باشد.

امروزه استفاده از المان ها و قطعات ساختمانی پیش ساخته در نیـل به سیستم های ساختمانی کم هزینه نقش بسزایی را خصوصاً در اروپا ایفا می کند.

این سیستم ها درکشورهای آمریکا و ایران نیز تا حدی توسعه یافته اند.

نمونه های کاربردی:

✓تولید تیرها و شاه تیرهای بتنی پیش ساخته پیش تنیـده

✓سیستـم های زهکش آب و فـاضلاب

✓پروژه های آبرسانـی (دیواره چینی کانال ها و جداول)

✓ **مزایای بتـــن:**

۲) اقتصادی بودن:

هزینــه برترین مؤلفه بتــن سیمان است که در مصارف ساختمانی عمدتاً میزان سیمان درحدود $۴۰۰kg/m^3$- ۳۰۰ می باشد.

وزن مخصوص بتنی بطور متوسط $۲۳۵۰۰kg/m^3$- ۲۲۵۰ می باشد

لذا حدوداً یک ششم تا یک هفتم وزن بتن را سیمان تشکیل می دهد و سایر مؤلفه ها فوق العاده ارزان می باشنــد.

مقایسهٔ هزینه و نسبت مقاومت به دانسیتهٔ بتن و فولاد:

✓ **مزایای بتـــن:**

۳) دوام بـــالا:

اگر بتـــن از مصالح با کیفیت تهیـــه شده و طرح اختلاط مناسبی نظـــر بـــه نیازهای فنی و اقلیمی پروژه داشته و به درستی اجرا و نگهداری شود آنگاه به راحتی چندین دهـــه و حتّی قرن دوام خواهد داشت.

درواقع بتـــن اگر تحت تأثیر شرایط محیطی خورنده و مخرب قرار نگیرد درگذر زمان کسب مقاومت نموده و خواصش بهبود می یابـــد.

لازم به ذکر است که انتخاب مصالح و طرح اختلاط مناسب می تواند بتـــن را در برابر شرایط مخرب فیزیکی نظیر فرایند ذوب و انجماد آب و فرسایش، و نیـــز شرایط مخرب شیمیایی نظیر حمله سولفاتی و اسیدی مقاوم کند.

استفاده مناسب از افزودنی های معدنی و شیمیایـــی می تواند دوام بتـــن را به شدت افزایش دهد.

✓ **مزایای بتــن:**

۴) مقاوم در برابر آتــش:

بتــن یک مصالح عالی در برابر آتش سوزی می باشد.

اگرچه قرار گرفتن در معرض دماهای بسیار بالا می تواند منجر به آسیب شدید بتــن شود.

اما ایــن ماده تمامیت و صحت سازه ای خــود را بــرای مدت زمان طولانی، بسیار بیشتر از فولاد، حفظ می نمایــد.

۵) مصرف انرژی پایین جهت تولیــد:

همان طورکه گفته شد تنها مؤلفه ی هزینــه بــر در بتــن، سیمان می باشد که درصد وزنی کمی از بتن را تشکیل می دهد.

مقایسهٔ انرژی تولید بتن و فولاد:

✓ **مزایای بتـــن:**

۶) قابلیت شکل دهی در محل ساخت:

بتـن ضمن اجرا درکارگاه قابلیت شکل پذیری و قالب گیری دارد و از آنجا که یک ماده ویسکوز با قابلیت افزایش کارایی می باشد لذا به راحتی در قالب متراکم می شود.

۷) خصوصیات زیبایـــی شناسی:

نظر به قابلیت شکل پذیری بتـن، می توان آن را به فرم های مختلف اجرا نمود، و المان ها و فضاهای جذابی را ایجاد نموده البته خود این ماده خاکستری رنگ بوده و چندان با روح انسان سازگاری ندارد.

۸) انعطاف پذیری در خصوصیات مختلف:

خصوصیات معمول مصالح ساختمانی

TABLE 1.5 Typical Properties of Construction Materials.[a]

Material	*Density* (kg/m^3)	*Tensile Strength* (MPa)	*Elastic Modulus* (GPa)	*Coefficient of Thermal Expansion* (10^{-6}/°C)	*Thermal Conductivity* (W/m · K)	*Energy Requirement* (GJ/m^3)
Aluminum						
Pure	2800	100	70	23	220	360
Alloy	2800	300	70	23	125	360
Steel						
Mild	7800	400	210	12	50	300
High strength	7800	1900	210	12	50	300
Glass	2500	60	65	6	3	50
Wood						
Soft	350	50	5.5	—	0.2–0.6	—
Hard	700	100	10	—	0.2–0.6	—
Plastic (polystyrene)	1000	~50	~3	72	0.1	—
Rock (granite)	2600	~20(~25[b])	~50	7–9	3	—
Concrete	2300	3(35[b])	~25	10	3	3.4

[a]Conversion factors: $kg/m^3 \times 0.062 = lb/ft^3$; MPa × 145 = lb/in.^{2}; GPa × 0.145 = 10^6 lb/in.^{2}; 10^{-6}/°C × 0.556 = 10^{-6}/°F; W/m · K × 0.578 = Btu/ft · h · °F; $GJ/m^3 \times 26.9 \times 10^3 = Btu/ft^3$.

[b]In compression.

خصوصیات معمول بتن سازه ای

TABLE 1.4 Typical Engineering Properties of Structural Concrete

Compressive strength	= 35 MPa (5000 lb/in.^{2})
Flexural strength	= 6 MPa (800 lb/in.^{2})
Tensile strength	= 3 MPa (400 lb/in.^{2})
Modulus of elasticity	= 28 GPa (4×10^6 lb/in.^{2})
Poisson's ratio	= 0.18
Tensile strain at failure	= 0.001
Coefficient of thermal expansion	= 10×10^{-6}/°C (5.5×10^{-6}/°F)
Ultimate shrinkage strain	= 0.05–0.1%
Density	
Normal weight	= 2300 kg/m^3 (145 lb/ft^3)
Lightweight	= 1800 kg/m^3 (110 lb/ft^3)

✓ معایب بتـــن:

بتن دارای معایبـی نیـز می باشد که در مواردی کاربرد آن را غیرقابل توجیه، غیر اقتصادی و یا حداقل مستلزم اعمال نکات و اصول طراحی می نمایـد.

۱) تردی و مقاومت کششی پاییـــن:

بتن یک ماده ترد بوده و نه تنها تحت کشش بلکه تحت فشار نیـز تغییر مکان چندان زیادی را همانند فولاد قبل از گسیختگی از خود نشان نمی دهد.

همچنین تحت کشش مقاومت بسیار پائیـن داشتـه و حدود مقاومت آن تقریباً یک دهم مقاومت فشاری می باشد.

✓ **معایب بتـــن:**

۲) عدم ثبـــات حجمی:

✓ضمن هیدراتاسیون:

✓ضمن بارگذاری:

۳) نسبت مقاومت به دانسیتـــه پاییـــن:

- **اجزای بتن**

✓ **سیمان:**

تاریخچهٔ تولید سیمان

ترتیب کشف و اختراع انواع چسب ها:

آهک: ملات های آهکی درگذشتهٔ دور در اقریطس، قبرس و یونان (۶۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح) استفاده می نمودند.

آهک هیدرولیکی: یونان و مصرف باستـان از احـتراق سنگ آهک حاوی ناخالصی های رسـی بـه آهک هیدرولیکی دست می یافتنـد.

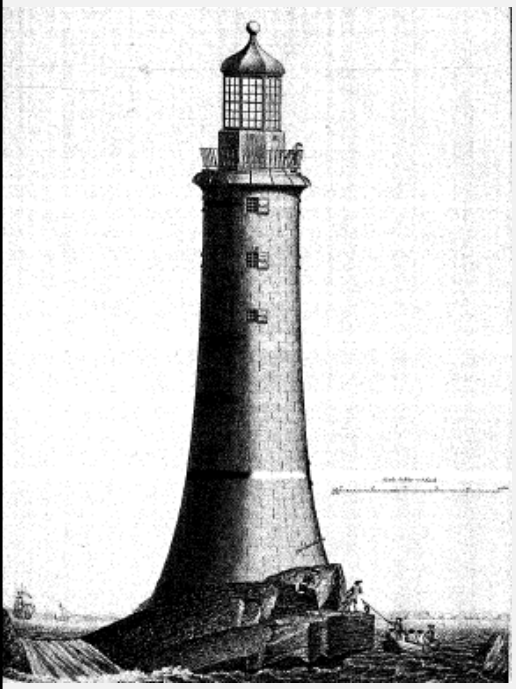
- **اجزای بتن**

✓ **سیمان:**

تاریخچهٔ تولید سیمان

ترتیب کشف و اختراع انواع چسب ها:

گچ: اولین مصالح دارای منشـاء آهکی (بعد از آهک) که به عنوان سیمان در ملات ها استفاده می شده است سنگ گچ می باشد. مصری ها از ملات های سنگ گچ در ساخت هرم ژئوپس (۳۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح) استفاده نموده اند.



- **اجزای بتن**

✓ **سیمان:**

تاریخچهٔ تولید سیمان

ترتیب کشف و اختراع انواع چسب ها:

سیمان پرتلند:

شروع: در سال ۱۷۵۶، جان اسمیتـن (John Smeaton) در انگلستان (طی تحقیقاتی جهت بازسازی برج فانوس دریایی ادیستون در جزیرهٔ کرن وال انگلستان)

درسال ۱۷۹۶، جیمزپارکـر (James Parker) درانگلستان (سیمان هیدرولیکی طبیعی)

در سال ۱۸۱۳، ویکات (Vicat) در فرانسه (سیمان هیدرولیکی مصنوعی)

در سال ۱۸۲۲، جیمز فراست (James Frost) از انگلستان (مشابه Vicat)

نهایتاً: در سال ۱۸۲۴، جوزف آسپدین (Joseph Aspdin) از انگلستان (تولید و نامگذاری سیمان پرتلند)

سیمان:

نحوهٔ تولید سیمان:

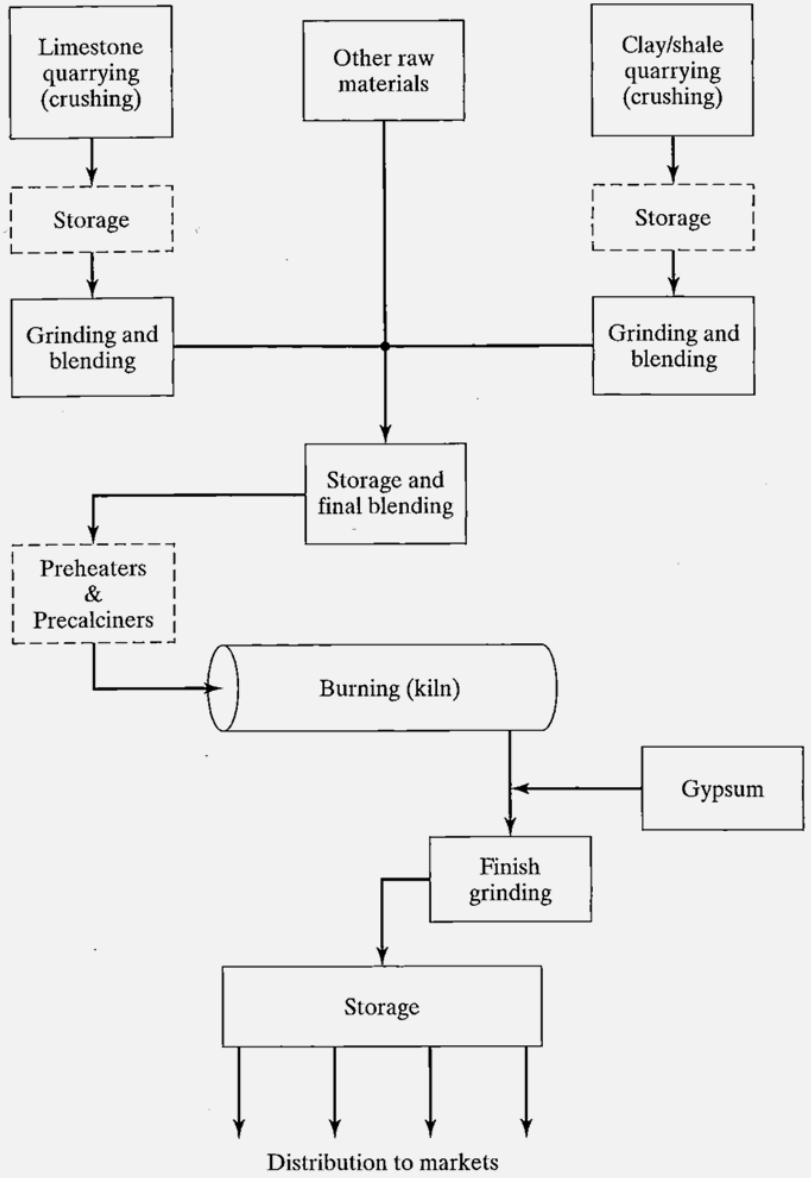
بطور خلاصه می توان گفت سیمان از مخلوط نمودن و احتراق منابع آهکی (نظیر سنگ آهک) با منابع رسی (نظیر خاک رس و لای) در دماهای ۱۴۰۰°C الی ۱۶۰۰°C تولید می شود.

✓علاوه بر سنگ آهک (که عمده ترین کاربرد را برای این منظور دارد) هر نوع منابع آهکی که امکان بدست دادن اکسید کلسیم را داشته باشد قابل استفاده می باشد (مانند سنگ گچ، مارن و گل های آهکی).

✓علاوه بر خاک رس و لای (که عمده ترین کاربرد را برای این منظور دارد) هر نوع منابع رسی که آلومینوسیلیکات های آهن دار تشکیل شده باشند قابل استفاده می باشد (مانند سنگ شیل، شیست و سایر سنگ های رسی نظیر شن و ماسهٔ سیلیسی، کوارتز، پوکه های معدنی و دیاتومه).

سیمان:

فلوچارت تولید



سیمان:

مراحل تولید سیمــان:

۱- تأمین مواد اولیــه

۲- خردکردن و همگن سازی

۳- خشک کردن

۴- آسیاب

۵- سیلوهای ذخیره و تنظیم نهایی

۶- پخت

۷- خنک سازی کلینکـر

۸- آسیاب کردن کلینکر با سنگ گچ

سیمان:

واکنش های صورت پذیرفته در کوره:

زمانیکه مخلوط سنگ آهک، آب و رس وارد کوره می شوند، با چرخش کوره و حرکت مواد به سمت داخل، دمای مواد بالا رفته و در طول کمتر تر۵۰ متر رطوبت مواد تبخیر می شوند.

با رسیدن دمای مواد به بالای ۶۰۰ درجه، مواد رسی با ترکیب کلی $mSiO_2.nAl_2O_3.pFe_2O_3.xH_2O$ احتراق (calcination) دیده و آب ترکیبی آن ها نیز تبخیر می شود.

خروجی این مرحله که SiO_2، Al_2O_3 و Fe_2O_3 می باشد داری واکنش پذیری و قابلیت ترکیب با آهک (CaO) را دارا می باشند.

سیمان:

واکنش های صورت پذیرفته در کوره:

با رسیدن دمای مواد به ۹۰۰ درجه، سنگ آهک نیز احتراق (calcination) دیده و دی اکسید کربن آن خارج می شود ($CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$).

اکسید کلسیم (آهک: CaO) بدست آمده از این مرحله قابلیت ترکیب با اکسیدهای سیلیسی، آلومینی و آهن را دارد.

احتراق این مواد تا دمای ۱۴۰۰ تا ۱۶۰۰ درجه منجر به تولید ترکیبات سنگینی بصورت سیلیکات های کلسیم، آلومینات کلسیم و آلومینو فریت کلسیم می شود.

جهت سهولت، از یک سری علائم اختصاری در ارتباط با محصولات احتراق و نیز هیدراسیون سیمان استفاده می شود.

سیمان:

اصطلاحات فنی (Terminology):

$$CaO \rightarrow C$$

$$SiO_2 \rightarrow S$$

$$Al_2O_3 \rightarrow A$$

$$Fe_2O_3 \rightarrow F$$

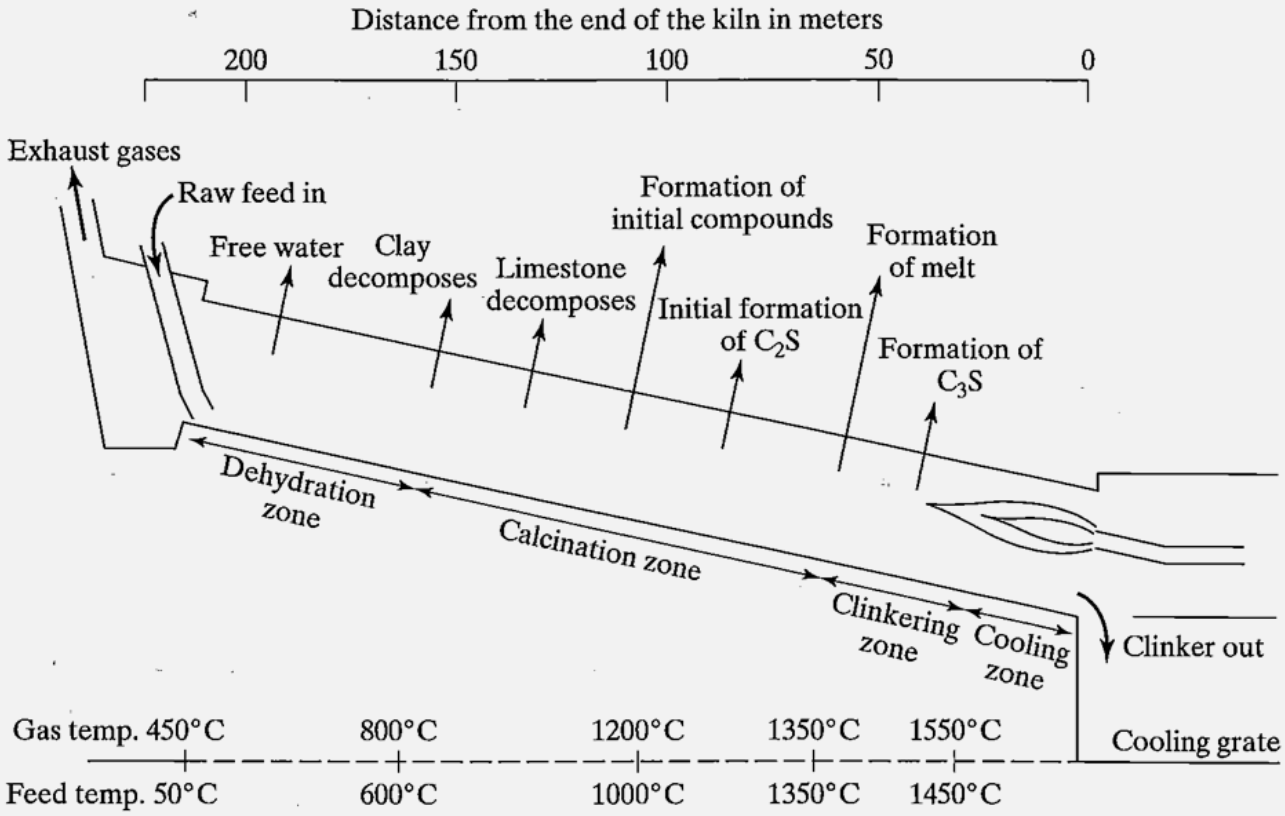
$$H_2O \rightarrow H$$

$$SO_3 \rightarrow \bar{S}$$

$$CO_2 \rightarrow \bar{C}$$

سیمان:

شکل اجمالی کورهٔ احتراق سیمان (Kiln)



سیمان:

نکته:

- ✓ به کلوخه های تیره رنگ خروجی کورهٔ کیلن اصطلاحاً کلینکر (Clinker) گفته می شود.
- ✓ کلینکر خروجی از کوره بر روی تسمه نقاله های خنک کننده ریخته شده و در ادامه با سنگ گچ مخلوط و با هم آسیاب می شوند.
- ✓ سیمان پرتلند در واقع به پودر حاصل از آسیاب همزمان سنگ گچ و کلینکر گفته می شود.
- ✓ ترکیب شیمیایی سنگ گچ: $CaSO_4.2H_2O$
- ✓ علت استفاده از سنگ گچ کنترل و به تعویق انداختن زمان گیرش سیمان می باشد.

سیمان:

مولفه های سیمان پرتلند (Portland Cement Components)

TABLE 3.2 Typical Composition of Ordinary Portland Cement[a]

Chemical Name	*Chemical Formula*	*Shorthand Notation*	*Weight Percent*
Tricalcium silicate	$3CaO \cdot SiO_2$	C_3S	55
Dicalcium silicate	$2CaO \cdot SiO_2$	C_2S	18
Tricalcium aluminate	$3CaO \cdot Al_2O_3$	C_3A	10
Tetracalcium aluminoferrite	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	C_4AF	8
Calcium sulfate dihydrate (gypsum)	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	$C\bar{S}H_2$	6

سیمان:

ترکیب شیمیایی اکسیدی سیمان:

TABLE 3.3 Typical Oxide Composition of a General-Purpose Portland Cement

Oxide	*Shorthand Notation*	*Common Name*	*Weight Percent*
CaO	C	lime	64.67
SiO_2	S	silica	21.03
Al_2O_3	A	alumina	6.16
Fe_2O_3	F	ferric oxide	2.58
MgO	M	magnesia	2.62
K_2O	K	alkalis	0.61
Na_2O	N		0.34
SO_3	$\overline{S}$	sulfur trioxide	2.03
CO_2	$\overline{C}$	carbon dioxide	–
H_2O	H	water	–

سیمان:

نکته:

- ✓هرچند درتولید سیمان هدف اصلی ما رسیدن به C_3S و C_2S است. ولی وجود اکسیدهای آهن وآلومینیوم برای ما خوشایند است؛

- ✓زیرا بدون وجود این دواکسید ممکن است دمای پختِ ما، ۱۰۰ درجه بالاتر برود که درنتیجه آن هزینه ما بالا می رود. به خصوص C_4AF که دمای پخت را نسبت به بقیه بیشتر پایین می آورد.

- ✓به عبارت دیگر این ناخالصی ها بـه عنوان کاتالیزور عمل می کنند.

سیمان:

واکنش های اصلی هیدراسیون:

واکنش تری کلسیم سیلیکات: $2C_3S + 6H \rightarrow C_3S_2H_3 + 3Ca(OH)_2$

واکنش دی کلسیم سیلیکات: $2C_2S + 4H \rightarrow C_3S_2H_3 + Ca(OH)_2$

واکنش تری کلسیم آلومینات در عدم حضور سنگ گچ: $C_3A + 6H \rightarrow C_3AH_6$

واکنش تری کلسیم آلومینات در حضور سنگ گچ: $C_3A + 3C\bar{S}H_2 + 26H \rightarrow C_6A\bar{S}_3H_{32}$

سیمان:

کسب مقاومت:

- ✓کسب مقاومت سیمان ناشی از کسب مقاومت تک تک مولفه های چهاگانهٔ سیمان یعنی C_3S، C_2S، C_3A و C_4AF می باشد.
- ✓تقریباً تمام خواص مقاومتی سیمان از هیدراسیون C_3S و C_2S ناشی می شود.
- ✓مقاومت نهایی C_3S و C_2S تقریباً یکسان است.
- ✓C_3S عمده مقاومت خود را در ۲۸ روز کسب می کند. درحالیکه C_2Sروند کندتری دارد و فقط ممکن است ۳۰٪ مقاومتش را در۲۸ روز بدهد و عمده اش در ۹۰- ۲۸ روز است؛

سیمان:

کسب مقاومت:

- ✓ C_3A و C_4AF مقاومت ناچیزی به سیمان می دهند.
- ✓ C_3A بسیار سریع واکنش های خود را تکمیل کرده و به مقاومت می رسد. اما در حضور گچ کمی آهسته تر به مقاومت خواهد رسید.
- ✓ C_4AF نیز کمی آهسته تر در مقایسه با C_3A به مقاومت نهایی خود می رسد.
- ✓لازم به ذکر است مقاومت نهایی C_3A از C_4AF بیشتر است.

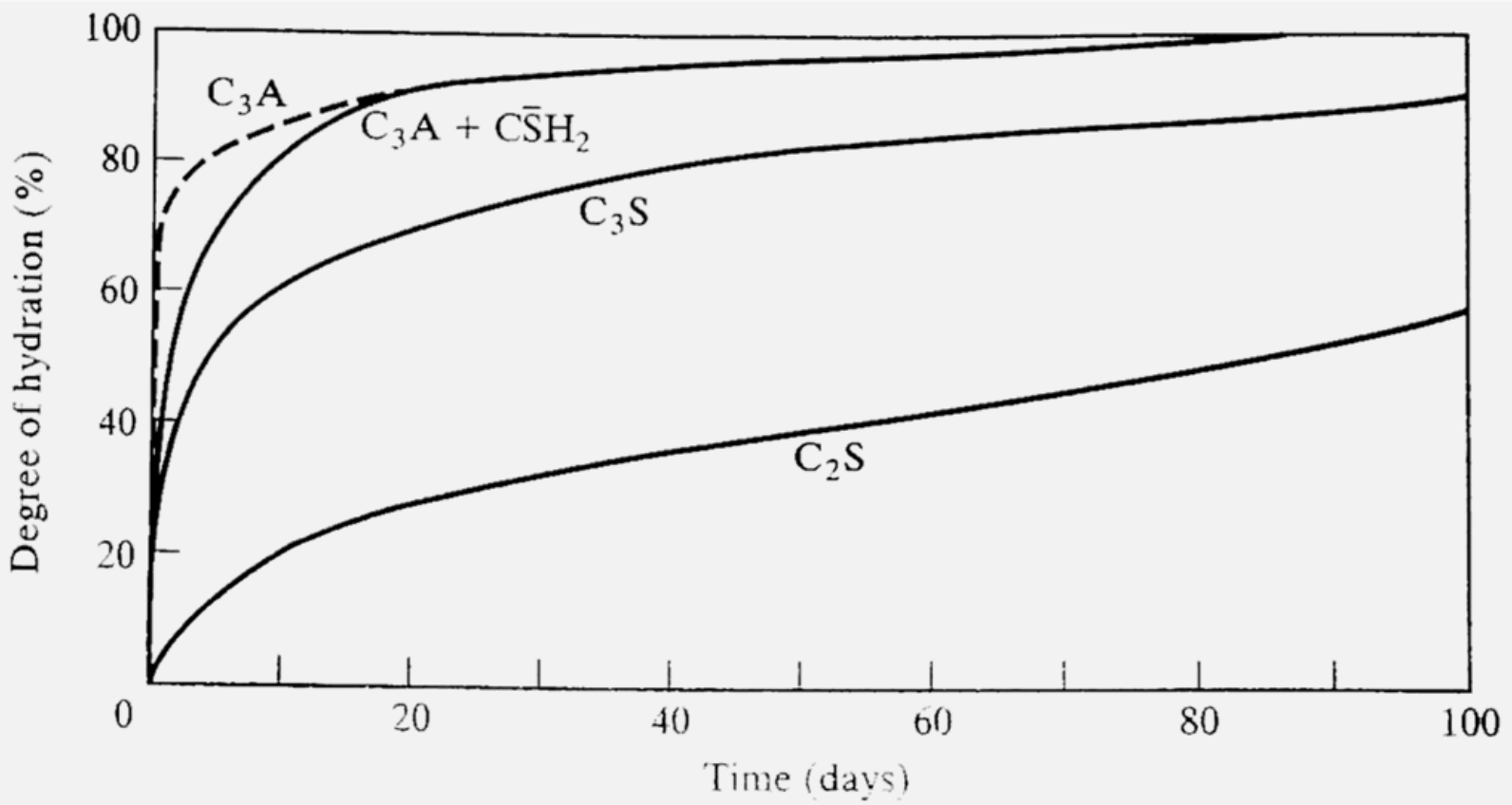
سیمان:

کسب مقاومت:

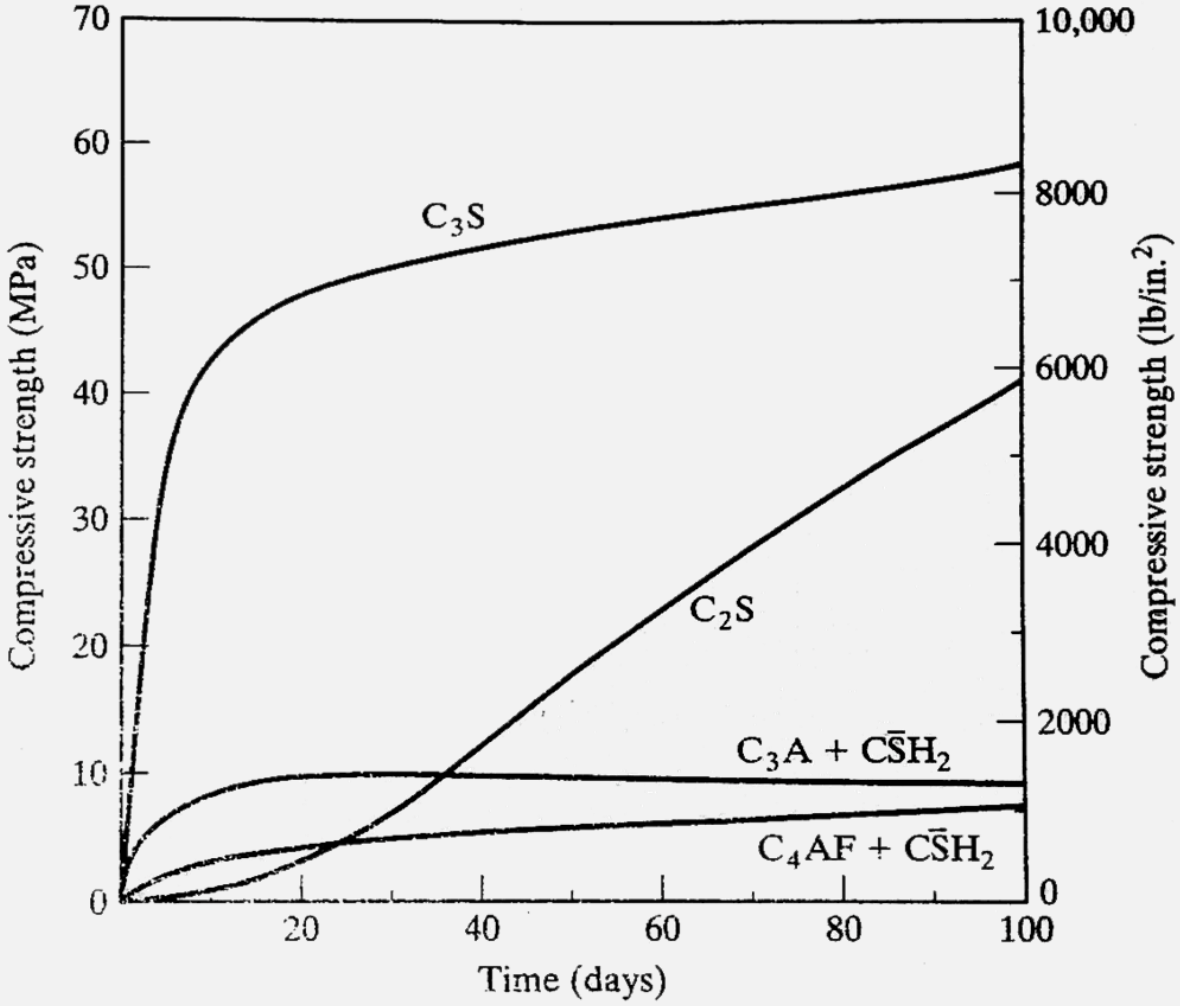
- ✓می توان مولفه های مختلف سیمان را بدین صورت مقایسه نمود:

مقاومت نهایی: C_3S و $C_2S > C_3A > C_4AF$

سرعت رسیدن به مقاومت نهایی: $C_3A > C_4AF > C_3S > C_2S$



درصد تکمیل واکنش های مولفه های سیمان با گذشت زمان



تغییرات مقاومت فشاری مولفه های مختلف سیمان با زمان

سیمان:

گیرش:

گیرش یعنی از دست دادن قابلیت کارپذیری و سیالیت با گذشت زمان.

گیرش سیمان در واقع نتیجهٔ انجام واکنش های اولیهٔ مولفه های مختلف آن می باشد.

در مورد سیمان دو نوع گیرش مطرح می شود:

- ✓گیرش اولیه (Initial setting)
- ✓گیرش نهایی (Final setting)

سیمان:

گیرش اولیهٔ سیمان توسط C_3A کنترل می شود.

گیرش نهایی سیمان توسط C_3S کنترل می شود.

زمان گیرش C_3A حدوداً ۵ الی ۱۰ دقیقه می باشد.

سیمان چسبی است که در بتن بکار می رود و نباید سریع عمل کند و لازم است فرصت کاری برای انتقال بتن، تراکم بتن و پرداخت آن را به ما بدهد.

بنابراین برای اینکه گیرش سریع C_3A را مهارکنند، مقداری گچ به سیمان می زنند.

وجو گچ واکنش هیدراسیون C_3A را تا مدتی دستخوش تغییر نموده و منجر به تولید لایهٔ بازدارندهٔ اترینگات در اطراف ذرات C_3A می شود.

سیمان:

گیرش اولیه (Initial setting):

به لحظه ای که خمیر سیمان هنوز کاملاً صلب نشده اما کارپذیری خود را از دست داده و دیگر نیروی کار امکان استفاده از آن را نخواهد داشت.

گیرش نهایی (Final setting):

به لحظه ای گفته می شود که خمیر سیمان تمام سیالیت خود را از دست داده و عملاً تبدیل به یک جسم صلب می شود.

سیمان:

پایداری ژل اترینگات محصورکنندهٔ اترینگات دور ذرات C_3A بستگی به حضور یون های دارد. هرچه درصد سنگ گچ افزوده شده بیشتر باشد مدت زمان به دام افتادگی ذرات C_3A بیشتر خواهد بود.

ژل اترینگات تولید شده حالت انبساطی دارد و منجر به افزایش حجم می شود. اما چون خمیر سیمان هنوز به گیرش نرسیده است مشکل ساز نخواهد بود.

اگر یون های SO_3 (حاصل از انحلال سنگ گچ در آب) در محیط سیمان تمام نشود لایهٔ اترینگات پایدار باقی مانده و سیمان هرگز به گیرش اولیهٔ خود نمی رسد.

در اینصورت پس از گذشت ۲ تا حداکثر ۶ ساعت از لحظهٔ تماس آب با سیمان ذرات C_3S به گیرش خود می رسند و منجر به رسیدن سیمان به گیرش نهایی خود می شود.

سیمان:

در واقع سیمان قبل از رسیدن به گیرش اولیه (ناشی از C_3A) به گیرش نهایی (ناشی از C_3S) خود می رسد.

در اینصورت ژل منبسط شوندهٔ اترینگات که بدلیل وفور یون SO_3 حتی پس از گیرش نهایی سیمان نیز تولید می شود منجر به ایجاد فشار در ساختار سیمان سخت شده می شود و موجبات تخریب سیمان را از درون فراهم می آورد.

حتماً باید به سیمان گچ افزود ولی این افزودن باید به اندازه ای باشد که درمدتی که گیرش را به تأخیر می اندازد مصرف شده و تمام شود. درضمن خود گچ از درون حمله سولفاتی انجام می دهد و باعث انهدام بتن می شود.

لذا تعیین درصد بهینهٔ گچ جهت رسیدن به زمان گیرش اولیهٔ مناسب و بدون بجا ماندن آثار مخرب در سیمان یک مسالهٔ بسیار مهم می باشد.

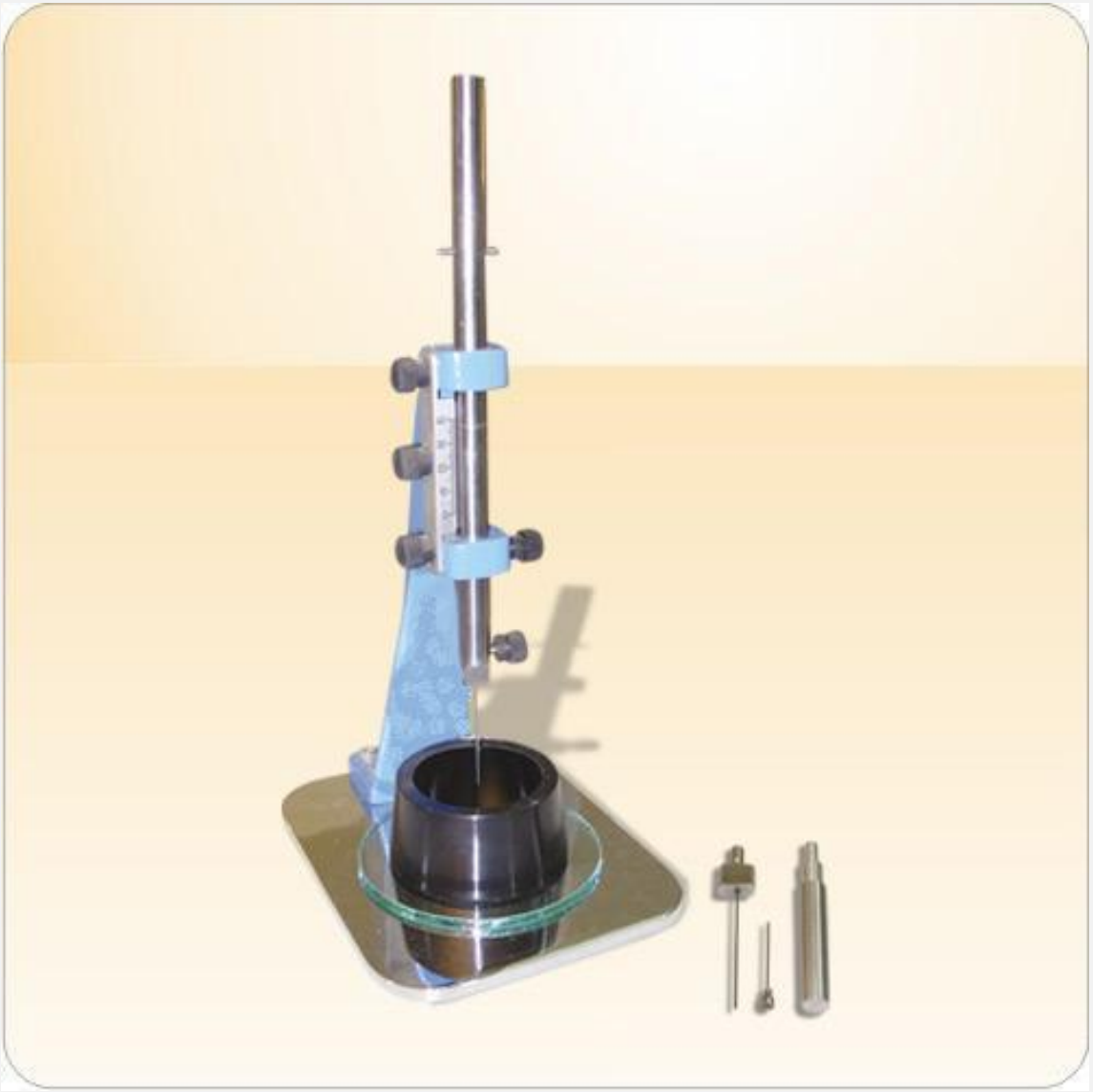
سیمان:

زمان گیرش سیمان توسط دستگاه سوزن ویکات اندازه گیری می شود.

اندازه گیری زمان گیرش شامل دو مرحله می باشد:

۱- تعیین آب متعارف و تهیهٔ خمیر نرمال (خمیر با غلظت نرمال، استاندارد یا متعارف) با استفاده از میلهٔ ۱۰ میلی متری دستگاه سوزن ویکات

۲- تعیین زمان گیرش اولیه و نهایی توسط سوزن ۱ میلی متری دستگاه سوزن ویکات



سیمان:

گیرش های غیر عادی سیمان

۱- گیرش کاذب

این نوع گیرش زمانی رخ می دهد که سنگ گچ به کلینکر داغ افزوده شده و ضمن آسیاب شدن با آن احتراق بیند. در اینصورت تبدیل به گچ ساختمانی شده و به سیمان هم رفتاری مشابه رفتار گچ (تندگیر) می دهد.

۲- گیرش آنی

این نوع گیرش زمانی رخ می دهد که C_3A فعالیت شیمیایی زیادی داشته باشد و یا سنگ گچ کمتر از حد لازم افزوده شده باشد.

سیمان:

حرارت هیدراسیون:

واکنش های هیدراسیون سیمان همگی حرارت زا می باشند؛ یعنی با انجام واکنش تولید حرارت می نمایند.

از هیدراسیون هر یک گرم سیمان بطور متوسط ۷۰ کالری یا ۹۰ ژول انرژی حرارتی آزاد می شود.

عموماً در بتن ریزی های کم حجم، حرارت هیدراسیون سیمان توسط محیط اطراف جذب می شود.

اما در بتن ریزی های حجیم این حرارت عمدتاً در بتن باقی مانده و منجر به افزایش دمای بتن می شود.

سیمان:

حرارت هیدراسیون:

افزایش دمای سیمان در حال هیدراسیون، روند کسب مقاومت آن را تسریع می نماید اما مقاومت نهایی آن را کاهش می دهد. لذا باید از افزایش دمای محیط هیدراسیون جلوگیری نمود.

به همین منظور کسب دانش کافی در مورد حرارت زایی هیدراسیون سیمان که ناشی از حرارت زایی مولفه های چهارگانهٔ آن می باشد کسب نمود.

ترتیب حرارت زایی مولفه های سیمان بدین گونه می باشد:

$$C_3A>C_3S>C_4AF>C_2S$$

سیمان:

حرارت هیدراسیون:

C_3A=207 cal/gr C_4AF=100 cal/gr

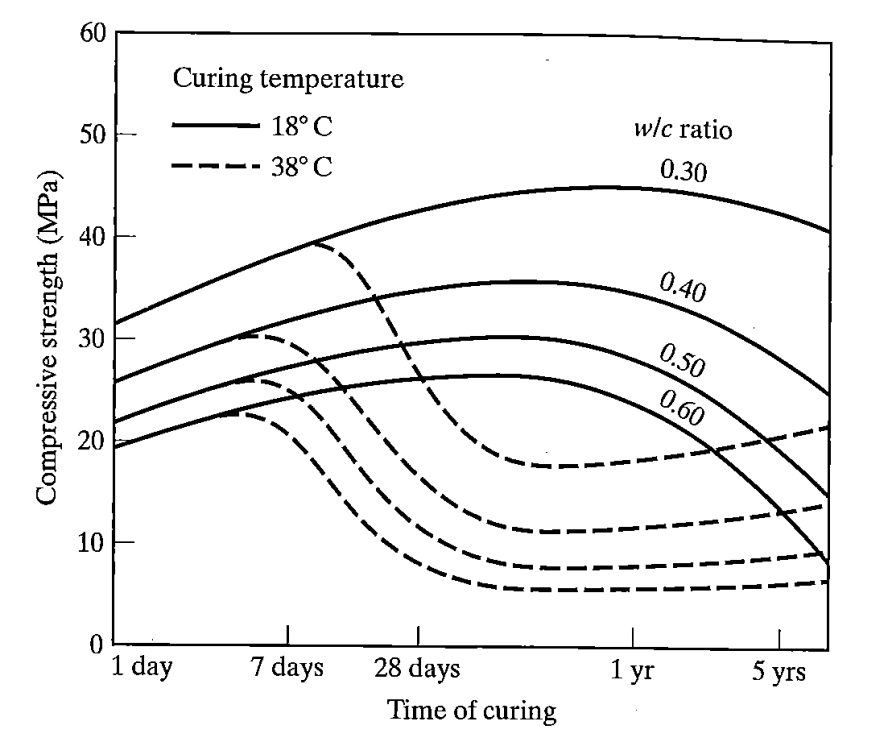
C_3S=120 cal/gr C_2S=62 cal/gr

لذا در بتن ریزی های حجیم باید از سیمانی استفاده نمود که C_3A و C_3S کمتر و C_2S بیشتری داشته باشد.

سیمان:

روند کسب مقاومت:

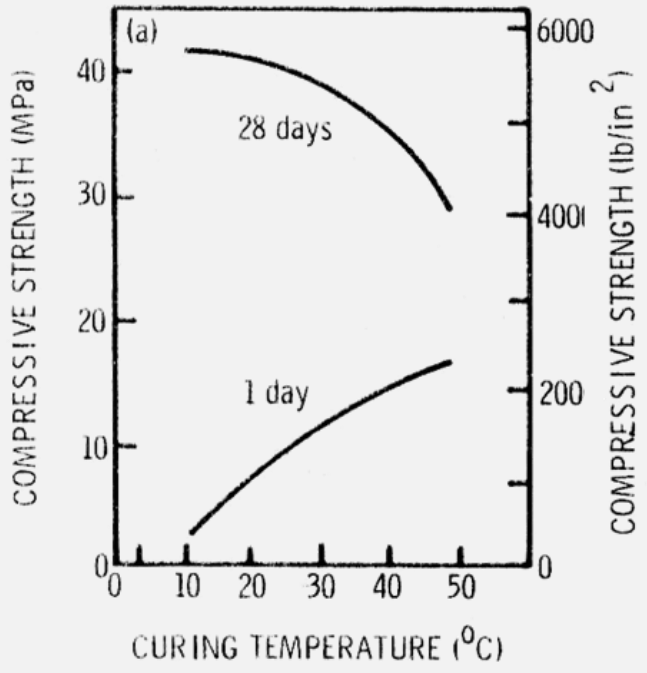
از آنجاکه واکنش های سیمان حرارت زا می باشند، با افزایش دمای محیط روند کسب مقاومت بیشتر خواهد شد.

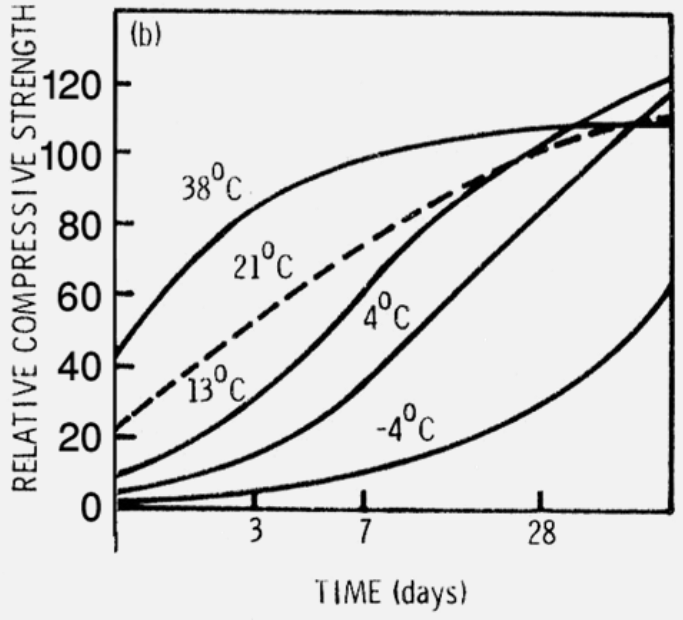


سیمان:

روند کسب مقاومت:

از آنجاکه واکنش های سیمان حرارت زا می باشند، با افزایش دمای محیط روند کسب مقاومت بیشتر خواهد شد. اما از سوی دیگر مقدار مقاومت نهایی کاهش خواهد یافت.





سیمان:

انواع سیمان پرتلند (ASTM C 150، استاندارد ملی ایران شماره ۳۸۹):

سیمان پرتلند مشتمل بر پنج نوع بشرح زیر میباشد:

سیمان پرتلند نوع یک با نشانه "پ – ۱"

به عنوان سیمان پرتلند معمولی برای مصارف عمومی در ساخت ملات یا بتن بکار می‌رود .

سیمان پرتلند نوع دو با نشانه "پ - ۲"

به عنوان سیمان پرتلند اصلاح شده مصرف ویژه آن در ساخت بتن‌هائی است که حرارت هیدراتاسیون متوسط برای آنها ضرورت داشته و حمله سولفات‌ها به آنها در حد متوسط باشد.

سیمان:

انواع سیمان پرتلند (ASTM C 150، استاندارد ملی ایران شماره ۳۸۹):

سیمان پرتلند نوع سه "پ - ۳"

به عنوان سیمان پرتلند با مقاومت اولیه زیاد در شرایطی که مقاومت اولیه زیاد مورد نظر باشد بکار میرود .

سیمان پرتلند نوع چهارم "پ - ۴"

به عنوان سیمان پرتلند با حرارت کم در شرایطی که حرارت هیدراتاسیون کم بتن موردنظر باشد بکار میرود .

سیمان پرتلند نوع پنج "پ - ۵"

به عنوان سیمان پرتلند ضد سولفات در شرایطی که مقاومت زیاد بتن در برابر سولفات‌ها موردنظر باشد بکار میرود.

ویژگیهای الزامی شیمیایی سیمان پرتلند

ردیف	ویژگیهای شیمیائی	نوع سیمان پرتلند					روش آزمون
		۱(۱)	۲	۳	۴	۵	
۱	درصد اکسید سلیسیم SiO_2 (حداقل)	-	۲۰/۰۰	-	-	-	طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۱۶۹۲
۲	درصد اکسید آلومینیوم Al_2O_3 (حداکثر)	-	۶/۰۰	-	-	-	
۳	درصد اکسید آهن Fe_2O_3 (حداکثر)	-	۶/۰۰	-	۶/۵	-	
۴	درصد اکسید منیزیم MgO (حداکثر)	۵	۵	۵	۵	۵	
۵	درصد تری‌اکسید گوگرد SO_3 (حداکثر) $C_3A \leq 8$	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۵	۲/۳۰	۲/۳۰	
	$C_3A > 8$	۳/۵۰	-	۴/۵۰	-	-	
۶	درصد کسر وزن در اثر سرخ شدن (حداکثر)	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۲/۵۰	۳/۰۰	
۷	درصد باقیمانده نامحلول (حداکثر)	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	
۸	درصد سه کلسیم سیلیکات C_3S (حداکثر)	-	-	-	۳۵/۰۰	-	
۹	درصد دوکلسیم سیلیکات C_2S (حداقل)	-	-	-	۴۰/۰۰	-	
۱۰	درصد سه کلسیم آلومینات C_3A (حداکثر)	-	۸/۰۰	۱۵/۰۰	۷/۰۰	۵/۰۰(۲)	
۱۱	درصد مجموع چهارکلسیم آلومینوفریت و دوبرابر سه کلسیم آلومینات ($2C_3A+C_4AF$) و یا چهارکلسیم آلومینوفریت و دوکلسیم فریت ($C_4AF + C_2F$) (حداکثر)	-	-	-	-	۲۵(۲)	

ویژگیهای اختیاری شیمیایی سیمان پرتلند

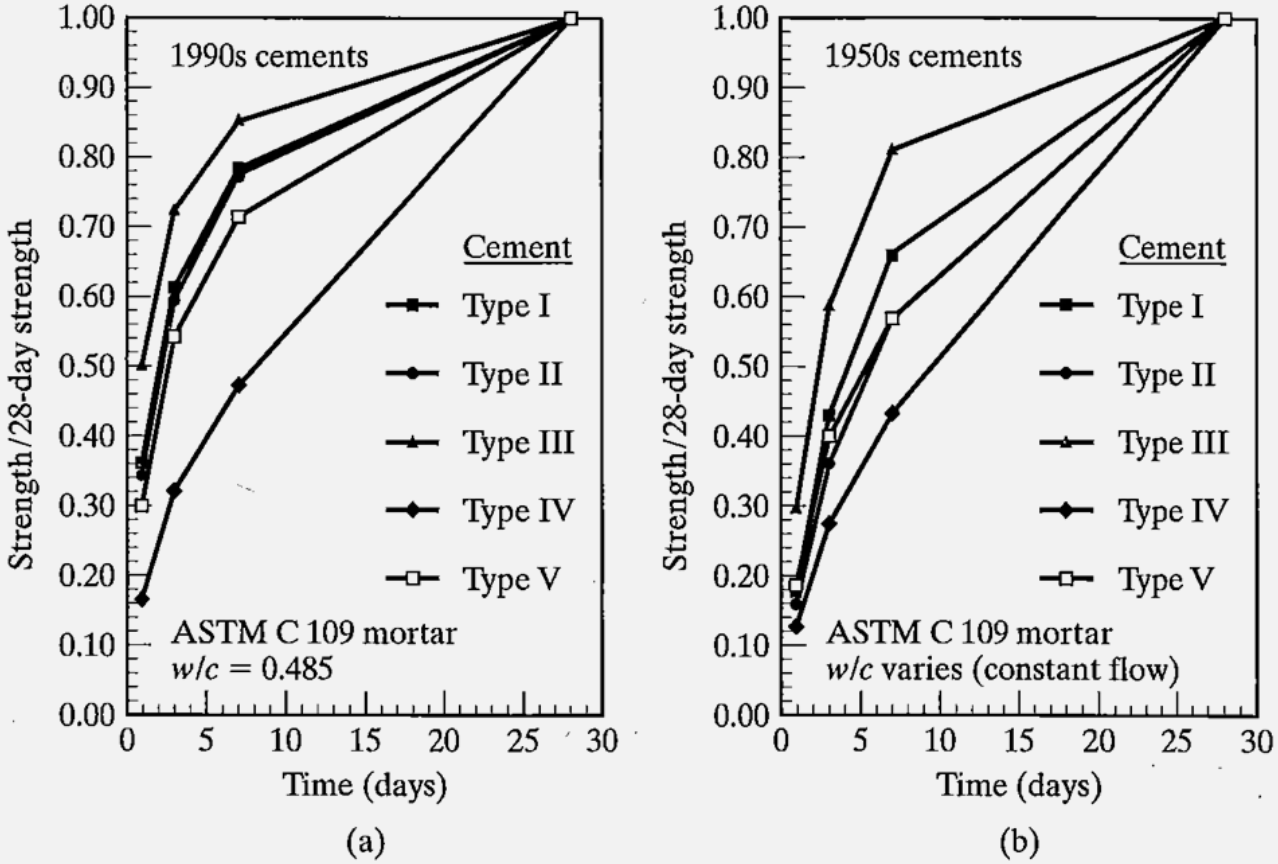
ردیف	ویژگیها		نوع سیمان پرتلند					روش آزمون برابر با استانداردهای ملی ایران
			۱	۲	۳	۴	۵	
۱	سه کلسیم آلومینات	۱-۱- برای مقاومت متوسط در برابر سولفات ها درصد (حداکثر)	-	-	۸/۰۰	-	-	۱۶۹۲
		۱-۲- برای مقاومت زیاد در برابر سولفات ها درصد (حداکثر)	-	-	۵/۰۰	-	-	۱۶۹۲
۲	مجموع C_3S و C_3A برای حرارت هیدراسیون متوسط درصد (حداکثر)		-	۵۸	-	-	-	۱۶۹۲
۳	قلیائی ها $Na_2O+0.658K_2O$ برای سیمان با قلیائی پائین درصد (حداکثر)		۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۶۰	۱۶۹۵

ویژگیهای الزامی فیزیکی سیمان پرتلند

ردیف	ویژگیها		نوع سیمان پرتلند						روش آزمون
			۱-۳۲۵	۱-۴۲۵	۱-۵۲۵	۲	۳	۴	۵	
۱	سطح مخصوص سانتی متر مربع بر گرم (حداقل)		۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۳۹۰
۲	انبساط آزمایش اتوکلاو درصد (حداکثر)		۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۳۹۱
۳	زمان گیرش با سوزن ویکات	اولیه به دقیقه (حداقل)	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۳۹۲
		نهایی به ساعت (حداکثر)	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۳۹۲
۴	تاب فشاری (کیلوگرم بر سانتی متر مربع)	یک روزه (حداقل)	–	–	–	–	۱۲۵	–	–	۳۹۳
		دو روزه (حداقل)	–	۱۰۰	۲۰۰	–	–	–	–	۳۹۳
		سه روزه (حداقل)	۱۲۰	–	–	۱۰۰	۲۱۰	–	۸۵	۳۹۳
		هفت روزه (حداقل)	۲۰۰	–	–	۱۷۵	–	۷۰	۱۵۰	۳۹۳
		بیست و هشت روزه (حداقل) (حداکثر)	۳۲۵ ۵۲۵	۴۲۵ ۶۲۵	۵۲۵ –	۳۱۵ –	– –	۱۸۰ –	۲۷۰ –	۳۹۳
۵	حرارت هیدراسیون (کاری بر گرم)	هفت روزه (حداکثر)	–	–	–	۷۰	–	۶۰	–	۳۹۲
		بیست و هشت روزه (حداکثر)	–	–	–	–	–	۷۰	–	۳۹۲
۶	انبساط سولفات چهارده روز (حداکثر) درصد		–	–	–	–	–	–	۰/۰۴	۳۹۱

مقایسهٔ سیمان های مختلف:

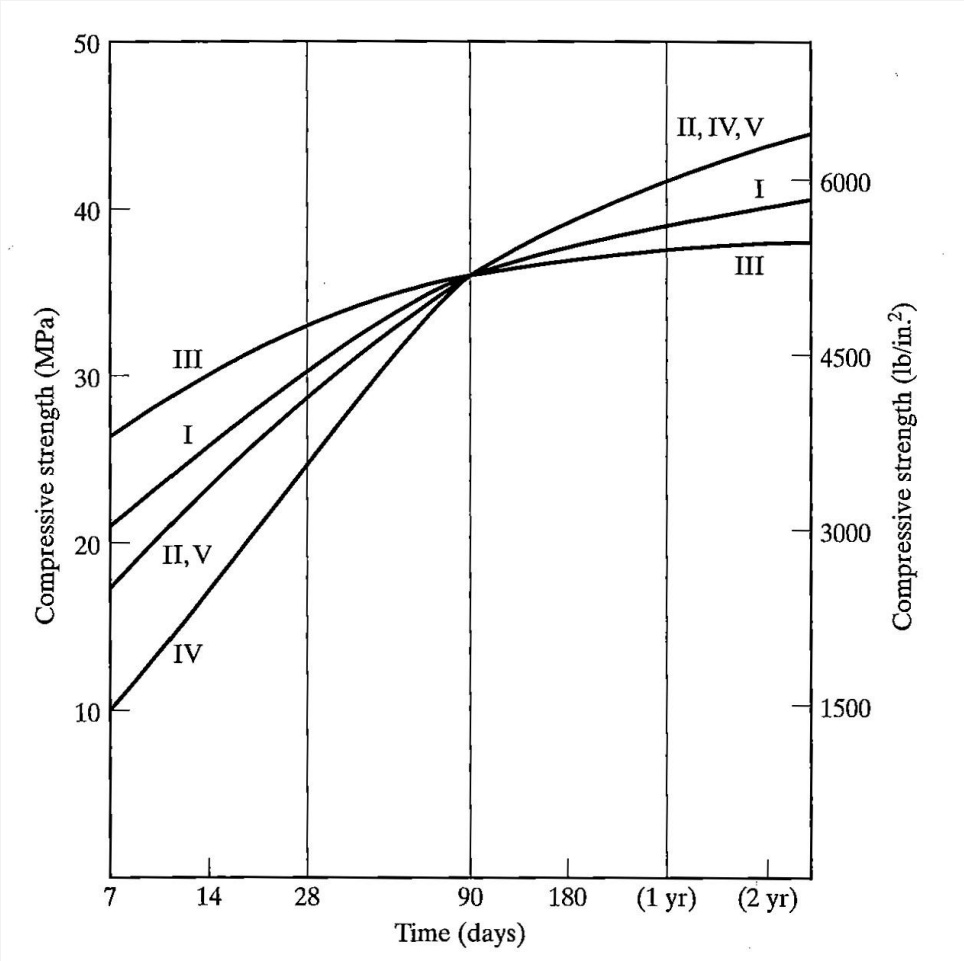
۱- روند کسب مقاومت:



نسبت مقاومت کسب شده به مقاومت ۲۸ روزهٔ سیمان های مختلف

مقایسهٔ سیمان های مختلف:

۲- مقاومت نهایی



روند کسب مقاومت و مقاومت نهایی سیمان های مختلف

سیمان:

۳- حرارت هیدراسیون:

هرچه سیمان دارای C_3S و C_3A بیشتر باشد حرارت هیدراسیون آن بیشتر خواهد شد.

در نتیجه: حرارت هیدراسیون III>I>II>V>IV

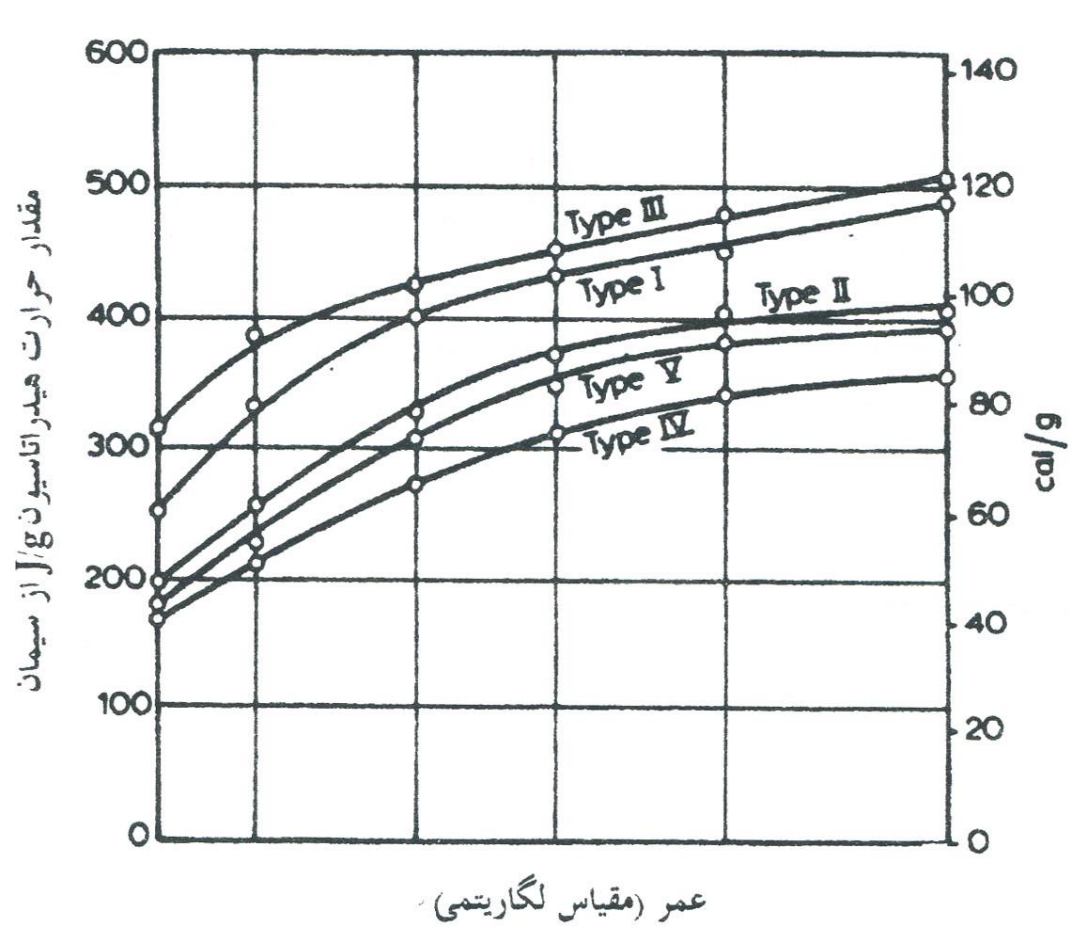
جدول صفحهٔ بعد یک نمونه از ترکیبات شیمیایی انواع سیمان را نمایش می دهد. با اطلاعات این جدول می توان در خصوص روند کسب مقاومت، مقاومت نهایی و روند کسب مقاومت انواع سیمان قضاوت نمود.

سیمان: (مقادیر نمونه ترکیبات انواع سیمان پرتلند)

سیمان	مقدار	ترکیبات مرکب، درصد							تعداد نمونه‌ها
		C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	$CaSO_4$	CaO آزاد	MgO	افت حرارتی	
	حداکثر	۶۷	۳۱	۱۴	۱۲	۳/۴	۱/۵	۳/۸	۲/۳	
نوع *I*	حداقل	۴۲	۸	۵	۶	۲/۶	۰/۰	۰/۷	۰/۶	
	متوسط	۴۹	۲۵	۱۲	۸	۲/۹	۰/۸	۲/۴	۱/۲	۲۱
	حداکثر	۵۵	۳۹	۸	۱۶	۳/۴	۱/۸	۴/۴	۲/۰	
نوع *II*	حداقل	۳۷	۱۹	۴	۶	۲/۱	۰/۱	۱/۵	۰/۵	
	متوسط	۴۶	۲۹	۶	۱۲	۲/۸	۰/۶	۳/۰	۱/۰	۲۸
	حداکثر	۷۰	۳۸	۱۷	۱۰	۴/۶	۴/۲	۴/۸	۲/۷	
نوع *III*	حداقل	۳۴	۰	۷	۶	۲/۲	۰/۱	۱/۰	۱/۱	
	متوسط	۵۶	۱۵	۱۲	۸	۳/۹	۱/۳	۲/۶	۱/۹	۵
	حداکثر	۴۴	۵۷	۷	۱۸	۳/۵	۰/۹	۴/۱	۱/۹	
نوع *IV*	حداقل	۲۱	۳۴	۳	۶	۲/۶	۰/۰	۱/۰	۰/۶	
	متوسط	۳۰	۴۶	۵	۱۳	۲/۹	۰/۳	۲/۷	۱/۰	۱۶
	حداکثر	۵۴	۴۹	۵	۱۵	۳/۹	۰/۶	۲/۳	۱/۲	
نوع *V*	حداقل	۳۵	۲۴	۱	۶	۲/۴	۰/۱	۰/۷	۰/۸	
	متوسط	۴۳	۳۶	۴	۱۲	۲/۷	۰/۴	۱/۶	۱/۰	۲۲

سیمان:

روند آزاد سازی حرارت هیدراسیون انواع سیمان پرتلند



سیمان:

۴- دوام در برابر حملات شیمیایی:

- ✓حملۀ سولفاتی
- ✓حملۀ کلریدی

حملۀ سولفاتی:

درمحیط های سولفاتی مورد توجه قرار می گیرد.

مثل سولفات های موجود درآب های شور (مثل جنوب کشور) و آب های زیرزمینی

سیمان:

حملهٔ سولفاتی:

عامل اصلی ضعف سیمان در برابر حملهٔ سولفاتی C_3A می باشد.

یون های سولفات با حمله به C_3A تولید پودر سفید اترینگات (سولفوآلومینات کلسیم هیدراته) تولید می کنند.

این واکنش واکنشی منبسط شونده است و باعث می گردد که سیمان ترک خورده و در سازه مورد نظر ایجاد تنش نماید.

مقایسهٔ سیمان های مختلف در برابر حملهٔ سولفاتی:

سیمان:

در این خصوص می توان ترکیب شیمیایی معمول تیپ های مختلف سیمان را مورد مقایسه قرار دهیم:

انواع سیمان	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	سطح ویژه
سیمان نوع ۱	٪۵۹	۱۵	۱۲	۸	۲۸۰۰
سیمان نوع ۲	۴۹	۲۹	۶≺۸	۱۲	۲۸۰۰
سیمان نوع ۳	۶۰	۱۲	۱۲	۸	۳۴۰۰
سیمان نوع ۴	۲۰	۴۶	۵≺۷	۱۲	۲۸۰۰
سیمان نوع ۵	۴۳	۳۶	۴≺۵	۱۲	۲۸۰۰

سیمان:

جلوگیری از خوردگی آرماتور توسط C_3A:

C_3A به لحاظ شیمیایی خیلی فعال است.

خوردگی آرماتور در بتن: یون های کلر (نمـــک های موجود درآب دریا) درآب منفذی بتن جریان پیدا می کنند و به سطح آرماتـــور مـــی رسند و آرماتور درمعرض خوردگی قرار می گیرد.

یون کلر اگر به آرماتور برسد خوردگی آغاز می شود.

اگر آرماتور خوردگی پیدا کند، زنگ زده و ازدیاد حجم پیدا می کند

این ازدیاد حجم به بتن فشار آورده و ترک هایی درامتداد طولی آرماتور ایجاد می شود

و خود مقطع آرماتور نیز کم می شود.

سیمان:

جلوگیری از خوردگی آرماتور توسط C_3A :

خوردگی آرماتور در بتن: یون های کلر (نمـــک های موجود درآب دریا) درآب منفذی بتن جریان پیدا می کنند و به سطح آرماتـــور مـــی رسند و آرماتور درمعرض خوردگی قرار می گیرد.

یون کلر اگر به آرماتور برسد خوردگی آغاز می شود.

اگر آرماتور خوردگی پیدا کند، زنگ زده و ازدیاد حجم پیدا می کند

این ازدیاد حجم به بتن فشار آورده و ترک هایی درامتداد طولی آرماتور ایجاد می شود

و خود مقطع آرماتور نیز کم می شود.

سیمان:

جلوگیری از خوردگی آرماتور توسط C_3A :

C_3A به لحاظ شیمیایی خیلی فعال است.

وجود C_3A باعث درگیری با یون های کلر می شود و سرعت انتقال را کند می کند. در برابر خوردگی اگر C_3A کم شود سرعت انتقال یون های کلر افزایش می یابد.

تأثیر خوردگی آرماتور مضرتر از حمله سولفاتی است.

سیمان:

حملهٔ کلریدی:

محیط های دارای یون کلرید (مانند آب دریا حاوی نمک) مستعد حملهٔ کلریدی به محیط سیمان می باشند.

حدود ۲۵٪ حجم سیمان پرتلند هیدراته را آهک شکفته ($Ca(OH)_2$) تشکیل می دهد.

این ماده ماهیت قلیایی شدید داشته و میل ترکیبی زیادی با محیط های اسیدی دارد.

زمانیکه یون کلر در معرض این آهک شکفتهٔ بتن قرار می گیرد این دو مولفه با هم واکنش داده و تولید رسوبات کلرید کلسیم می نمایند.

سیمان:

مقایسهٔ سیمان های مختلف در برابر حملهٔ کلریدی:

هرچه $Ca(OH)_2$ موجود در سیمان هیدراته بیشتر باشد سیمان در برابر این محیط ها ضعیف تر عمل خواهد نمود.

با توجه به جدول ارائه شده در اسلایدهای گذشته می توان سیمان های مختلف را از این حیث مقایسه نمود.

سیمان:

روابط بوگ در تعیین نوع سیمان:

با استفاده از ترکیب شیمیایی مواد رسی و آهکی اولیه می توان به کمک این روابط مقادیر C_3S، C_2S، C_3A و C_4AF را تعیین و نهایتاً نوع سیمان محتمل خروجی از کوره را تعیین نمود:

Case A: $A/F \geq 0.64$

$$C_3S = 4.071C - 7.600S - 6.718A - 1.430F - 2.852\overline{S}$$
$$C_2S = 2.867S - 0.7544C_3S$$
$$C_3A = 2.650A - 1.692F$$
$$C_4AF = 3.043F$$

Case B:* $A/F < 0.64$

$$C_3S = 4.071C - 7.600S - 4.479A - 2.859F - 2.852\overline{S}$$
$$C_2S = 2.867S - 0.7544C_3S$$
$$C_3A = 0$$
$$C_4AF^* = 2.100A + 1.702F$$

سیمان:

شرحی بر مشخصات و کاربردهای انواع سیمان پرتلند:

نوع ۱

سیمان پرتلند نوع ۱، سیمانی برای استفاده‌های عمومی و مناسب برای همه کارهایی است که ویژگیهای انواع دیگر سیمان مورد نیاز نمی‌باشد. این نوع سیمان در بتنی بکار می‌رود که در معرض شرایط محیطی خوردنده مانند حمل سولفاتهای خاک و آب، یا در معرض افزایش دمای نامطلوب ناشی از حرارات آزاد شده توسط هیدراسیون نباشد. این سیمان در بتن جاده‌ها، کف‌ها، ساختمانهای بتن مسلح، پلها، سازه‌های راه آهن، مخازن و منابع، لوله، سازه‌های بنایی، و دیگر فرآورده‌های بتنی پیش ساخته بکار می‌رود.

سیمان:

شرحی بر مشخصات و کاربردهای انواع سیمان پرتلند:

نوع ۲

در جاهاییکه لازم باشد در برابر حمله متوسط سولفاتها اقدامات احتیاطی بعمل آید، بعنوان نمونه در سازه‌های زهکشی که غلظت سولفات آبهای زیرزمینی در آنها بالاتر از حد معمول است ولی بطور غیر معمول شدید نیست، از سیمان پرتلند نوع ۲ استفاده می‌شود (جدول ۱). سیمان نوع ۲ عموماً گرمای کمتری را با سرعت کمتری نسبت به سیمان نوع ۱ تولید می‌کند. ویژگی حرارت هیدراسیون متوسط می‌تواند با انتخاب خریدار تعیین گردد. اگر ضوابط مربوط به حداکثر حرارت هیدراسیون در نظر گرفته شوند، می‌توان این نوع سیمان را در سازه‌های نسبتاً حجیم مانند پایه‌های بزرگ پلها، و کوله‌ها و دیوارهای حایل سنگین بکار برد. استفاده از این نوع سیمان باعث کاهش بالا رفتن دما می‌شود که بویژه در بتن ریزی در هوای گرم دارای اهمیت است.

نوع ۳

سیمان پرتلند نوع ۳ امکان دستیابی به مقاومتهای بالا در مدت زمانی کوتاه را، معمولاً یک هفته یا کمتر، فراهم می‌آورد. این نوع سیمان از نظر فیزیکی و شیمیایی شبیه سیمان نوع ۱ است، با این تفاوت که ذرات آن ریزتر آسیاب شده‌اند. این سیمان زمانی بکار می‌رود که قالبها باید تا آنجا که ممکن است زود باز شوند یا هنگامیکه سازه باید سریعاً مورد بهره‌برداری قرار گیرد. استفاده از این سیمان در هوای سرد باعث کاهش دوره عمل آوری کنترل شده بتن می‌شود. اگرچه برای دستیابی به مقاومت اولیه بالا می‌توان از مخلوطهای پر سیمان نوع ۱ استفاده کرد، ولی استفاده از مخلوطهای دارای سیمان نوع ۳ برای این منظور مناسب‌تر و اقتصادی‌تر است.

سیمان:

جدول ۱- انواع سیمان مورد نیاز برای بتن در معرض حمله سولفات‌ها (۱ و ۲)

درجه نسبی حمله سولفات	درصد وزنی سولفات محلول در آب در (SO_4) نمونه‌های خاک	سولفات (SO_4) در نمونه‌های آب، قسمت در میلیون (PPm)	نوع سیمان
ناچیز	۰/۰۰ تا ۰/۱۰	۰ تا ۱۵۰	-
متوسط*	۰/۱۰ تا ۰/۲۰	۱۵۰ تا ۱۵۰۰	۱P(MS) 1S(MS) و ۲
شدید	۰/۲۰ تا ۲/۰۰	۱۵۰۰ تا ۱۰۰۰۰	۵
خیلی شدید	بیش از ۲/۰۰	بیش از ۱۰۰۰۰	۵ بعلاوه پوزولان**

* آب دریا

سیمان:

شرحی بر مشخصات و کاربردهای انواع سیمان پرتلند:

نوع ۴

سیمان پرتلند نوع ۴ در جاییکه لازمست میزان و مقدار گرمای هیدراسیون تولید شده حداقل باشد، بکار می‌رود. روند رشد مقاومت این نوع سیمان، آهسته‌تر از دیگر انواع سیمان است. سیمان نوع ۴ برای استفاده در سازه‌های بتنی حجیم، مانند سدهای وزنی بزرگ، که لازم است افزایش دمای ناشی از گرمای آزاد شده در حین سخت شدن در آنها به حداقل برسد. منظور می‌شود.

نوع ۵

سیمان پرتلند نوع ۵ فقط در بتن‌هایی که در معرض اثر شدید سولفاتها قرار دارند و اساساً در جاهائیکه خاکها یا آبهای زیرزمینی دارای مقدار زیادی سولفات هستند، بکار می‌رود. روند رشد مقاومت این نوع سیمان، آهسته‌تر از سیمان نوع ۱ است. جدول ۱، غلظتهای سولفات که استفاده از سیمان نوع ۵ را الزامی می‌کند، توضیح می‌دهد. همچنانکه در شکل ۱ نشان داده شده‌است مقاومت بالای سیمان نوع ۵ در برابر سولفات، ناشی از مقدار پایین‌تری کلسیم آلومینات (C_3A) است. هوازایی و افزایش مقادیر سیمان (نسبت‌های آب به سیمان پائین) نیز مقاومت در برابر سولفاتها را افزایش می‌دهند. سیمان نوع ۵ نیز همانند سایر سیمانهای پرتلند، در برابر اسیدها و مواد خورنده شدید، مقاوم نیست.

انواع دیگر سیمان پرتلند:

۱- سیمان هوازا

۲- سیمان های آمیختــه:
- ✓سیمان آمیختهٔ پوزولانی
- ✓سیمان آمیختهٔ سرباره ای

۳- سیمان سفیــد:

۴- سیمان پرتلند بنّایــی:

۵- سیمان پرتلند زود سخت شونده (با روند بسیار سریع کسب مقاومت):

۶- سیمان پرتلند آهکی (PKZ)

۷- سیمان های منبسط شونده

۸- سیمان پُرآلومین – سیمان نسوز (HAC)

۹- سیمان چاه نفــت (API)

۱- سیمان هوازا:

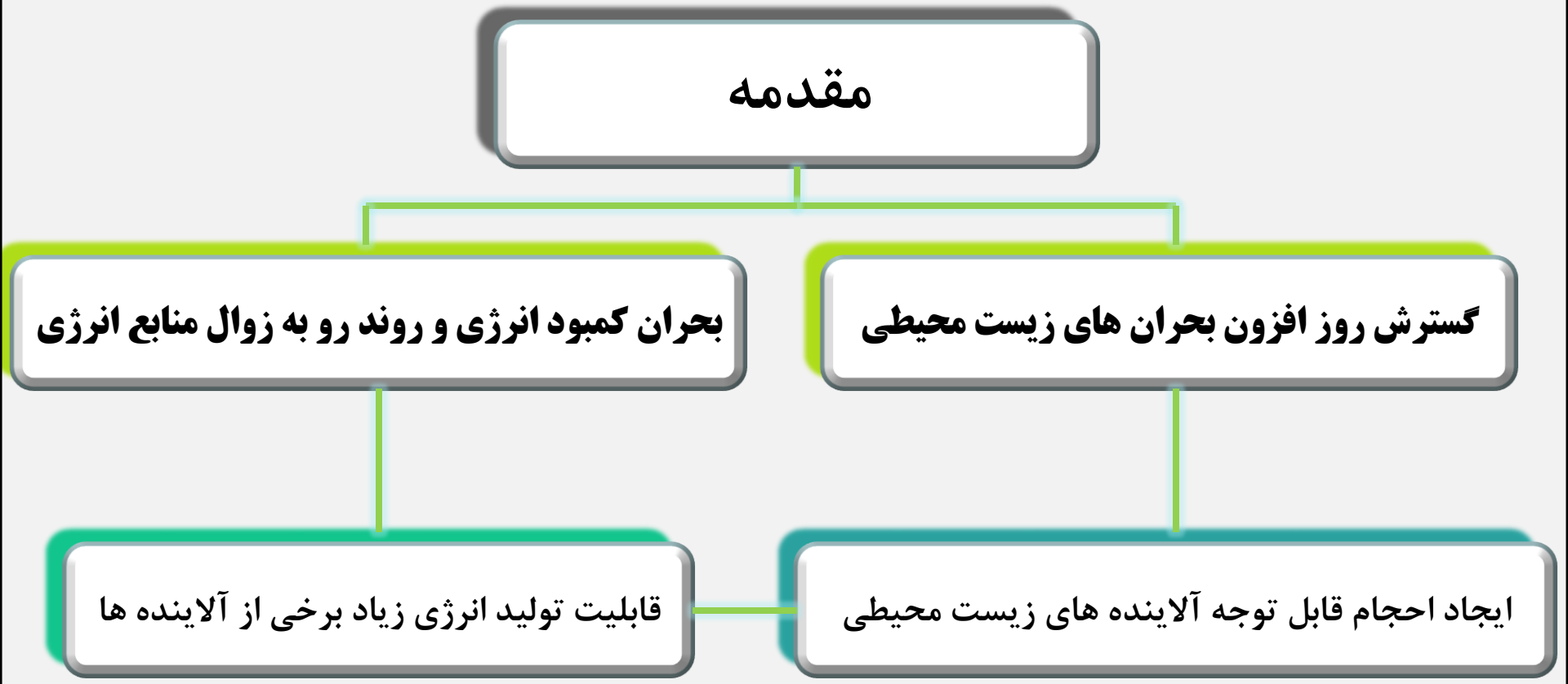
مشخصات سه نوع سیمان پرتلند هوازا (نوع ۱A، ۲A و ۳A) در ASTM C150 آورده شده است.

این سیمان ها از نظر ترکیب شیمیایی، به ترتیب مطابق با نوع های ۱، ۲ و ۳ می باشند. با این تفاوت که مقادیر کمی از ماده هوازا در هنگام تولید سیمان با کلینکر آسیاب می شود.

بتن تولید شده از این نوع سیمان در برابر یخ زدن، آب شدن (سیکل های ذوب و انجماد) مقاومت بالاتری خواهند داشت.

حباب های تولید شده ضمن هیدراسیون این سیمان کاملاً مجزا و ریز بوده و بطور یکنواخت در حجم بتن توزیع می گردند.

۲- سیمان های آمیخته



روند رو به رشد تولید سیمان

معایب فنی متعدد سیمان نظیر جمع شدگی و دوام پایین در محیط های خورنده

مصرف زیاد انرژی برای تولید؛ ۲۲ GJ/m^3 (Mindess et al. 2003)

ایجاد احجام قابل توجه آلاینده های زیست محیطی

تمایل محققین برای جایگزین نمودن بخشی از این ماده با سایر مواد افزودنی

ضایعات و آلاینده هایی که قابلیت جایگزینی سیمان را دارند:

ضایعات شهری	محصولات فرعی فعالیت های صنعتی	ضایعات کشاورزی
• ضایعات جامد شهری (Municipal Solid Waste Ash) • لجن شهری (Municipal Sludge) • ضایعات شیشه (Waste Glass) • خاکستر ضایعات لاستیک (Scrap Tires Ash)	• سرباره کوره آهن گدازی (Blast Furnace Slag) • غبار کوره پخت سیمان (Cement Kiln Dust) • ماسه ریخته گری (Foundry Sand) • میکروسیلیس (Silica Fume)	• **پوستهٔ برنج (Rice Husk)** • تفالهٔ نیشکر (Bagasse) • ساقهٔ گل آفتاب گردان (Sunflower Stem) • ساقهٔ بامبو (Bamboo Stem)

۲-۱- سیمان های آمیختهٔ پوزولانی

همان سیمان پرتلند است که به آن پوزولان اضافه شده است. این پوزولان ها می توانند طبیعی یا مصنوعی باشند.

تعریف پوزولان: به مواد سیلیسی و یا سیلیسی و آلومینی فعال (آمورف) که به خودی خود خاصیت چسبندگی نداشته اما در مجاورت سیمان می توانند تشکیل ماده چسبنده بدهند پوزولان گفته می شود.

علت انتخاب این واژه اینست که اولین بار رومی ها از یک نوع خاکستر آتشفشانی در اطراف خلیج Naples استفاده می نمودند که عمدتاً پوزولانا نامیده می شد. به دلیل اینکه بهترین و متنوع ترین این نوع خاکستر ها در اطراف روستای پوزولی (Pozzuoli) و در نزدیکی کوه Vesuviusیافت می شد.

۲-۱- سیمان های آمیختهٔ پوزولانی

واکنش های پوزولانی:

سیلیس آمورف موجود در پوزولان ها می تواند با آهک هیدراتهٔ تولید شده ضمن هیدراسیون سیمان واکنش داده و تولید ژل CSH نماید.

$$Ca(OH)_2+SiO_2+H_2O \rightarrow CaO\text{-}SiO_2\text{-}H_2O$$

یا به عبارت دیگر: $CH+S+H \rightarrow CSH$

در واقع پوزولان ها با این واکنش آهک شکفتهٔ تولید شده از هیدراسیون C_3S و C_2S را مصرف نموده و از این طریق دوام بتن را در برابر محیط های کلریدی افزایش می دهند.

۲-۱- سیمان های آمیختهٔ پوزولانی

انواع پوزولان ها:

امروزه پوزولان ها به دو دستهٔ طبیعی (Natural) و مصنوعی (Artificial) یا محصول فرعی (By-product) تقسیم بندی می شوند.

۱- پوزولان های طبیعی:

به آن دسته از پوزولانها گفته می شود که در طبیعت موجود بوده و نیاز به هیچ پروسه احتراقی یا شیمیایی جهت بروز خواص پوزولانی نداشته و تنها بایستی به خوبی آسیاب شوند.

عمدهٔ کاربرد پوزولان های طبیعی در دورهٔ معاصر به عملیات بتن ریزی حجیم در ساخت سازه های هیدرولیکی در آمریکای وسترن در دهه ۱۹۳۰ باز می-گردد. در ساخت قنات آب لس آنجلس در سال ۱۲-۱۹۱۰، گلدن گیت و پل سانفرانسیسکو – کالیفرنیا نیز از این نوع پوزولان ها بهره جویی شده است. به هر حال عمدهٔ استفاده از این مواد به زمان قبل از مسیح و یا اوایل قرن بیستم باز می گردد.

۲-۱- سیمان های آمیختهٔ پوزولانی

انواع پوزولان ها:

۲- پوزولانهای مصنوعی:

به موادی گفته می شود که ابتدا به ساکن خاصیت پوزولانی نداشته اما با اعمال فرایند مشخصی بر روی آن ها می توان به موادی با خاصیت پوزولانی دست یافت.

عمدهٔ پوزولانهایی که امروزه مورد استفاده قرار می گیرند پوزولان های مصنوعی می باشند. برخی از این پوزولان ها عبارتند از:

۱- میکروسیلیس	۲- خاکستر بادی	۳- خاکستر لجن شهری	۴- متاکائولین
۵- زئولیت	۶- نانو سیلیس	۷- خاکستر پوستهٔ برنج	۸- خاکستر ساقهٔ گندم

۲-۱- سیمان های آمیختهٔ پوزولانی

انواع پوزولان ها:

* **میکروسیلیس:** انجمن بتن آمریکا (ACI) میکروسیلیس را اینگونه تعریف می نماید:

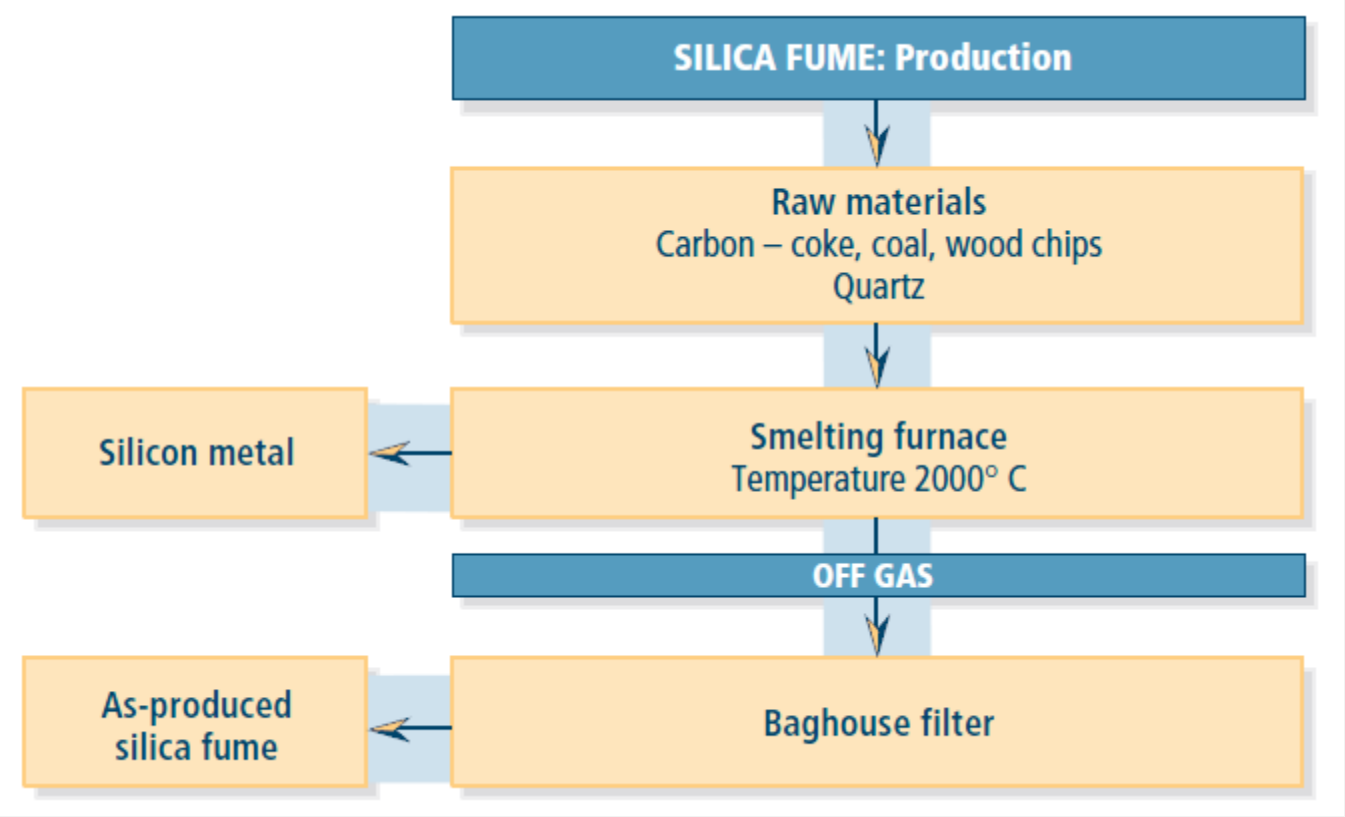
ذرات بسیار ریز سیلیس (SiO_2) می باشند که در کوره های قوس الکتریکی بعنوان یک محصول جانبی ضمن تولید عنصر سیلیکون (سیلیسیوم Si) و یا آلیاژهای حاوی سیلیکون تولید می شوند. (ACI 116R)

رنگ این ذرات بر حسب درصد کربن موجود در آنها از خاکستری تیره (همانند سیمان) تا روشن تغییر می نماید.

در واقع ضمن تولید محصول اصلی (سیلیکون یا آلیاژهای آن)، بخشی از مواد اکسید شده و همراه با سایر گازها بصورت غبار خارج می شوند که توسط دستگاه های تفکیک غبار از گاز (Baghouse) جمع آوری می شوند.

۲-۱- سیمان های آمیختهٔ پوزولانی

روند شماتیک تولید میکروسیلیس



۲-۱- سیمان های آمیختهٔ پوزولانی

خصوصیات شیمیایی و فیزیکی میکروسیلیس:

درصد سیلیس: بیش از ۸۵٪

مقادیر جزئی از سایر ناخالصی ها نظیر CaO، MgO، Al_2O_3، Fe_2O_3، SO_3 و CO_2

نمونه ای از ترکیبات شیمیایی میکروسیلیس (مربوط به شرکت فروآلیاژ ایران)

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Cl	SO_3	LOI
۹۱	۱	۰،۹	۱،۷	۱،۸	۰،۰۹	۱	۲،۵۱

ساختار کانی شناسی سیلیس: آمورف (بی شکل)

شکل ذرات: کروی شکل

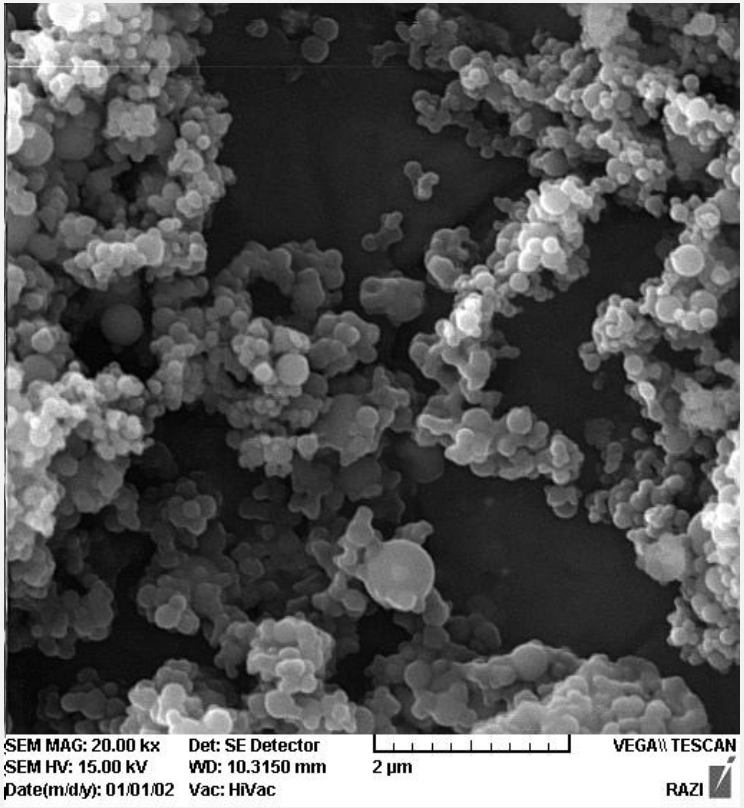
سطح ویژهٔ ذرات: ۳۰۰۰۰ m^2/kg تا ۱۲۰۰۰ m^2/kg

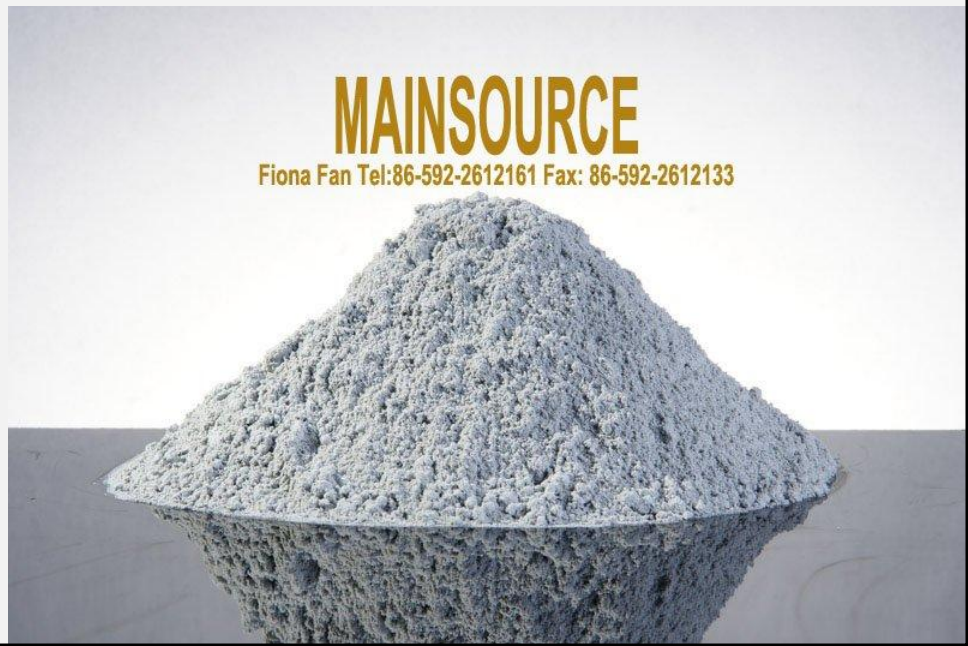
۲-۱- سیمان های آمیختهٔ پوزولانی

خصوصیات شیمیایی و فیزیکی میکروسیلیس:

اندازهٔ ذرات: کوچکتر از یک میکرومتر

دانسیتهٔ واقعی ذرات: gr/cm^3 ۲،۱۵-۲،۲۵





۲-۱- سیمان های آمیختهٔ پوزولانی

خاکستر بادی:

این ماده در واقع یک پسماند غیر آلی و غیرقابل احتراق ذغال پودر شده پس از احتراق در نیروگاه های برق می باشد.

خاکستر بادی در احجام بسیار بالایی در ساخت و ساز استفاده می شود و بسیاری از شرکت های تهیه بتن آماده بصورت روتین از این ماده در بتن استفاده می کنند.

اگرچه انگیزهٔ اصلی این شرکت ها صرفهٔ اقتصادی می باشد (چرا که قیمت خاکستر بادی حدوداً نصف قیمت سیمان است)، اما مزایای فنی بسیاری نیز با استفاده از این ماده در بتن حاصل می شود.

سالانه حدود ۲۵۰ میلیون تن خاکستر بادی در آمریکا تولید می شود که بسیار بیشتر از میزان استفاده شده در بتن می باشد.

البته همهٔ انواع خاکسترهای بادی قابل استفاده در بتن نمی باشند.

۲-۱- سیمان های آمیختهٔ پوزولانی

خاکستر بادی:

خاکستر بادی دارای دو نوع (F) و (C) می باشد.

نوع F عمدتاً از ذغال سنگ خشک و خالص و یا ذغال سنگ قیری (ذغال سنگ چاق) بدست می آید.

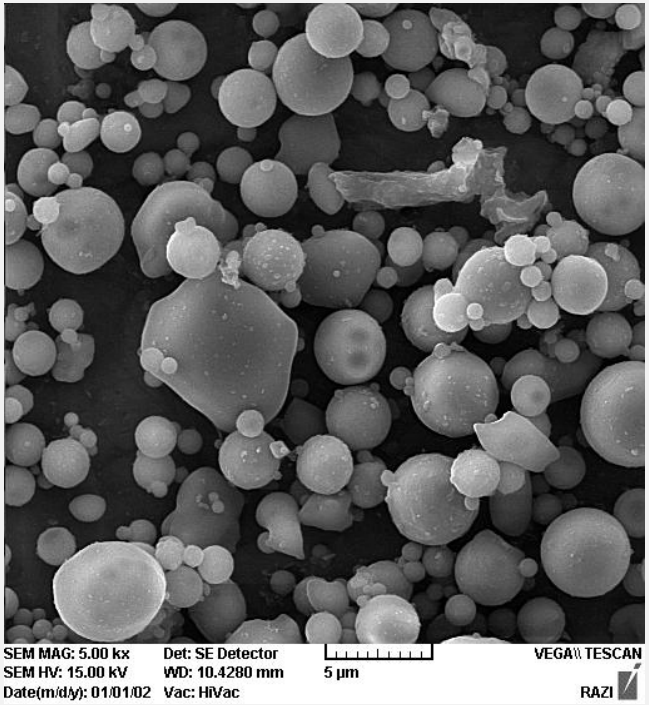
نوع C عمدتاً از احتراق ذغال قهوه ای (ذغال چوب نرم) بدست می آید.

ترکیب شیمیایی: ترکیب شیمیایی موردی انواع خاکستر بادی تولید شده در شرکت Ash resources مطابق جدول زیر است.

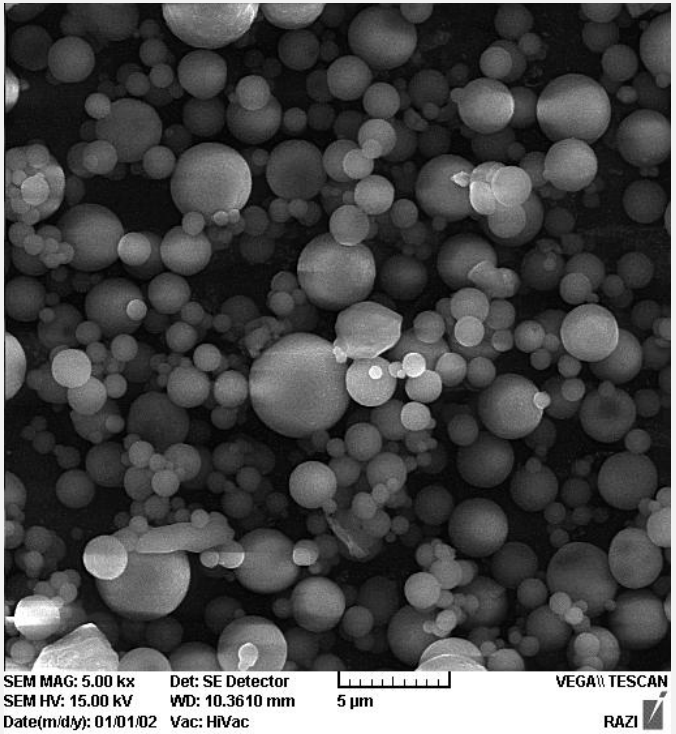
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	TiO_2	LOI
نوع C	۵۱	۳۰	۳،۵	۷	۱،۷۵	۰،۷۵	۱،۵	۱،۲۵
نوع F	۵۳،۵	۳۴،۳	۳،۶	۴،۴	-	-	-	۰،۴

۲-۱- سیمان های آمیختهٔ پوزولانی

خصوصیات فیزیکی:



نوع C (سطح ویژه=۵۰۰۰m^2/kg)



نوع F (سطح ویژه=۱۲۰۰۰m^2/kg)

۲-۱- سیمان های آمیختهٔ پوزولانی

انواع سیمان های آمیختهٔ پوزولانی (بر مبنای ASTM C 595):

۱- سیمان پرتلند اصلاح شده با پوزولان ((1(PM)): که کمتر از ۱۵٪ پوزولان دارد و خواصی شبیه سیمان نوع ۱ دارد، بعلاوه بیشتر هم آسیاب شده است.

۲- سیمان پرتلند با پوزولان (1P)؛ که ۴۰٪ - ۱۵٪ پوزولان دارد و خواصی شبیه سیمان نوع ۲دارد.

۳- سیمان پوزولان (سیمان سوپر پوزولان-P)؛ که بیش از ۴۰٪ پوزولان دارد و سطح ویژه زیادی دارد بعلاوه آب زیادی می طلبد و خواصی شبیه سیمان نوع ۴ دارد.

۲-۱- سیمان های آمیختهٔ پوزولانی

انواع سیمان های آمیختهٔ پوزولانی (بر مبنای استاندارد ملی ایران ۳۴۳۲):

سیمان پرتلند پوزولانی (پ-پ): این سیمان مخلوطی است از حداکثر ۱۵ درصد پوزولان طبیعی و دست کم ۸۵ درصد کلینکر یا سیمان پرتلند با نرمی مشخص که در مجاورت آب به صورت جسم چسبنده‌ای در کارهای ساختمانی مصرف می‌شود .

جدول مقابل ویژگی های الزامی سیمان پرتلند پوزولانی را نشان می دهد:

ردیف	ویژگی		میزان	روش آزمون استاندارد ملی شماره:
۱	نرمی: سطح مخصوص سانتیمتر مربع برگرم (حداقل)		۳۰۰۰	۳۹۰
۲	انبساط با آزمون اتوکلاو (حداکثر در صد)		۰/۵	۳۹۱
۳	انقباض با آزمون اتوکلاو (حداکثر در صد)		۰/۲	۳۹۱
۴	زمان گیرش با آزمون ویکات	۴-۱- اولیه (حداقل به دقیقه)	۶۰	۳۹۲
		۴-۲- نهائی (حداکثر به ساعت)	۷	۳۹۲
۵	حداقل تاب فشاری کیلوگرم بر سانتیمتر مربع	۵-۱- سه روزه	۱۰۰	۳۹۳
		۵-۲- هفت روزه	۱۷۵	۳۹۳
		۵-۳- بیست و هشت روزه	۲۱۵	۳۹۳

نوع 1((PM)

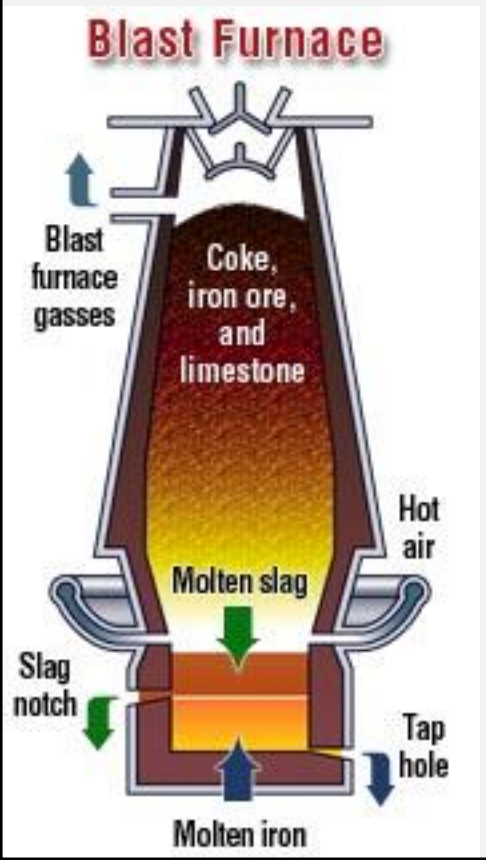
سیمان پرتلند اصلاح شده با پوزولان، نوع 1(PM)، در ساختمانهای بتنی عمومی بکار می‌رود. این سیمان بوسیله ترکیب کردن سیمان پرتلند یا سیمان پرتلند آمیخته با روباره آهنگدازی و یک پوزولان ریز و نرم تولید می‌شود. این کار را می‌توان به کمک (۱) آمیختن سیمان پرتلند با یک پوزولان، (۲) آمیختن سیمان پرتلند آمیخته با روباره آهنگدازی با یک پوزولان، (۳) آسیاب کردن یک پوزولان همراه با کلینکر سیمان پرتلند، یا (۴) ترکیبی از آسیاب کردن و آمیختن انجام داد. مقدار پوزولان در این نوع سیمان کمتر از ۱۵ درصد وزنی سیمان آمیخته است. در هر یک از حالات فوق، می‌توان خاصیت هوازایی، مقاومت متوسط در برابر سولفات، یا حرارت هیدراسیون متوسط را با افزودن پسوندهای A، MS یا MH مشخص کرد. به عنوان مثال، سیمان نوع (PM) ۱ هوازا با حرارت هیدراسیون متوسط، سیمانی از نوع (PM)-A(MH) ۱ خواهد بود.

نوع ۱P و نوع P

سیمانهای پرتلند پوزولانی به دو نوع ۱P یاP تقسیم می‌شوند. نوع ۱P را می‌توان برای ساختمانهای عمومی بکار برد و نوع P در ساختمانهایی بکار می‌رود که مقاومت‌های اولیه بالا مورد نیاز نباشد. نوع P عموماً در سازه‌های حجیم مانند پایه‌های پل، سدها،و شالوده‌های تکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سیمانها بوسیله آسیاب کردن کلینکر سیمان پرتلند بهمراه یک پوزولان مناسب یا بوسیله آمیختن سیمان پرتلند یا سیمان پرتلند آمیخته با روباره آهنگدازی و یک پوزولان، یا بوسیلهٔ ترکیبی از آسیاب کردن و آمیختن تولید می‌شوند. مقدار پوزولان چنین سیمانهایی بین ۱۵ تا ۴۰ درصد وزنی است. نتایج آزمایشهای آزمایشگاهی نشان می‌دهند که عملگرد بتن ساخته شده با سیمان نوع ۱P در حالت کلی مشابه عملکرد بتن ساخته شده با سیمان نوع ۱ است، هرچندکه مقاومتهای تا سن ۲۸ روزهٔ بتن‌های با سیمان نوع ۱P کمتر از بتن‌های با سیمان نوع ۱ هستند. خاصیت هوازایی، مقاومت متوسط در برابر سولفات، یا حرارت هیدراسیون متوسط در سیمانهای نوع ۱P و P را می‌توان با افزودن پسوندهای A، MS یا MH مشخص کرد. برای مثال، یک سیمان نوع ۱P هوازا با مقاومت متوسط در برابر سولفات، سیمانی از نوع ۱P-A(MS) می‌باشد. سیمان نوع P را می‌توان بعنوان سیمان با حرارت هیدراسیون پایین (LH) در نظر گرفت.

۲-۲- سیمان های آمیختهٔ سرباره ای

سربارهٔ کورهٔ آهن گدازی: به تفالهٔ تولید شده در بالای کورهٔ آهن گدازی که عمدتاً حاوی اکسیدهای کلسیم، سیلیسیوم و آلومینیم می باشد سربارهٔ کورهٔ آهن گدازی گفته می شود.



علت تولید سرباره:

نحوهٔ تبدیل سرباره به یک افزودنی سیمانی:

ترکیب شیمیایی سرباره:

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MnO	MgO	S
۳۲-۴۲	۷-۱۶	۱-۱،۵	۳۲-۴۵	۰،۲-۱	۵-۱۵	۱-۲

شرط اساسی ریزساختار:

اصول عملکرد و تفاوت آن با پوزولان ها:

۲-۲- سیمان های آمیختهٔ سرباره ای

سربارهٔ کورهٔ آهن گدازی:

۲-۲- سیمان های آمیختهٔ سرباره ای

انواع سیمان های آمیختهٔ سرباره ای (بر مبنای ASTM C 595):

۱- سیمان پرتلند اصلاح شده با سرباره ((1(SM)): کمتر از ۲۵٪ سرباره دارد و خواصی شبیه نوع ۱ دارد.

۲- سیمان پرتلند سرباره ای (1S): ۲۵-۷۰٪ سرباره دارد و خواصی شبیه سیمان نوع ۲ دارد به آن سیمان سرباره ای ضدسولفاته نیزگفته می شود و واکنش آن کندتر از سیمان می باشد.

۳- سیمان سرباره ای (S): بیش از ۷۰٪ سرباره دارد و خواصی شبیه سیمان نوع ۴ دارد.

۲-۲- سیمان های آمیختهٔ سرباره ای

انواع سیمان های آمیختهٔ سرباره ای (بر مبنای استاندارد ملی ایران ۳۵۱۷):

۱- سیمان پرتلند سرباره ای (پ-س): سیمانی است که کمتر از ۲۵٪ سرباره دارد و از آسیاب نمودن مخلوط کلینکر سیمان پرتلند و سرباره خرد شده و یا از مخلوط نمودن سیمان پرتلند و پودر سرباره، به نسبت‌های تعیین شده بدست می‌آید.

۲- سیمان پرتلند سرباره ای ضد سولفات (پ-س-۵): سیمانی است که ۲۵-۷۰٪ سرباره دارد و از آسیاب نمودن مخلوط کلینکر سیمان پرتلند و سرباره دانه شده و یا از مخلوط نمودن سیمان پرتلند و پودر سرباره، به نسبت‌های تعیین شده بدست می‌آید .

۳- سیمان سرباره ای (س): سیمانی است که از مخلوط کامل و یکنواخت عمدتاً سرباره و سیمان پرتلند یا آهک هیدراته و یا هر دو بدست می‌آید. مقدار وزنی سرباره در آن بیشتر از ۷۰ درصد می‌باشد .

۲-۲- سیمان های آمیختهٔ سرباره ای

انواع سیمان های آمیختهٔ سرباره ای (بر مبنای استاندارد ملی ایران ۳۵۱۷):

ردیف	نوع سیمان / ویژگی‌های فیزیکی		سیمان پرتلندسرباره‌ای (پ ـ س)	سیمان پرتلندسرباره‌ای ضد سولفات (پ ـ س ـ ۵)	سیمان سرباره‌ای (س)	روش آزمون استاندارد ملی شماره:
۱	نرمی: سانتیمترمربع برگرم (حداقل) (۱)		۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۳۹۰
۲	انبساط با آزمون اتوکلاو (حداکثر درصد)		۰/۵	۰/۵	۰/۵	۳۹۱
۳	انقباض با آزمون اتوکلاو (حداکثر درصد)		۰/۲	۰/۲	۰/۲	۳۹۱
۴	زمان گیرش با آزمون ویکات	۴ـ۱ ـ اولیه حداقل به دقیقه	۴۵	۴۵	۴۵	۳۹۲
		۴ـ۲ ـ نهائی (حداکثر بساعت)	۷	۷	۷	۳۹۲
۵	حداقل تاب فشاری (کیلوگرم بر سانتیمترمربع)	۵ـ۱ ـ سه روزه	۱۲۰	۱۰۰	ـ	۳۹۳
		۵ـ۲ ـ هفت روزه	۲۰۰	۱۸۰	۱۰۰	۳۹۳
		۵ـ۳ ـ بیست‌وهشت روزه	۳۲۰	۳۰۰	۲۲۰	۳۹۳
۶	حداکثر حرارت هیدراتاسیون (کالری برگرم) (۲)	۶ـ۱ ـ هفت روزه	۷۰	۷۰	۷۰	۳۹۴
		۶ـ۲ ـ بیست‌وهشت روزه	۸۰	۸۰	۸۰	۳۹۴

نوع (SM) ۱

سیمان پرتلند اصلاح شده با روباره، نوع (SM) ۱، برای ساختمانهای بتنی عمومی به کار می‌رود. این سیمان به وسیله (۱) آسیاب کردن روباره آهنگدازی دانه دانه به همراه کلینکر سیمان پرتلند، (۲) آمیختن سیمان پرتلند با روباره آهنگدازی دانه دانه ریز آسیاب شده، یا (۳) ترکیبی از آسیاب کردن و آمیختن، تولید می‌شود. مقدار روباره کمتر از ۲۵ درصد وزن سیمان آمیخته است. خاصیت هوازا بودن، مقاومت متوسط در برابر سولفات، یا حرارت هیدراته‌اسیون متوسط در سیمان نوع (SM) ۱ را می‌توان با افزودن پسوندهای A، MS یا MH مشخص کرد. یک مثال در این باره، سیمان نوع (SM)-A(MH) ۱ است که سیمان پرتلند اصلاح شده با روباره هوازا و با حرارت هیدراسیون متوسط است.

سیمانهای آمیخته را می‌توان هنگامی که خواص ویژه دیگر انواع سیمان مورد نیاز نباشد، در ساختمانهای بتنی به کار برد. برخی از سیمانهای آمیخته، از رشد مقاومت اولیه پایین‌تری نسبت به سیمان نوع ۱ برخوردارند.

بنابراین اگر مقدار سیمان پرتلند موجود در سیمان آمیخته، به واسطه افزایش پوزولان یا روباره، کاهش یابد لازم است که بتن حاصله به طور دقیق برای تغییرات در مقاومت، پایایی، جمع شدگی، تراوایی و دیگر خواص مورد آزمایش قرار گیرد. بتن‌ریزی و عمل آوری در دماهای پایین ممکن است به نحو چشمگیری باعث کاهش رشد مقاومت و افزایش زمان‌گیرش در بتن‌های دارای سیمان آمیخته با مقادیر بالای سرباره و پوزولان شود.

نوع S ۱

سیمان پرتلند آمیخته با روباره آهنگدازی، نوع S ۱، را می‌توان در ساختمانهای بتنی عمومی بکار برد. در تولید این سیمانها، روباره آهنگدازی دانه دانه با کیفیت مشخص را با کلینکر سیمان پرتلند آسیاب می‌کنند، یا آنرا جداگانه آسیاب کرده و با سیمان پرتلند می‌آمیزند، یا اینکه ترکیبی از آسیاب کردن و آمیختن استفاده می‌شود. مقدار روباره آهنگدازی این نوع سیمان، بین ۲۵ تا ۷۰ درصد وزن سیمان آمیخته است. خاصیت هوازایی، مقاومت متوسط در برابر سولفاتها، یا حرارت هیدراسیون متوسط را میتوان با افزودن پسوندهای A، MSیاMH مشخص نمود. برای نمونه، سیمان پرتلند آمیخته با روباره آهنگدازی هوازا که دارای مقاومت متوسط در برابر سولفاتها است را می‌توان بصورت نوع S-A(MS)۱ مشخص کرد.

نوع S

سیمان روباره‌ای، نوع S، معمولاً در کاربردهایی با مقاومت پایین‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیمان، روباره‌ای متوسط (۱) آمیختن روباره آهنگدازی دانه دانه آسیاب شده با سیمان پرتلند، (۲) آمیختن روباره آهنگدازی دانه دانه آسیاب شده با آهک آبدیده، یا (۳) ترکیبی از آمیختن روباره آهنگدازی دانه دانه آسیاب شده، سیمان پرتلند، و آهک آبدیده، تولید می‌شود. حداقل مقدار روباره، ۷۰ درصد وزن سیمان روباره‌ای است. خاصیت هوازا بودن سیمان روباره‌ای را می‌توان با افزودن پسوند A، برای مثال نوع S-A، مشخص کرد.

۳- سیمان سفید

اهمیت و کاربرد: در پانل های نما، سطوح موزاییکی، دیوارهای سیمانی، بندکشی، بتن تزیینی و ...

مواد اولیه و تفاوت این مواد با سیمان پرتلند خاکستری: عدم وجود اکسید آهن و منیزیم در مواد اولیه

ملاحظات تولید: ۱) مواد اولیه کنترل شده بوده و از خلوص بالاتر برخوردار می باشند. ۲) دمای احتراق بالاتر است. ۳) برای آسیاب از ساچمه های ویژه استفاده گردیده و بیشتر آسیاب می گردند.

مشابهت با تیپ های معمول سیمان: معمولاً مطابق مشخصات تیپ ۱ یا ۳ ساخته می شود.

روند کسب مقاومت: بدلیل آسیاب بیشتر دارای سطح ویژهٔ بالاتر بوده و سریعتر به مقاومت می رسد.

مقاومت سیمان سفید: بدلیل جایگزین شدن C_4AF با C_3S و C_2S دارای مقاومت بالاتری در مقایسه با سیمان های معمولی می باشد.

تفاوت قیمت و علت آن:

سیمان رنگی:

۴- سیمان بنایی

اهمیت و کاربرد: ۱- قابلیت پایین سیمان پرتلند در نگه داری آب ملات های استفاده شده در مجاورت آجر. ۲- عدم انتظار مقاومت بالا در بسیاری از مصارف سیمان مانند ملات های بنایی (و نتیجتاً عدم نیاز به کنترل کیفیت مواد اولیه)

نکته: از این نوع سیمان نباید در ساخت قطعات مهم باربر استفاده نمود.

مواد اولیه و تفاوت این مواد با سیمان پرتلند خاکستری: در انتخاب مواد اولیه دقت کمتری به عمل می آید. ضمناً به آن درصدی پودر سنگ آهک، صدف های آهکی، سرباره و یا رس می افزایند.

علت افزودن این مواد: برای افزایش قابلیت نگه داری آب سیمان، ایجاد کارایی و حالت خمیری (ویسکوزیته)

مقاومت سیمان بنایی: مقاومت این نوع سیمان کمتر از سیمان پرتلند معمولی است. البته با افزایش مدت زمان آسیاب و واکنش پذیری می توان تا حدی آنرا جبران نمود.

۵- سیمان پرتلند زود سخت شونده (با روند بسیار سریع کسب مقاومت):

اهمیت و کاربرد: در مواردی که نیاز است تا بتن ریخته شده در زمان بسیار کوتاهی قابلیت سرویس دهی کسب نماید.

مواد اولیه: مشابه سیمان تیپ ۳ می باشد. تفاوت اصلی این نوع سیمان با سیمان تیپ ۳ اینست که خیلی ریزتر آسیاب شده است ($۷۰۰۰cm^2/gr$ - $۹۰۰۰cm^2/gr$).

در۲۴ ساعت مقاومت ۷ روزه سیمان نوع ۳ را بدست می آورد.

اشکال آن سرعت فساد آن است زیرا خیلی سریع هیدراته می شود.

این نوع سیمان نیز مانند سیمان نوع ۳ درایران تولید نمی شود.

۶- سیمان پرتلند آهکی (PKZ-Portland Kalk Zement)

اهمیت و کاربرد: کاهش آب انداختگی و افزایش ویسکوزیتهٔ سیمان و بتن

مواد اولیه: تفاوت اصلی این سیمان با سیمان تیپ ۱ وجود ۶ الی ۲۰ درصد سنگ آهک پودر شده در آن می باشد.

در این نوع سیمان با زیادکردن سطح ویژه (۳۸۰۰cm^2/gr) نقصان مقاومت به خاطرکم شدن درصد وزنی سیمان را جبران می کنند.

این نوع سیمان را به جای سیمان نوع ۱می توان بکار برد.

آب بتن (Concrete Water)

اهمیت مطالعهٔ کیفیت آب مصرفی در بتن:

تفاوت مسالهٔ کیفیت آب بتن با مسالهٔ تاثیر میزان آب مصرفی در بتن بر روی خواص بتن:

خلاصهٔ تاثیرات منفی وجود ناخالصی های نا مطلوب در آب بتن:

- ✓اختلال در زمان گیرش سیمان
- ✓تاثیرات نا مطلوب بر مقاومت بتن
- ✓ایجاد لکه بر روی سطح بتن
- ✓خوردگی میلگردها
- ✓سولفاته شدن محیط هیدراسیون

آب مصرفی سیمان نباید دارای مواد آلی باشد و یا حاوی مقادیر بیش از حد مجاز از مواد معدنی باشد (هرمز فامیلی، "خواص بتن").

آئین نامهٔ بتن ایران (آبا): آبی که برای آشامیدن مناسب باشد برای ساخت و عمل آوری بتن مناسب است.

نمونهٔ مواد معلق محلول در آب آشامیدنی و آب دریا:

ppm (mg/l)	آب شهری	آب دریا
Ca	۹۶	۵۰-۴۸۰
Mg	۲۷۰	۲۶۰
Na	۱۸۳	۲۱۹۰-۱۲۲۰۰
K	۱۸	۷۰-۵۵۰
SO4	۱۲۱	۵۸۰-۲۸۱۰
Cl	۲۸۰	۳۹۶۰-۲۰۰۰۰
TDS	۹۸۳	۳۵۰۰۰

سوال: تاثیر وجود هریک از ناخالصی ها بر روی بتن چیست؟

- ✓Cl: به آرماتور حمله می کند و منجر به زنگ زدگی می شود.
- ✓SO_4: منجر به حملهٔ سولفاتی در بتن، افزایش حجم و ترک می شود.
- ✓مواد آلی: روند گیرش را کند می نمایند.
- ✓مواد قندی: مانع واکنش آب با سیمان می شوند.
- ✓مواد قلیایی: (منجر به تسریع واکنش ها و بعضا واکنش های قلیایی سیلیسی، در طولانی مدت، می شوند)
- ✓آب گل آلود: نسبت آب به سیمان مورد نیاز را افزایش می دهد.

سوال: آیا آبی که برای آشامیدن مناسب نباشد برای ساخت بتن نیز مناسب نیست؟

محدودیت های اعمال شده بر روی خصوصیات شیمیایی آب بتن توسط آیین نامه ها چندان گسترده و سخت گیرانه نیستند زیرا محدودیت های غیر ضروری بعضا می توانند از نظر اقتصادی قابل قبول نباشند.

سوال: آیا می توان به کمک خصوصیات ظاهری آب پی به کیفیت آن برد؟

شوری؟

رنگ تیره و بوی بد؟

محدودهٔ قابل قبول pH؟

سوال: در چه شرایطی آب قبل از مصرف باید مورد آزمایش قرار گیرد؟

۱- بنا به تجویز ASTM C 1602، آب های غیر قابل آشامیدن (non-potable water) باید مورد آزمایش قرار گیرند.
۲- اگر pH آب خارج از محدودهٔ قابل قبول باشد.
۳- اگر آب تیره رنگ بوده و یا بد بو باشد.
۴- هیچ سابقه ای از عملکرد آب موجود نبوده و آب دارای بیش از ۲۰۰۰ ppm مواد محلول بوده و یا میزان کربنات ها و بی کربنات ها در آن بیش از ۱۰۰۰ ppm باشد.

روش آزمایش چنین آب هایی به چه صورت می باشد؟

الزامات نتایج این آزمون چیست؟

زمان گیرش: آب مشکوک نباید زمان گیرش را بیش از ۱ ساعت تسریع نموده و یا بیش از ۱،۵ ساعت به تاخیر بیاندازد.

مقاومت فشاری هفت روزه: آب مشکوک نباید مقاومت فشاری ۷ روزه را بیش از ۱۰٪ کاهش دهد.

سایر آزمون های کنترل کیفیت:

۱- ذرات جامد معلق محلول:

الف) بتن در شرایط محیطی سخت و یا بتن پیش تنیده در هر شرایطی: ppm ۱۰۰۰

ب) بتن آرمه در شرایط محیطی ملایم: ppm ۲۰۰۰

پ) بتن بدون آرماتور ppm ۳۵۰۰۰

۲- یون سولفات

الف) بتن آرمه و بتن پیش تنیده: ppm ۱۰۰۰

ب) بتن بدون آرماتور: ppm ۳۰۰۰

۳- یون کلرید

الف) بتن آرمه در شرایط محیطی سخت و بتن پیش تنیده: ppm ۵۰۰

ب) بتن آرمه ppm ۱۰۰۰

پ) بتن بدون آرماتور ppm ۱۰۰۰۰

نکته: آب های شور عموما دارای یون های کلرید و سولفات می باشند.

سنگدانه های بتن (Concrete Aggregates)

اهمیت مطالعهٔ سنگدانه ها:

بتن: مهم ترین مصالح مصرفی در پروژه های عمرانی

سه چهارم حجم بتن را سنگدانه ها تشکیل می دهند.

⇦دوام بتن ⇔کیفیت سنگدانه

خصوصیات مورد توجه سنگدانه ها:

- ✓جنس و ترکیب سنگدانه ها
- ✓ویژگیهای ظاهری و فیزیکی سنگدانه ها
- ✓ویژگیهای مکانیکی
- ✓ویژگیهای واکنش زایی
- ✓ویژگیهای مقاومت در برابر محیط های خورنده

جنس و ترکیب سنگدانه ها:

ماده معدنی: جسم جامدی است که بطور طبیعی یافت می شود و دارای ساختار داخلی منظم بوده و دامنهٔ تغییرات در ترکیب شیمیایی آن اندک می باشد.

سنگ طبیعی: عموماً از ترکیب دو یا چند نوع کانی یا مادهٔ معدنی تشکیل شده و بسته به منشاء آن به سه دستهٔ آذرین، رسوبی و دگرگونی طبقه بندی می شود.

انواع مواد معدنی:

- ✓ سیلیس (کوارتز، اوپال، کلسدونی، تریدیمیت و کریستوبالیت)
- ✓ سیلیکاتها (فلدسپاتها، فرومنیزیم، هورن بلند، اوژیت، رس، ایلیت ها، کائولین ها، کلریت ها، مونتیموریلونیت ها، میکا، زئولیت)
- ✓ کربنات ها: (کلسیت، دولومیت)
- ✓ سولفات ها: (گچ، انیدریت)
- ✓ سولفید آهن: (پیریت، پیروهیتیت، مارکاسیت)
- ✓ اکسید اهن: (مگنتیت، هماتیت، ژئوتیت، ایلمنیت)

انواع سنگ های طبیعی:

۱- سنگ های آذرین: سنگ های آذرین از انجماد مواد مذاب درون زمین به وجود می آیند.

مواد مذاب که خود از ذوب سنگ های پوسته یا گوشته زمین به وجود می آیند.

نمونه ی سنگ های آذرین متداول: گرانیت، گابرو، پومیس، توف، پرلیت، بازالت

۲- سنگ های رسوبی: فرایند هوازدگی سنگ های قدیمی را به تدریج متلاشی و تبدیل به قطعات کوچکتر می کند. عوامل فرسایش مثل آب های جاری، باد، امواج و یخ هستند. مواد حاصل از هوا زدگی رسوب می کنند و در محل های جدید مثل دریا، دریاچه و صحراها ته نشین و به صورت لایه هایی روی هم جمع می شوند و در اثر عوامل مختلف به سنگ سخت تبدیل می شوند. اینها همان **سنگ های رسوبی** هستند.

انواع سنگ های طبیعی:

نمونه ی سنگ های رسوبی متداول: کنگلومرا (جوش سنگ)، ماسه سنگ، کوارتزیت، سنگ رس، سنگ لای، ارژلیت و شیل، سنگ آهک، دولومیت و چرت.

۳- سنگ های دگرگونی: در طی دگرگونی، بافت و ترکیب سنگ های قبلی بر اثر دخالت عوامل دگرگون ساز (حرارت، فشار و سیالاتی که از نظر شیمیایی فعال هستند) دست خوش تغییر می شود.

نمونه ی سنگ های آذرین متداول: مرمر، اسلیت، شیست، گنیس

ویژگیهای ظاهری و فیزیکی سنگدانه ها:

- ✓دانه بندی
- ✓شکل و بافت سطحی سنگدانه ها
- ✓وزن مخصوص و فضاهای خالی
- ✓چگالی سنگدانه ها
- ✓جذب آب و رطوبت سطحی

دانه بندی:

به توزیع اندازۀ ذرات یک سنگدانه دانه بندی آن گفته می شود.

اندازۀ ذرات سنگدانه توسط الک نمودن سنگدانه ها روی الک های استاندارد تعیین می شود.

معتبر ترین استاندارد در خصوص الک ها استاندارد ASTM E11 می باشد.

جدول زیر الک های متعارف ASTM E11 را نمایش می دهد.

شماره الک	۳ ½	۳	۲ ½	۲	۱ ½	۱	¾	½	۳/۸
اندازۀ چشمۀ بازشو (mm)	۹۰	۷۵	۶۳	۵۰	۳۷،۵	۲۵	۱۹	۱۲،۵	۹،۵

شماره الک	۴	۸	۱۶	۳۰	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
اندازۀ چشمۀ بازشو (mm)	۴،۷۵	۲،۳۶	۱،۱۸	۰،۶	۰،۳	۰،۱۵	۰،۰۷۵

سنگدانه هایی که قطر حداکثر اسمی آن ها از ۴،۷۵mm (الک نمرهٔ ۴) کوچکتر باشند، ریزدانه یا به عبارت ساده تر ماسه نامیده می شود.

سنگدانه هایی که عمدتاً روی الک نمرهٔ ۴ باقی بمانند را شن می نامند.

محدودهٔ مجاز دانه بندی ماسه (ASTM C33):

شماره الک (اندازه بازشو)	درصد عبوری
۹،۵ mm	۱۰۰
۴،۷۵ mm	۹۵ تا ۱۰۰
۲،۳۶ mm	۸۰ تا ۱۰۰
۱،۱۸ mm	۵۰ تا ۸۵
۶۰۰ µm	۲۵ تا ۶۰
۳۰۰ µm	۵ تا ۳۰
۱۵۰ µm	صفر تا ۱۰

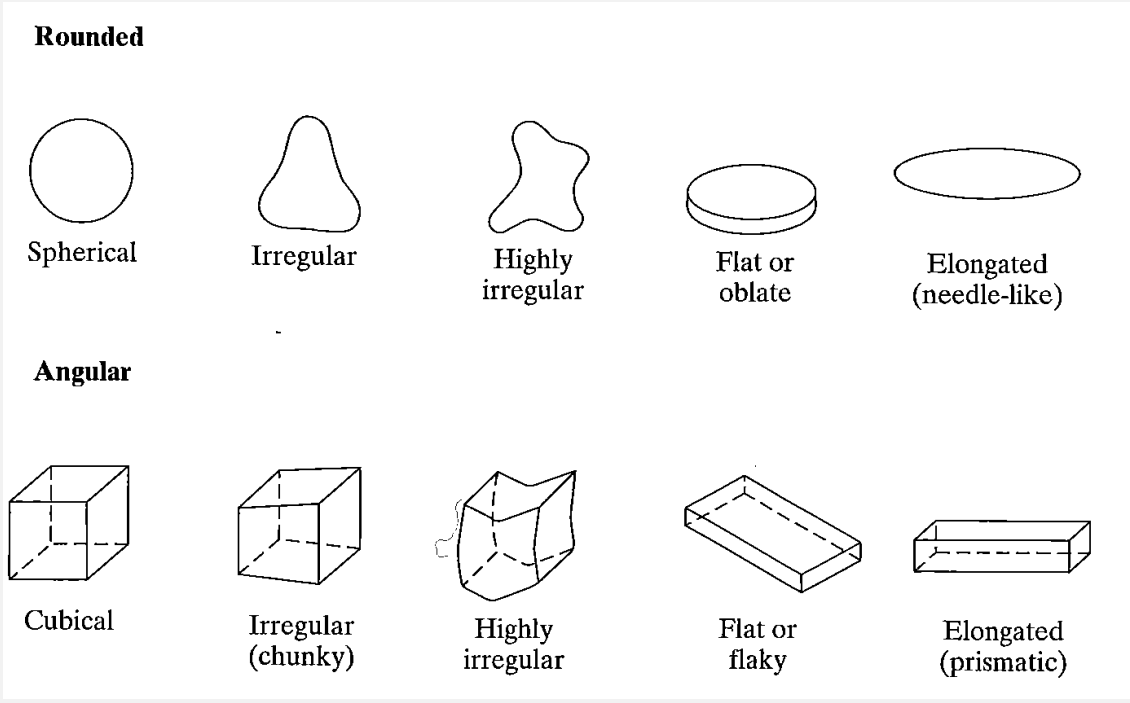
محدودهٔ مجاز دانه بندی شن (ASTM C33):

Size Number	Nominal Size (Sieves with Square Openings)	Amounts Finer than Each Laboratory Sieve (Square-Openings), Mass Percent													
		100 mm (4 in.)	90 mm (3½ in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2½ in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1½ in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (⅜ in.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	300 µm (No.50)
1	90 to 37.5 mm (3½ to 1½ in.)	100	90 to 100	...	25 to 60	...	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...	...
2	63 to 37.5 mm (2½ to 1½ in.)	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...	...
3	50 to 25.0 mm (2 to 1 in.)	...	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...
357	50 to 4.75 mm (2 in. to No. 4)	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	...	0 to 5	...	...	...
4	37.5 to 19.0 mm (1½ to ¾ in.)	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...
467	37.5 to 4.75 mm (1½ in. to No. 4)	...	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	0 to 5	...	...	...
5	25.0 to 12.5 mm (1 to ½ in.)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...	...	...	...
56	25.0 to 9.5 mm (1 to ⅜ in.)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 85	10 to 40	0 to 15	0 to 5	...	...	...
57	25.0 to 4.75 mm (1 in. to No. 4)	...	...	...	...	...	100	95 to 100	...	25 to 60	...	0 to 10	0 to 5	...	...
6	19.0 to 9.5 mm (¾ to ⅜ in.)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	0 to 5	...	...	...
67	19.0 to 4.75 mm (¾ in. to No. 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	...	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...	...
7	12.5 to 4.75 mm (½ in. to No. 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 70	0 to 15	0 to 5	...	...
8	9.5 to 2.36 mm (⅜ in. to No. 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 30	0 to 10	0 to 5	...
89	9.5 to 1.18 mm (⅜ in. to No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	5 to 30	0 to 10	0 to 5
9[A]	4.75 to 1.18 mm (No. 4 to No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 40	0 to 10	0 to 5

شکل و بافت سطحی سنگدانه ها:

سنگدانه ها از لحاظ شکل به انواع گردگوشه و خرد شده (تیز گوشه-شکسته) تقسیم بندی می شوند.

سنگدانه های گردگوشه (Rounded) و تیز گوشه به انواع زیر تقسیم بندی می شوند:



شکل و بافت سطحی سنگدانه ها:

سنگدانهٔ سوزنی: به سنگدانه ای گفته می شود که نسبت بعد حداکثر آن به بعد متوسط آن از ۱،۸بزرگتر باشد.

محدودیت های وجود سنگدانه های سوزنی:

D_{max}=12.5 mm ← حداکثر ۴۵٪

D_{max}=37 mm ← حداکثر ۴۰٪

D_{max}=63 mm ← حداکثر ۳۵٪

دستگاه اندازه گیری

شکل و بافت سطحی سنگدانه ها:

سنگدانهٔ پولکی: به سنگدانه ای گفته می شود که نسبت بعد حداقل آن به بعد متوسط آن کمتر از ۶،۰باشد.

محدودیت های وجود سنگدانه های پولکی:

حداکثر ۳۰٪ (ثابت)

دستگاه اندازه گیری

✓شکل و بافت سطحی دانه های یک سنگدانه روی خواص بتن تازه بیشتر از بتن سخت شده تاثیر می گذارد.

✓سنگدانه های زبر، تیز گوشه و سوزنی برای تولید بتن کارا در سنگدانه های صاف و گردگوشه به آب بیشتری نیاز دارند.

✓لذا برای یک نسبت ثابت آب به سیمان، سنگدانه های تیز گوشه نیاز به سیمان بیشتری دارند.

✓به هر حال، برای یک دانه بندی مطلوب و عیار سیمان یکسان، سنگدانه های شکسته و غیر شکسته هر دو عموماً مقاومت یکسانی را نتیجه می دهند.

✓بتن تهیه شده از سنگدانه های با دانه بندی نا منظم سخت تر پمپ می شوند.

وزن مخصوص و فضای خالی بین سنگدانه ها (ASTM C 29)

تعریف: وزن سنگدانه مورد نیاز برای پر کردن ظرفی با حجم واحد را وزن مخصوص انبوهی سنگدانه گویند.

این حجم توسط سنگدانه و فضای خالی بین آن ها پر می شود.

جرم حجمی سنگدانه هایی که در بتن استفاده می شوند در حدود ۱۲۰۰ تا ۱۷۶۰کیلوگرم بر متر مکعب می باشد.

بطور کلی فضای خالی بین سنگدانه های درشت باید با ملات پر شود.

فضای خالی بین ریزدانه و درشت دانه باید با خمیر سیمان پر شود.

رسیدن به بالاترین وزن مخصوص انبوهی منجر به رسیدن سیمان مصرفی به حداقل می شود.

وزن مخصوص و فضای خالی بین سنگدانه ها (ASTM C 29)

فاکتورهای موثر بر افزایش وزن مخصوص انبوهی: افزایش قطر حداکثر، بهبود دانه بندی، بهینه نمودن نسیب ریزدانه و درشت دانه مصرفی.

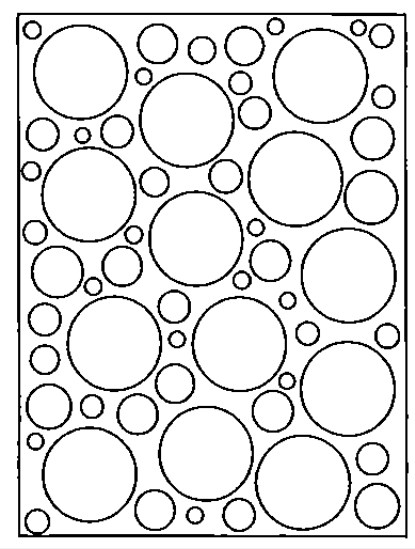
بطور معمول:

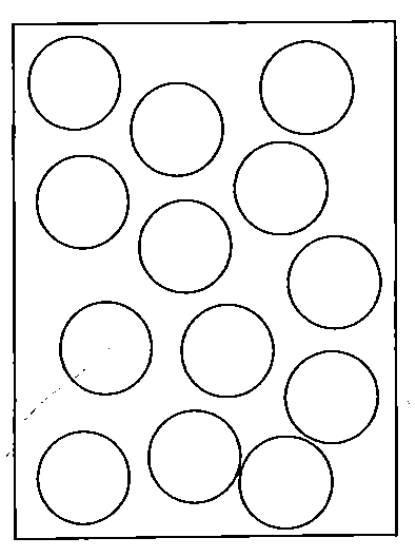
در سنگدانه های درشت: ۳۰ الی ۴۵ درصد فضای خالی وجود دارد.

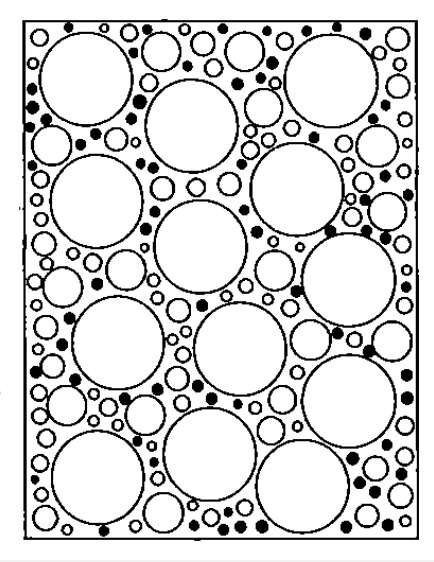
در سنگدانه های ریز: ۴۰ الی ۵۰ درصد فضای خالی وجود دارد.

نکته: تیز گوشه بودن سنگدانه ها منجر به افزایش فضای خالی و نتیجتاً افزایش میزان خمیر سیمان مورد نیاز می باشد.

فرم های مختلف توزیع ذرات:







جذب آب و رطوبت سطحی سنگدانه ها (ASTM C 70, ASTM C 127, ASTM C 128, ASTM C 556)

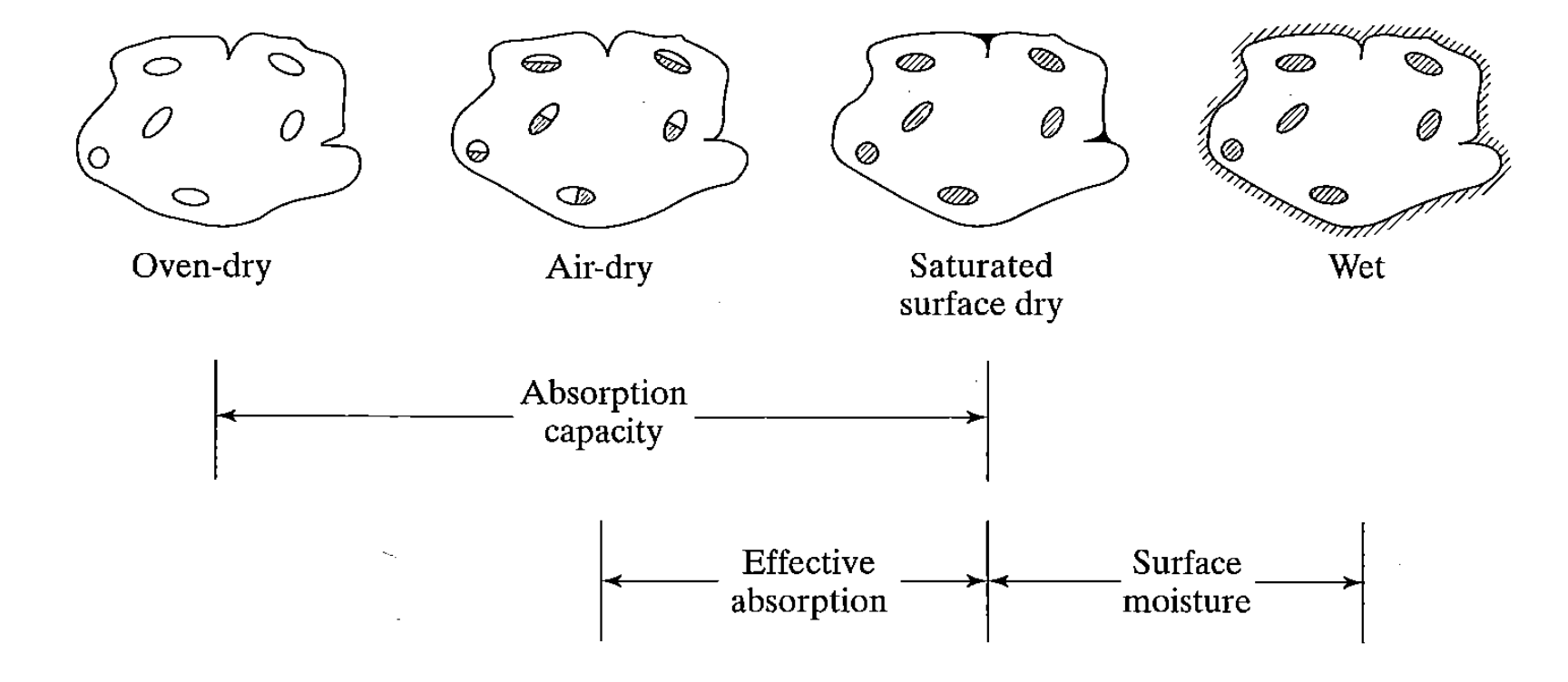
سنگدانه ها بر حسب سطح جانبی و شکل و بافت سطحی شان تا حدی قادر به جذب رطوبت می باشند.

جذب رطوبت آب بتن توسط سنگدانه ها منجر به کاهش کارایی و آب ترکیبی سیمان می شود.

لذا داشتن علم کافی نسبت به قابلیت جذب آب سنگدانه ها جهت انجام محاسبات طرح اختلاط الزامیست.

سنگدانه ها را بر حسب درصد رطوبت موجود در آن ها به حالت های زیر می توان تقسیم نمود:

جذب آب و رطوبت سطحی سنگدانه ها (ASTM C 70, ASTM C 127, ASTM C 128, ASTM C 556)



نکته: جذب آب بالای سنگدانه ها منجر به افزایش جمع شدگی بتن در حین خشک شدن می شود.

چگالی سنگدانه ها (ASTM C 128 , ASTM C 127)

این فاکتور ارتباطی با حفرات موجود در سنگدانه ها نداشته و در واقع مقدار وزن مخصوص ظاهری یا واقعی سنگدانه ها می باشد.

تعریف: به نسبت وزن سنگدانه به وزن آب هم حجم آن سنگدانه وزن مخصوص ظاهری آن گفته می شود.

در مورد سنگدانه های مصرفی در بتن چگالی عموماً بین ۲،۴ الی ۲،۹ می باشد (یعنی جرم حجمی بین ۲۴۰۰ الی ۲۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب)

وزن مخصوص سنگدانه ها را می توان در حالت های خشک و SSD تعیین نمود.

وزن مخصوص SSD سنگدانه ها یکی از معیارهای اساسی در محاسبات طرح اختلاط بتن می باشد.

فاکتورهای مربوط به مقاومت مکانیکی سنگدانه ها

عموماً مقاومت سنگدانه ها از مقاومت بتن بیشتر می باشد.

مقاومت سنگدانه ها نسبت به مقاومت بتن باید بین ۲،۵ تا ۳،۰ برابر باشد.

علت: ملاحضات تمرکز تنش

آزمایش های مربوطه:

۱- آزمایش ارزش ضربه ای سنگدانه ها (Aggregates Impact Value)

۲- آزمایش ارزش خردشدگی سنگدانه ها (Aggregates Crushing Value)

۳- آزمایش مقاومت سایشی سنگدانه ها (Resistance to Degradation)

مقاومت ضربه ای

مقاومت خردشدگی

مقاومت سایشی

ارزش خردشدگی

استاندارد:
برای بتن های معمولی: --
برای روسازی راه: ۳۰٪
برای بتن های توانمند:۲۵٪

مقاومت سایشی

استاندارد:
برای بتن های معمولی: ۵۰٪
برای بتن های توانمند: ۳۵٪

مقاومت متناظر با ۱۰٪ خردشدگی

استاندارد:
بتن های معمولی: ۶ تن
بتن های روسازی: ۱۰ تن
بتن های توانمند: ۱۵ تن

ارزش ضربه ای

استاندارد:
تحقیق شود.

مواد زیان آور در سنگدانه ها:

عموماً چهار گروه کلی برای مواد مواد زیان آور شناخته شده هستند:

۱- **ناخالصی های آلی:** این مواد می توانند فرایند هیدراسیون را مختل نموده و روند کسب مقاومت را کند کنند.

۲- **وجود یون های سولفات و کلرید:** منجر به حملات کلریدی و سولفاتی می شوند.

۳- **قشرهای پوششی رسی و غیر رسی:** چسبندگی بین خمیر سیمان و سنگدانه را تضعیف می نمایند.

۴- **دانه های نا سالم و ضعیف:** سنگدانه هایی که ثبات حجمی ندارند یا واکنش زا می باشند منجر به تخریب بتن در طولانی مدت می گردند.

۱- ناخالصی های آلی:

روش آزمون استاندارد بررسی وجود مواد آلی:

ASTM C 40: روش آزمون استاندارد ناخالصی های آلی سنگدانه های ریز. (روش آزمون رنگ سنجی برای ارزیابی ناخالصی های آلی)

شرح آزمایش:

۲- وجود یون های سولفات و کلرید:

SO_3: حملهٔ سولفاتی←تولید اترینگات←انبساط←باید به ۰،۴٪ وزنی محدود شود.

Cl: حمله به آرماتور←باید به ۰.۰۴٪ محدود شود.

۳- قشرهای پوششی رسی و غیر رسی:

این مواد که اطراف سنگدانه ها را احاطه نموده و منجر به عدم پیوستگی کافی بین سیمان و سنگدانه می شوند دارای سه دستهٔ کلی می باشند:

۱- ذرات رس (در سنگدانه های مستخرج از منابع طبیعی)

۲- لای (در سنگدانه های مستخرج از منابع طبیعی)

۳- گرد و غبار دستگاه سنگ شکن (در سنگدانه های مصنوعی)

نکته: وجود این مواد منجر به کثیفی مواد، افزایش نیاز آبی و عدم پیوستگی خمیر سیمان و سنگدانه می شود.

نکتهٔ مهم: وجود این لایه های چسبنده به سنگدانه ها اگر پایداری شیمیایی داشته باشند منعی ندارد.

استاندارد ASTM C 33:

ریزدانه:

ناخالصی های رسی:

بتن تحت سایش: ۳٪ وزنی سنگدانه

سایر بتن ها: ۵٪ وزنی سنگدانه

ناخالصی های غیر رسی:

بتن تحت سایش: ۵٪ وزنی سنگدانه

سایر بتن ها: ۷٪ وزنی سنگدانه

کلوخه های رسی و دانه های سست: ۳٪ وزنی سنگدانه

درشت دانه:

ناخالصی های رسی: ۱٪

ناخالصی های غیر رسی: ۱،۵ درصد

کلوخه های رسی و دانه های سست: ۵٪ وزنی سنگدانه

۴- دانه های نا سالم و ضعیف:

سلامت سنگدانه: سلامت اسمی است که به قابلیت تحمل تغییرات حجمی زیاد سنگدانه ها، که از تغییرات شرایط فیزیکی ناشی شده باش اطلاق می گردد.

عوامل فیزیکی که موجب تغییرات حجمی زیاد در سنگدانه ها می گردند: یخ زدن و ذوب شدن، تغییرات حرارتی، تر و خشک شدن.

به سنگدانه ای نا سالم گویند که تغییرات حجمی ایجاد شده توسط عوامل فوق سبب گسیختگی بتن گردد (پوسته پوسته شدن، قلوه کن شدن)

وجود منافذ زیاد در سنگدانه ها باعث افزایش پتانسیل متلاشی شدن آن در سیکل های ذوب و انجماد می گردد.

آزمایش سلامت سنگدانه:

۴- دانه های نا سالم و ضعیف:

واکنش های قلیایی-سنگدانه:

در سال های اخیر تعداد فزاینده ای از واکنش های شیمیایی مخرب بین سنگدانه ها و خمیر سیمان هیدراته شده اطراف آن مشاهده شده است.

متداول ترین واکنش ها بین اجزای سیلیسی فعال سنگدانه ها و قلیایی های موجود در سیمان اتفاق می افتد.

شکل های فعال سیلیس عبارتند از: **اوپال (بی شکل)، کلسدونی (بلورهای الیافی)، تریدیمیت (بلوری)، کریستوبالیت.**

این مواد واکنش زا در **چرت های اوپالینی یا چرت های کلسدونیک، سنگ آهک سیلیسی، ریولیت، و توف های ریولیتی، داسیت و توف های داسیتی، آندزیت و توف های آندزیتی و فیلیت ها وجود دارند.**

انواع واکنش های قلیایی سنگدانه:

۱- واکنش های قلیایی-سیلیسی

۲- واکنش های قلیایی-کربناتی

این واکنش ها بدلیل وجود مواد سیلیسی فعال و یا مواد آهکی دولومیتی در سنگدانه ها اتفاق افتاده و منجر به نوعی از خرابی در بتن می گردد که اصطلاحاً به سرطان بتن معروف می باشد.

از بین این دو، نوع اول بسیار متداول تر است.

واکنش های قلیایی-سیلیسی:

این واکنش با حمله هیدروکسیدهای قلیایی، که از قلیایی های موجود در سیمان (Na_2O و K_2O) مشتق می شوند، به کانی های سیلیسی موجود در سنگدانه ها شروع می شود.

در نتیجهٔ این واکنش یک ژل قلیایی سیلیسی منبسط شونده در اطراف سنگدانه تشکیل شده و منجر به بروز ترک در سنگدانه می شود.

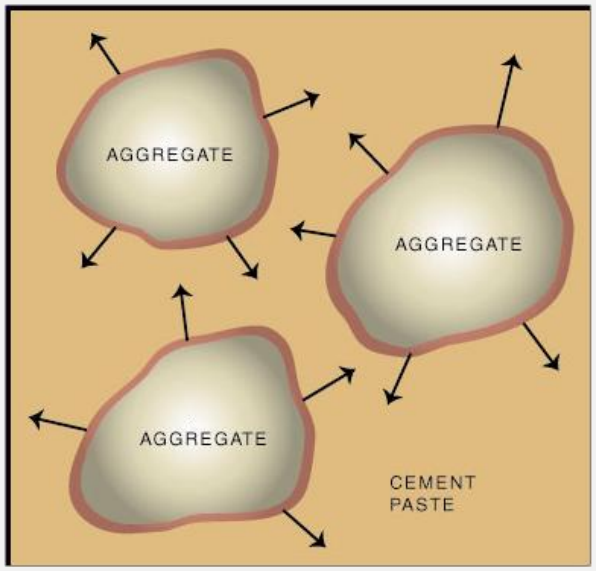
به این ترتیب پیوستگی بین سنگدانه و خمیر سیمان از بین می رود.

این واکنش ها بسیار آهسته پیش رفته و اثرات آن بعضا تا سالها ظاهر نمی شود.

دمای بالا در پیشرفت هرچه سریعتر این واکنش بسیار تاثیرگذار است.

وجود آب شرط لازم برای پیشرفت این واکنش ها می باشد.

لذا یک راه بسیار مناسب برای جلوگیری از رشد این پدیده خشک نمودن بتن و جلوگیری از تماس بعدی آب با بتن می باشد.


AGGREGATE
AGGREGATE
AGGREGATE
CEMENT
PASTE