بسم الله الرحمن الرحيم

نکته هایی از تکنولوژی بتن

با تاکیدی بر

سیمان شناسی

ارائه:

سینا سعادت

عضو هیات رئیسه گروه تخصصی عمران
سازمان نظام مهندسی استان فارس

با یادی از:

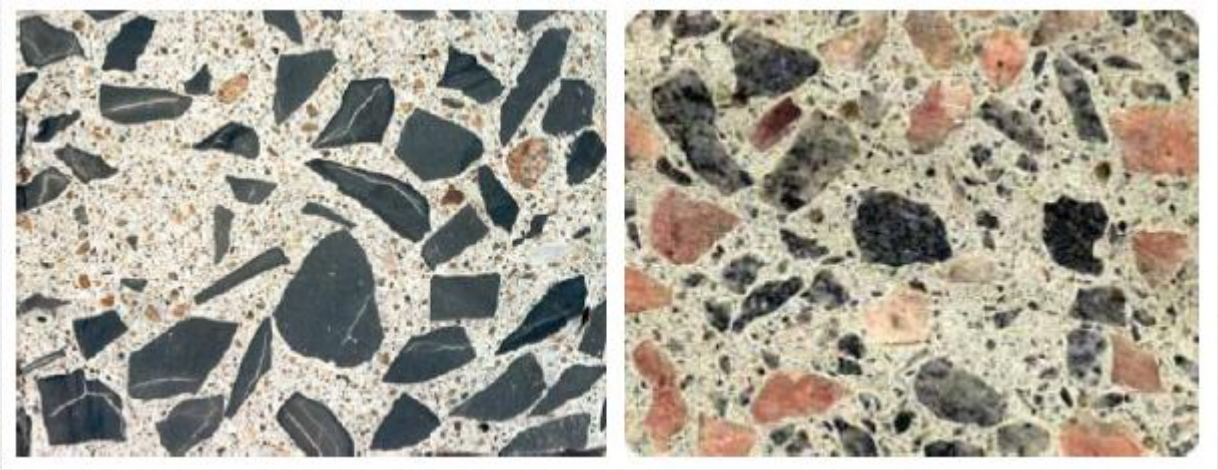
شهدای راه وطن

عباس دوران ها، فرهاد شاهچراغی ها، بهرام کارمویی ها

برادران اوجی ها و برادران حاجی باقری ها

که وجود هم اکنون ما به خاطر رفتن آنهاست.

بتن سنگ مصنوعی است که از به هم آمیختن آب،سیمان،سنگدانه(شن+ماسه) و مواد افزودنی حاصل می شود



مواد تشکیل دهنده بتن :

۱) پرکننده (دانه های سنگی) **٪ ۷۵ – ٪ ۶۰**

۱- ۱) درشت ٪ ۵۰ – ٪ ۳۰

۱- ۲) ریز ٪ ۳۰ – ٪ ۲۵

۲) چسباننده (ماتریس یا خمیر سیمان پرتلند) **٪ ۴۰ – ٪ ۲۵**

۲- ۱) سیمان ٪ ۱۵ – ٪ ۷

۲- ۲) آب ٪ ۲۱ – ٪ ۱۴

۲- ۳) هوا

۲- ۳- ۱) بتن بدون هوا ٪ ۰/۵ – ٪ ۳

۲- ۳- ۲) بتن هوا دار ٪ ۴ – ٪ ۸

۳) مواد مضاف

به صورت درصدی از وزن سیمان به مخلوط اضافه می شود تا خواص مطلوب مورد نظر را در بتن ایجاد کند.

تذکر: درصدها مربوط به حجم بتن می باشند.

Sample NO:

Cement Type : ((2))

A-Chemical Specification &Composition According Bogue

$\%SiO_2$	21.00	Min.....	C3S	51.84	Max.....
$\%Al_2O_3$	5.40	Max.....	C2S	21.10	Max.....
$\%Fe_2O_3$	4.21	Max.....	C3A	7.17	Max.....
%CaO	63.59		C4AF	12.94	Max.....
%MgO	1.70	Max.....	C3A+C3S		Max.....
$\%SO_3$	1.80	Max.....	2C3A+C4AF=B		Max.....
$\%K_2O$	0.80		C4AF+C2F		Max.....
$\%Na_2O$	0.12		I.R.	0.48	Max... (0.75)
%L.O.I	1.38	Max.....	CaSO4		Max.....
%Cl	-		Free CaO	1.10	Max.....
Total	100.00		T. Alkaly.	0.65	Max.....

B-Physical Specification

Fineness(cm²/gr)	3040	Min.... (2800)	compressive 1day		Max.....
%R.S # 70	0.0	Max.....	Strength 3day	250	Min 100
%R.S #170	2	Max.....	(Kg/cm²) 7day	332	Min 175
Intial Set	170	Min... (45)	28day	430	Min 315
Final Set	210	Max...(360)	60day		Max.....
Auto.Exp.(%)	0.09	Max....(0.8)	Heat of hydration (Cal/gr) (Optional for type 2 or 4)		
NORM.Consistency(%)	25		7day		Max...70...
Specific Gravity(gr/cm³)	3.14		28day		Max.....

افزایش گازهای گلخانه ای در جهان :

۸ درصد گازهای گلخانه ای حاصل از تولید سیمان است.

تولید سیمان :

سیمان = (SiO_2 , Al_2O_3) خاک رس + ($CaCO_2$) سنگ آهک

$$CaCO_3 \xrightarrow{1400^\circ C} CaO + CO_2$$

تعریف سیمان

سیمان مورد مصرف در ساخت و ساز ، نوعی چسب معدنی است که پس از مخلوط شدن با آب به صورت دوغاب یا خمیر در آمده و سنگدانه های موجود در بتن یا ملات را در بر گرفته و آغشته می کند و پس از سخت شدن ، دانه ها را به یکدیگر می چسباند.

تعریف سیمان هیدرولیکی

سیمانی که پس از گیرش و سخت شدن و تبدیل شدن به جسم جامد در مجاورت رطوبت و در طول زمان مقاومتش افزایش یابد سیمان هیدرولیکی نامیده می شود.

تاریخچه سیمان

در گذشته و در دوران باستان به طریقی مختلف چسباننده هایی قوی برای چسباندن اجزای بنایی مانند سنگ یا آجر استفاده می شده است.

به عنوان مثال در ایران و در شهر باستانی بیشاپور واقع در شهر کازرون از ملات های پایه گچ برای چسباندن سنگ ها به یکدیگر استفاده می شده است .

در دوران هخامنشی برای ساخت سد کَل قرون (سد سبا) در حوالی شهر وحدتیه واقع در استان بوشهر اَز ملات قیر ما بین آجر استفاده شده است.

- شاید بتوان ملات سبک کرم رنگ کشف شده از کاخ هخامشی چرخاب واقع در برازجان را اولین نمونه مستند تولید بتن سبک در دوران باستان در ایران نامید. وزن مخصوص این ملات سبک بین ۱۳۵۰ تا ۱۶۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب اندازه گیری شده است.در ساختار این بتن سنگ گچ و آهک وجود دارد و حبابهای ریز هوا باعث کاهش وزن مخصوص آن شده است.

اما در دوران روم باستان و در معبد پانتئون و در راههای رومی از ملات های آهکی استفاده شده است. رومی ها سنگ آهک را حرارت می دانند که آهک زنده تولید می شده است.

واکنش حرارت دادن سنگ آهک به صورت زیر است:

$$CaCO_3 \xrightarrow{\text{کوره}} CaO(\text{آهک زنده}) + CO_2 \uparrow$$

سپس آهک زنده را با آب مخلوط می کردند که حاصل آن تولید آهک هیدراته به صور واکنش زیر بوده است:

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$ **(آهک هیدراته یا هیدروکسید کلسیم)**

- سپس آهک هیدراته حاصل را با سنگدانه های ریز و مواد نرمی که دارای منشأ آتشفشانی بوده اند مخلوط می کردند. ملات ذکر شده در حضور آب در طول زمان سفت و سخت شده و حاصل واکنش مواد آتشفشانی و آهک با آب تشکیل سیلیکات کلسیم هیدراته بوده ، واکنش های مذکور مشابه آنچه در خمیر سیمان پرتلند سخت شده امروزی است ، بوده است. مواد طبیعی و مصنوعی که قادر به واکنش های به این صورت با آهک بوده اند ، به مواد پوزولانی معروف شدند ، چرا که در ناحیه پوزولی ایتالیا نمونه های طبیعی آنها یافت شده است.

- اما سیمان پرتلند به صورت امروز در سال ۱۸۲۴ توسط ژوزف آسپدین ساخته شده که از حرارت دادن مخلوط آهک و خاک رس در یک کوره آهک پزی و سپس آسیاب مخلوط پخته شده حاصل می شد مخلوط حاصل چون به رنگ سنگهای جزیره پرتلند بوده ، به این نام مشهور شده است.

روش تولید سیمان

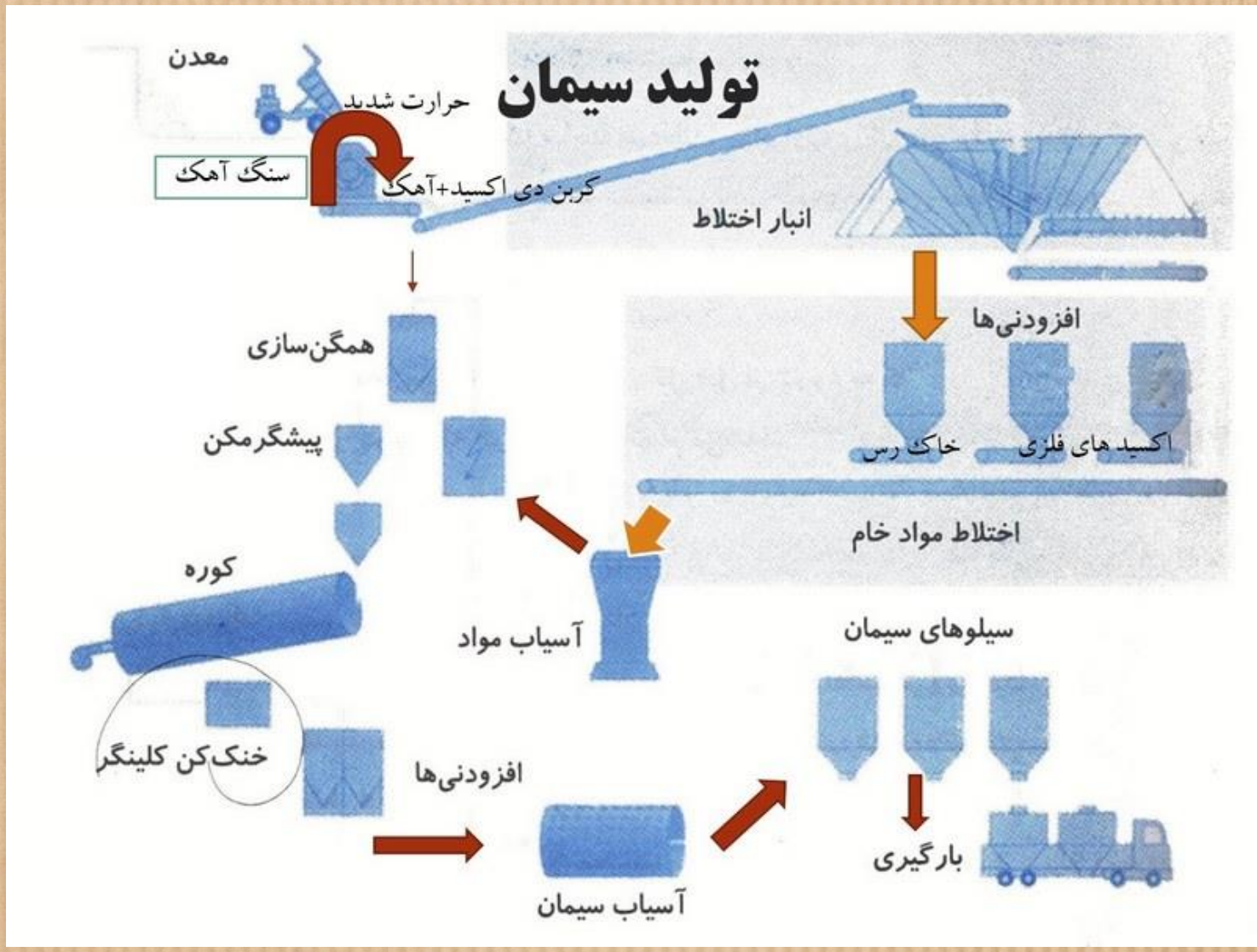
روش تر:

در روش تر ابتدا مواد اولیه که شامل آهک و خاک رس است به همراه مقادیری تا ۵۰ در صد آب مخلوط کرده و بصورت دوغاب در می آورند و در کوره استوانه ای دوار با حرارت ۱۳۰۰ تا ۱۴۰۰ درجه سانتی گراد وارد کرده و می پزند. محصول به دست آمده دانه هایی حدود ۵ تا ۲۵ میلیمتر و درست به رنگ سیمان است که به آن کلینکر گفته می شود ، کلینکر حاصل با حدود ۲ تا ۳ درصد گچ آسیاب می شود ، به ماده بدست آمده سیمان پرتلند گویند. اگر سنگ گچ به کلینکر اضافه نشود کلینکر پودر شده به محض مخلوط شدن با آب خیلی سریع خود را می گیرد.

روش تولید سیمان

روش خشک:

در روش خشک مواد اولیه که همان آهک و خاک رس است به صورت پودر در آورده ، سپس در کوره با دمای ۱۳۰۰ تا ۱۴۰۰ درجه سانتی گراد می پزند که به صورت کلینکر در می آید. در این روش نیز به مانند روش تر ، کلینکر را با حدود ۲ تا ۳ در صد گچ آسیاب می نمایند و سیمان پرتلند حاصل می شود. شایان ذکر است که در روش خشک میزان انرژی لازم برای پخت سیمان ، بسیار کمتر از انرژی لازم برای پخت سیمان به روش تر است. معمولاً مکان یابی کارخانجات سیمان به گونه ای است که به منابع خاک رس و سنگ آهک نزدیک باشد تا حمل خاک رس و سنگ آهک به محل کارخانه اقتصادی است.


تولید سیمان
معدن
حرارت شدید
سنگ آهک
کربن دی اکسید+آهک
انبار اختلاط
افزودنی‌ها
همگن‌سازی
اکسید های فلزی
خاک رس
پیشگرمکن
اختلاط مواد خام
کوره
آسیاب مواد
سیلوهای سیمان
خنک‌کن کلینگر
افزودنی‌ها
بارگیری
آسیاب سیمان

کلینکر

ویژگی های شیمیایی سیمان

مواد اولیه ساخت سیمان:

همان طور که گفته شد سیمان از پختن آهک و خاک رس در کوره دوار حاصل می شود سنگ آهک خود کربنات کلسیم و تا حدودی کربنات منیزیم بوده و خاک رس نیز از تعدادی اکسید های فلزی و غیر فلزی شامل سیلیکات های آلومینیوم دار و آهن دار، کربنات منیزیم و ترکیبات سولفور ، اکسیدهای سدیم (Na_2O) و اکسیدهای پتاسیم (K_2O) تشکیل می شود. ممکن است برخی یا تمام اکسیدهای موجود در خاک رس به صورت کم و بیش در سنگ آهک نیز وجود داشه باشند.به مجموع (Na_2O) و (K_2O) قلیائی های سیمان گفته می شود.

نوع اکسید	علامت	مقادیر موجود در مواد خام (درصد)	مقادیر موجود در کلینکر(درصد)	مقدار متوسط (درصد)	موجود در آهک/خاک رس
آهک	CaO	۴۰-۴۴	۶۰-۶۷	۶۳	موجود در آهک
سیلیس	SiO_2	۱۳-۱۵	۱۷-۲۵	۲۰	خاک رس
آلومین	AL_2O_3	۲-۴	۳-۸	۶	
اکسید آهن	Fe_2O_3	۲-۴	۰/۵-۶	۳	
اکسید منیزیم	MgO	۰/۵-۲	۰/۵-۴	۱/۵	
تری اکسید سولفور	SO_3	۰/۲-۱	۱-۳	۱/۵	
اکسید سدیم	Na_2O	۰/۱-۰/۵	۰/۲-۰/۷	-	
اکسید پتاسیم	K_2O	۰/۱-۱	۰/۵=۱/۵	-	

ویژگی های شیمیایی سیمان

ردیف	نام ترکیب	فرمول	علامت اختصاری	درصد وزنی در سیمان
۱	تری کلسیم سیلیکات	$3CaO\,.\,SiO_2$	C_3S	۳۰-۶۵
۲	دی کلسیم سیلیکات	$2CaO\,.\,SiO_2$	C_2S	۲۰-۴۵
۳	تری کلسیم آلومینات	$3CaO\,.\,AL_2O_3$	C_3A	۰/۵-۱۵
۴	ترا کلسیم آلومینو فریت	$4CaO\,.\,AL_2O_3\,.\,Fe_2O_3$	C_4AF_2	۶-۱۲

ویژگی های سیمان

- شیمیایی
- فیزیکی
- مکانیکی

ویژگی های سیمان

- **ویژگیهای شیمیایی**

تعیین درصد اجزاء اصلی و فرعی سیمان

تعیین درصد افت وزنی ناشی از سرخ شدن

قلیائی معادل سیمان

میزان SO_3

اکسید منیزیم

آهک آزاد

تعیین مواد باقی مانده نامحلول

ویژگیهای سیمان

خصوصیات فیزیکی
نرمی سیمان
گیرش اولیه و نهایی سیمان
تعیین چگالی
حرارت هیدراسیون
غلظت نرمال سیمان
همچنین انبساط ملات سیمان پرتلند در معرض سولفات
نیز تعیین مقدار کلرید موجود در سیمان

ویژگیهای سیمان

خصوصیات مکانیکی

تعیین مقاومت فشاری و خمشی ملات سیمان

ترکیبات (عناصر) اصلی سیمان

ردیف	نام ترکیب	فرمول	علامت اختصاری	درصد وزنی در سیمان
۱	تری کلسیم سیلیکات	$3CaO\ .\ SiO_2$	C_3S	۳۰-۶۵
۲	دی کلسیم سیلیکات	$2CaO\ .\ SiO_2$	C_2S	۲۰-۴۵
۳	تری کلسیم آلومینات	$3CaO\ .AL_2O_3$	C_3A	۰/۵-۱۵
۴	ترا کلسیم آلومینو فریت	$4CaO\ .AL_2O_3\ .Fe_2O_3$	C_4AF_2	۶-۱۲

روابط بوگ

نسبت درصد اکسید آلومینیوم به اکسید آهن ۰/۶۴یا بیشتر باشد

تری کلسیم سیلیکات $(C_3S) = (4.071 \times \%CaO) - (7.600 \times \%SiO_2) - (2.852 \times \%SO_3) - (6.718 \times \%Al_2O_3) - (1.430 \times \%Fe_2O_3)$

دی کلسیم سیلیکات $(C_2S) = (2.867 \times \%SiO_2) - (0.7544 \times \%C_3S)$

تری کلسیم آلومینات $(C_3A) = (2.650 \times \%Al_2O_3) - (1.692 \times \%Fe_2O_3)$

ترا کلسیم آلومینوفریت $(C_3AF) = 3.043 \times \%Fe_2O_3$

اگر نسبت درصد اکسید آلومینیوم به اکسید آهن کمتر از ۰/۶۴ باشد یک محلول جامد از کلسیم و آلومینوفریت درست می‌شود که فرمول آن $(C_4AF + C_2F)$ است و در اینگونه سیمان ها تری کلسیم آلومینات (C_3A) تشکیل نخواهد شد . برای تعیین تری کلسیم سیلیکات (C_3S) و (C_4AF+C_2F) از فرمول زیر استفاده می‌شود ولی دی کلسیم سیلیکات (C_2S) طبق فرمول قیلی تعیین می‌گردد .

$$(C_4AF + C_2F) = (2.10 \times \%Al_2O_3) + (1.702 \times \%Fe_2O_3)$$

$$(C_3S) = (4.071 \times \%CaO) - (7.600 \times \%SiO_2) - (4.479 \times \%Al2O3) - (2.859 \times \%Fe_2O_3) - (2.852 \times \%SO_3)$$

روابط بوگ

روش های دیگر بدست آوردن اجزاء اصلی سیمان

می توان با دو روش دیگر چون روش انکسار اشعه ایکس (XRD) مستقیماً C_3S ، C_2S ، C_3A و C_4AF را تعیین کرد و نیز روش تشعشع فلور سانس (ماهتابی) اشعه ایکس (XRF) ابتدا اکسید ها را تعیین نموده سپس با استفاده از روابط بوگ می توان اجزاء مذکور را بدست آورد.

ترکیبات (عناصر) فرعی

ترکیبات فرعی سیمان درصد کمی از سیمان را تشکیل می دهند. این ترکیبات معمولاً شامل موادی هستند که یا اصلاً در فرایند پخت شرکت نکرده اند یا اینکه در فرایند آسیاب (مثلاً سنگ گچ) به سیمان اضافه شده اند.

اگر چه میزان این مواد کم است اما می توانند برروی بسیاری از خصوصیات خمیر سیمان و در نتیجه بتن سخت شده تأثیر گذار باشند ، از این رو استاندارد ها مقادیر این نوع ترکیبات را محدود می نمایند.

مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۹۲ ، روشهایی برای اندازه‌گیری اکسید تیتانیوم (Tio_2)، پنتوکسید فسفر (P_2O_5)، اکسید روی (ZnO) و تری اکسید منگنز (Mn_2O_3) در سیمانهای هیدرولیکی ذکر شده است.

قلیائی های سیمان

اکسید سدیم Na_2O و اکسید پتاسیم K_2O که مجموع آنها به عنوان قلیائی های سیمان شناخته می شوند.

این مواد در ترکیب با آب میزان قلیائی (بازی) بودن بتن PH آن را افزایش می دهند.

عمدتاً Na_2O و K_2O در خاک رس وجود دارد.

فرمولی که به آن قلیائی معادل گفته می شود برابر است با:

$$Na_2O + 0.658\, K_2O$$

قلیائی های سیمان

مقدار قلیائی معادل سیمان معمولاً عددی بین ۰/۱ تا ۱/۷ درصد وزنی سیمان به دست می آید.

قلیائی معادل و کنترل آن که از مقادیری بیشتر نشود گاهی اوقات بسیار ضروری است

چون بعضی از سنگدانه ها مانند اُپال ، کلسیدونی و برخی از انواع کوارتز ، کریستو بالیت ،

تری دیمیت و شیل های سیلیسی در اثر رطوبت بالای محیط با قلیائی های سیمان واکنش می دهند ،

این واکنش توأم با افزایش حجم است ،

دمای بالا این واکنش را سرعت می بخشد.

در اثر افزایش حجم با ایجاد ترک در فصل مشترک سنگدانه مستعد واکنش قلیائی

و خمیر سیمان همراه است و نتیجه بروز هزاران هزار ترک در درون و بالاخره بیرون بتن خواهد بود.

این واکنش به واکنش قلیائی سنگدانه یا سرطان بتن مشهور است که

خود به دو نوع واکنش قلیائی – سیلیسی (***Alkali Silica Reaction***) یا ***ASR***

و واکنش قلیائی – کربناتی (***Alkali Carbonate Reaction***) یا ***ACR*** تقسیم می شود.

قلیائی های سیمان

مبحث نهم مقررات ملی ساختمان میزان قلیائی معادل سیمان برای بتن های حاوی سنگدانه مستعد واکنش قلیائی - سیلیسی را به ۰/۶ درصد و برای بتن های حاوی سنگدانه مستعد واکنش قلیائی - کربناتی به ۰/۴ درصد محدود کرده است.

سنگ گچ

برای آنکه از گیرش آنی کلینکر آسیاب شده جلوگیری شود به آن حدود ۳ تا ۵ درصد سنگ گچ یا سولفات کلسیم آبدار اضافه می کنند. فرمول شیمیایی سنگ گچ $CaSO_4 . 2H_2O$ است. در آنالیز شیمیایی سیمان معمولاً سولفات کلسیم یا دو جزء آهک (CaO) و تری اکسید گوگرد (SO_3) بیان می شود. یا محاسبه SO_3 و ضرب آن در عدد ۱/۷ ، مقدار $CaSO_4$ محاسبه می شود.هرچه میزان SO_3 در سیمان بیشتر باشد تمایل به افزایش حجم ناشی از ساخته شدن گچ و در نهایت پتانسیل ترک خوردگی بیشتر می شود.

اکسید منیزیم

اکسید منیزیم یا MgO ممکن است در مواد خام اولیه سنگ آهک و یا در خاک رس به صورت کربنات منیزیم وجود داشته باشد. در فرایند پخت مواد اولیه و تشکیل کلینکر سیمان معمولاً این ماده تا حدودی وارد فاز واکنش نمی شود و به صورت آزاد در سیمان باقی می ماند. اکسید منیزیم می تواند در مجاورت سیمان و آب با محصولات سیمانی واکنش انبساطی داده و باعث افزایش حجم دراز مدت و درنتیجه ترک خوردگی و در نهایت تخریب بتن می شود. از این رو استاندارد ملی ایران شماره۳۸۹ حداکثر میزان مجاز اکسید منیزیم موجود در سیمان پرتلند را ۵ درصد وزنی سیمان در نظر گرفته است. سیمان هایی که در آن (MgOاکسید منیزیم) کمتری نسبت به دیگر سیمان ها داشته باشند ، معمولاً رنگشان خاکستری متمایل به قهوه ای خواهد بود اما به ازای مقادیر بیشتر MgOدر سیمان رنگشان به خاکستری متمایل به سبز می شود. میزان MgOمطابق بند ۵ استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۹۲ تعیین می شود.

آهک آزاد

ممکن است در فرایند پخت سیمان مقادیری از آهک وارد واکنش های پخت سیمان نشود این به همین دلیل به آن آهک آزاد می گویند. آهک آزاد می تواند با جذب آب موجود در بتن در فرایند ساخت آن به تدریج به هیدروکسید کلسیم $Ca(oH)_2$ تبدیل شده و باعث انبساط در طول زمان و ترک خوردگی و گسیختگی بتن شود. استاندارد ملی ایران شماره ۳۸۹ محدوده ای را برای حداکثر میزان مجاز آهک آزاد تعیین نکرده است.

افت سرخ شدن

در فرایند ساخت سیمان ، مقادیری آب و دی اکسید کربن در ساختار سیمان به وجود می آید. اگر سیمان تا دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد حرارت داده شود آب و دی اکسید کربن از سیمان خارج شده باعث افت و کاهش وزن سیمان می شود که با شاخصی به نام افت سرخ شدن یا $(L.o.I)(Loss\ on\ Ignition)$ بیان می شود. برای اندازه گیری $(L.o.I)$ نمونه سیمان در کوره های با دمای مشخص حرارت داده میشود. افت وزنی بدست آمده، بیانگر کل رطوبت و کربن دی اکسید موجود در سیمان است ، اما این روش برای تعیین افت وزنی سیمانهای پرتلند سرباره ای و سیمانهای سرباره ای مناسب نیست.

افت سرخ شدن

حداکثر افت وزنی ناشی از سرخ شدن طبق استاندارد ملی ۳۸۹برای سیمان پرتلند نوع ۱ ، ۲ ، ۳ و ۵ برابر ۳ درصد و نوع ۴ برابر ۲/۵درصد است. هرچه که میزان افت سرخ شدن کمتر باشد سیمان مرغوب تری تولید می شود.

مواد باقی مانده نامحلول

مواد باقی مانده نا محلول معمولاً ترکیبات غیر سیمانی (عمدتاً سیلیسی) موجود در سیمان هستند که معمولاً در واکنش های سیمانی شدن شرکت نمی کنند و باعث افت مقاومت فشاری بتن می شوند. این گونه مواد طبق روش آزمایش موجود در استاندارد ملی ۱۶۹۲ ، مواد موجود در سیمان هستند که در اسید کلریدریک حل نمی شوند. این مواد با شاخص IR (Insoluble Residue) نشان داده می شوند. استاندارد ایران و ASTM 150 مقدار حداکثر مجاز IR را به ۰/۷۵ درصد محدود اما استاندارد BS انگلستان IR مجاز را به ۱/۵ درصد وزنی سیمان محدود کرده است.

بررسی فرایند هیدراسیون سیمان

برای آنکه نقش هریک از اجزای سیمان در خصوصیات سیمان مشخص شود باید رفتار شیمیایی هریک در مجاورت آب یعنی در فرایند هیدراسیون سیمان بررسی شود، به این معنا که هر یک از این اجزاء با آب چه واکنشی خواهند داد و چه ماده ای تولید خواهد شد.

به فرایند جذب آب توسط دانه های سیمان و انجام واکنش شیمیایی توسط اجزای اصلی سیمان و آب هیدراسیون گفته می شود.

بدین ترتیب واکنش آب با هریک از ترکیبات C_3S و C_2S و C_3A و C_4AF تولید مواد جدید دیگری است. واکنش هیدراسیون به شرح زیر است.

در فرمول هایی که در ادامه آمده H علامت اختصاری H_2O ، C و S

علامت اختصاری CaO, SiO_2 ، CH علامت اختصاری $Ca(CH)_2$ و $C\text{-}S\text{-}H$ ،

علامت اختصاری $C_3S_2H_3$ با ساختار کلی هیدراته شده است

بررسی فرایند هیدراسیون سیمان

C_3S در کنار آب سریع وارد واکنش می شود و بتن را سخت می کند.

واکنش $\boldsymbol{C_3S}$ با عامل اصلی کسب مقاومت بتن در روزهای اولیه عمر بتن است.

با توجه به واکنش پذیری این ماده با آّب ، گرمای قابل توجهی در این واکنش (حدود ۱۲۰ کالری بر گرم معادل ۵۰۲ ژول بر گرم) آزاد می شود

و ترکیب آب با C_3S یک ترکیب زود سخت شونده با حرارت زایی متوسط است.

$$2C_3S + 6H \rightarrow C - S - H + 2CH$$

بررسی فرایند هیدراسیون سیمان

C_2S در روزهای اول عمر بتن و در مجاورت آب تمایل چندانی بـه انجـام واکـنش ذکر شده ندارد اما پس از چند روز به تدریج وارد واکنش شیمیایی با آب می شود. این ماده در ترکیب با آب حرارت زایی کمی دارد (حدود ۶۲ کالری بر گرم) و ماده ای دیر سخت شونده و کم حرارت است.

$$2C_2S + 4H \rightarrow C - S - H + CH$$

بررسی فرایند هیدراسیون سیمان

اصولاً *C-S-H* یا سیلیکات کلسیم هیدراته شده یک ترکیب سخت و مقاوم است. در مباحث تکنولوژی بتن مقاومت بتن را به درصد میزان تشکیل *C-S-H* نسبت می دهند. در فرایند سیمانی شدن هرچقدر که *C-S-H* بیشتری نسبت به اجزا دیگر تشکیل شود بتن حاصل مقاومت بیشتری خواهد داشت . هیدروکسید کلسیم یا *CH* نیز یک ترکیب نسبتاً مقاوم است که باعث افزایش میزان قلیائی (بازی بودن) بتن سخت شده می شود. این ماده می تواند *PH* بتن سخت شده را تا حدود ۱۳ افزایش دهد. اصولاً با بالا رفتن میزان *PH* محیط سیمان مقاومت خوردگی میلگرد ها در بتن در برابر یون های مهاجم افزایش می یابد.

بررسی فرایند هیدراسیون سیمان

واکنش های C_3A و C_4AF با آب و انجام واکنش های دیگر هیدراسیون سیمان به قرار زیر است:

$$C_3A + 6H \rightarrow C - A - H + H$$

$$C_4AF + 7H \rightarrow C - A - H + CFH$$

محصول اصلی این واکنش ها ، آلومینات کلسیم هیدراته شده یا $C\text{-}A\text{-}H$ است

که با فرمول C_3AH_6 نشان داده می شود.

این ترکیب بسیار سریع با آب عمل می کند و باعث گیرش آنی سیمان می شود بنابراین فلسفه اضافه کردن سنگ گچ به میزان مناسب به تعویق انداختن واکنش های تولید $C\text{-}A\text{-}H$ است،

در این صورت ماده ای به نام اترینگایت تولید می شود .

مقاومت $C\text{-}A\text{-}H$ و $C\text{-}F\text{-}H$ بسیار پایین تر از $C\text{-}S\text{-}H$ و CH بوده ونقش مقاومتی خاصی در بتن ندارند

ویژگی های فیزیکی سیمان

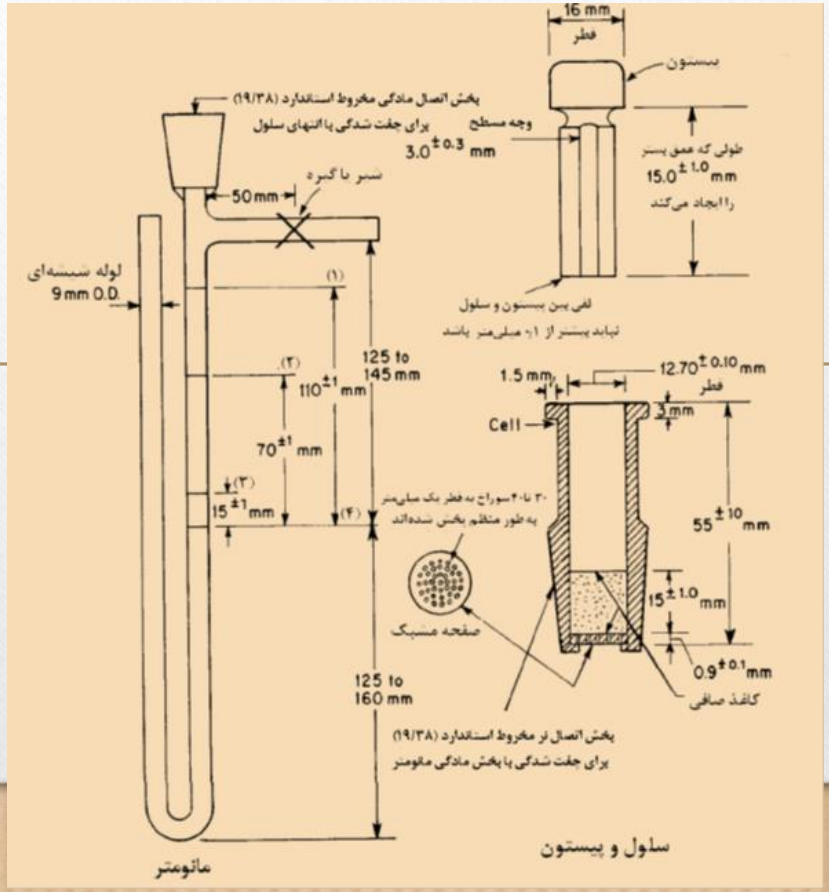
نرمی سیمان

یکی از روش های متداول اندازه گیری نرمی و در نتیجه سطح مخصوص سیمان استفاده از روش قابلیت نفوذ هواست که مطابق استاندارد ملی شماره ۳۹۰ یا دستگاه بلین (*Blaine*)اندازه گیری می شود. مطابق استاندارد ملی ایران شماره۳۸۹ حداقل سطح مخصوص برای سیمان های پرتلند نوع ۱ ، ۲ ، ۴ و ۵ برابر $\left(\frac{mm^2}{gr}\right)$ ۲۸۰،۰۰۰ و برای سیمان نوع ۳ برابر $\left(\frac{mm^2}{gr}\right)$ ۳۲۰،۰۰۰ است.

اصولاً دستگاه بلین شامل وسیله ای برای مکش مقدار معینی هوا از میان یک بستر آماده شده از سیمان است که تخلخل آن معین می باشد. تعداد و اندازه روزنه ها در یک بستر آماده یا تخلخل معین تابعی از اندازه ذرات و تعیین نرخ جریان هوا از میان بستر است. دستگاه بلین شامل استوانه نفوذپذیری سلول ، شبکه مشبک ، پیستون ، کاغذ صافی ، مانومتر ، مایع مانومتر و زمان سنج است. آزمایش تعیین نرمی سیمان با دستگاه بلین *Blaine* به دو روش A و B انجام می شود.

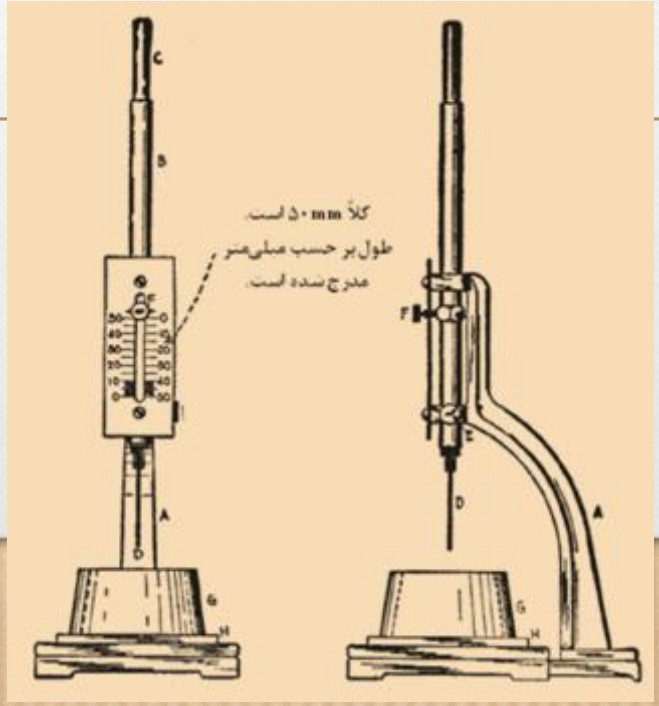
ویژگی های فیزیکی سیمان

نرمی سیمان



گیرش سیمان

گیرش سیمان (Setting of Cement) به معنای تعیین زمان سخت شدن خمیر سیمان است. گیرش سیمان شامل تعیین زمان گیرش اولیه و گیرش نهایی خمیر سیمان مطابق استاندارد بوده .



غلظت نرمال

غلظت نرمال نیز توسط دستگاه ویکات تعیین می گردد، بنا به تعریف ، غلظت نرمال برابر میزان نسبت آب به سیمان است که به ازای آن میله به ۱۰ میلی متر به اندازه ۱۰ میلی متر در خمیر سیمان نفوذ کند. معمولاً غلظت نرمال برای سیمان های مختلف بین ۰/۲۳ تا ۰/۲۷ تعیین می شود. هرچقدر نرمی سیمان بیشتر باشد ، غلظت نرمال سیمان نیز بیشتر می شود.

سلامت سیمان

سلامت سیمان

آهک آزاد CaO موجود در کلینکر سیمان ، که در اثر وجود بیش از اندازه آهک در کوره سیمان ایجاد می شود، ممکن است شدیداً بسوزد و همراه با سایر اجزا کریستاله شود. نفوذ آب در این آهک و هیدراته شدن آن به کندی صورت می گیرد. بدین ترتیب این آهک وقتی شکفته می شود که خمیر سیمان سفت شده و بنابراین باعث انبساط و ترک خوردگی در سیمان می شود.

سلامت سیمان

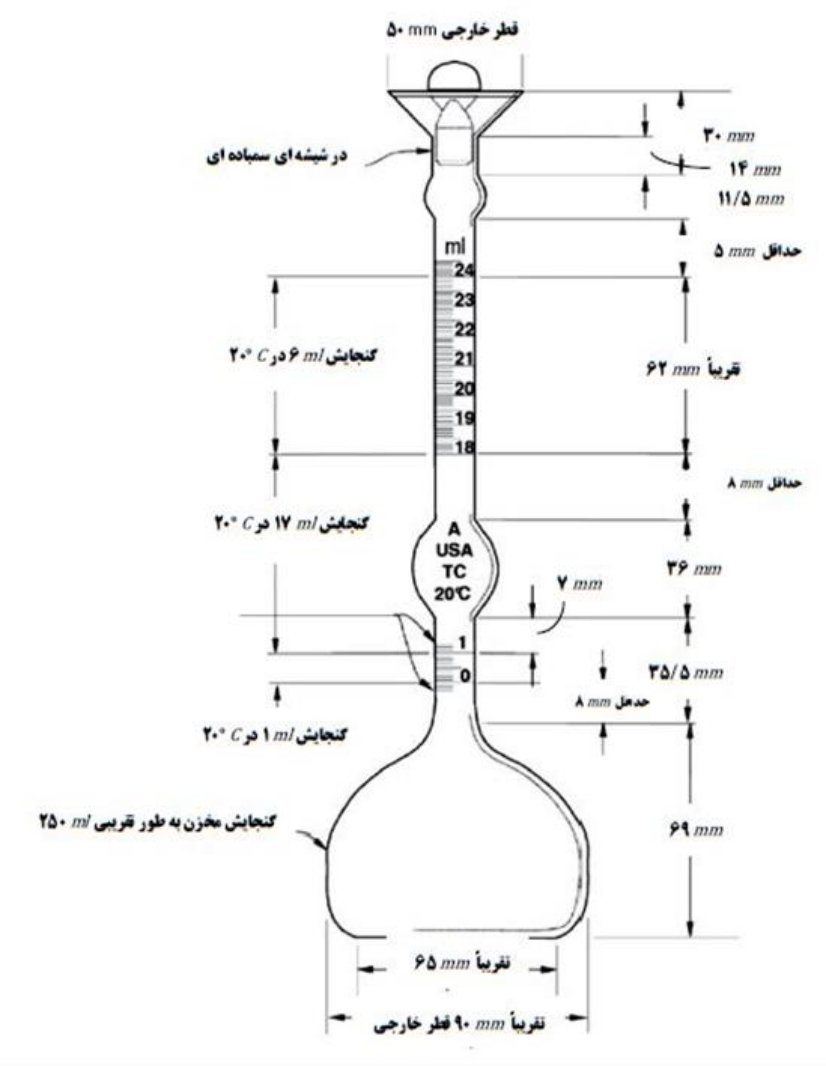
وجود اکسید منیزیم آزاد MgO به صورت کریستاله نیز می تواند در فرایندی مشابه آهک آزاد با آّب ترکیب شده و باعث انبساط و ناسلامتی خمیر سیمان گردد. همچنین وجود بیش از حد سنگ گچ همراه سیمان سبب می شود که پس از انجام واکنش های بین سولفات کلسیم و C_3A اندکی پس از اختلاط هنوز سولفات کلسیم اضافی در خمیر سیمان سخت شده ، سولفو آلومینات کلسیم (اترینگایت) ایجاد می کند که تولید اترینگایت همراه با افزایش حجم است.

چگالی سیمان

مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۷۱۴۸ ، انجام آزمایش به این صورت است که بالن تا جائیکه نفت به قسمت گردن بالن بین خط نشانهٔ صفر تا یک میلی لیتر برسد پر می شود بعد از ریختن نفت داخل بالن، در صورتی که قسمت جدار داخلی بالای سطح نفت در بالن مرطوب شود، حتماً باید آن را خشک کرد. اولین خواندن را بعد از شناور نمودن بالن در حمام آب یادداشت می شود.

۶۴ گرم سیمان را وزن کرده تدریجاً در مقادیر کم برداشته و به داخل بالن ریخته می شود. برای تسریع در عمل ریختن سیمان به داخل بالن و همچنین جلوگیری از چسبیدن ذرات سیمان به دیواره های بالن می توان از دستگاه لرزاننده استفاده نمود

چگالی سیمان


قطر خارجی ۵۰ mm
در شیشه‌ای سمباده ای
۳۰ mm
۱۴ mm
۱۱/۵ mm
حداقل ۵ mm
ml
24
23
22
21
20
19
18
کنجایش ml ۶ در ۲۰° C
تقریباً ۶۲ mm
حداقل ۸ mm
کنجایش ml ۱۷ در ۲۰° C
A
USA
TC
20°C
۳۶ mm
۷ mm
1
0
۳۵/۵ mm
حداقل ۸ mm
کنجایش ml ۱ در ۲۰° C
کنجایش مخزن به طور تقریبی ۲۵۰ ml
۶۹ mm
تقریباً ۶۵ mm
تقریباً ۹۰ mm قطر خارجی

چگالی توده ای سیمان

معیار دیگری از چگالی ، چگالی توده ای سیمان (*Bulk Density of Cement*) است که به صورت جرم واحد حجم توده سیمان (با در نظر گرفتن حجم هوای بین ذرات) تعریف می شود.

بررسی مکانیزم حمله سولفات ها به بتن و روش مقابله با آن

در حمله سولفات ها به بتن سولفات که معمولاً محلول در آب هستند به دو صورت موجب گسیختگی بتن می باشد یا اینکه با C_3A موجود در سیمان واکنش می دهند. این واکنش توأم با افزایش حجم در بتن سخت شده است. افزایش حجم باعث ایجاد تنش های کششی در بتن می شود و تنش های کششی اگر از مقاومت کششی بیشتر شوند باعث ایجاد ترک در بتن می شوند و به همین ترکیب با ادامه واکنش سولفات ها با C_3A ترک ها بیشتر و بیشتر شده و در نهایت باعث خرابی و خُرد شدن بتن در طول زمان می شوند.

$$C_3A + 32H + 3Ca\,SO_4 \rightarrow C_3A\,.\,C_3\bar{S}\,.\,H_{32}$$

$\bar{S}$ در این فرمول SO_3 یا گوگرد تری اکسید است.

انبساط ملات های سیمان پرتلند در معرض سولفات

بررسی مکانیزم حمله سولفات ها به بتن و روش مقابله با آن

به $C_3A \cdot C_3\bar{S} \cdot H_{32}$ سولفات آلومینات کلسیم آب دار یا اتریگایت که یک کریستال بی رنگ و یا متمایل به زرد است، گفته می شود.

در حالتی دیگر یون سولفات با هیدروکسید کلسیم $Ca(OH)_2$ واکنش می دهد که این حالت نیز توأم با افزایش حجم است. با این اوصاف دیگر با مقادیر کم C_3A در سیمان نیز نمی توان واکنش های ناشی از حملات سولفات ها را کنترل کرد. پس بگونه ای باید میزان $Ca(OH)_2$ را در بتن کاهش داد. معمولاً با افزودن مقادیر مناسب پوزولان به بتن یا سیمان و انجام واکنش های پوزولانی که در ادامه درباره آن صحبت خواهد شد و تبدیل $Ca(OH)_2$ به $C\text{-}S\text{-}H$ از این واکنش جلوگیری خواهد شد. اصولاً واکنش های سولفاتی هم باعث پودر شدگی سطح بتن و هم باعث ترک خوردگی در درون بتن می شود.

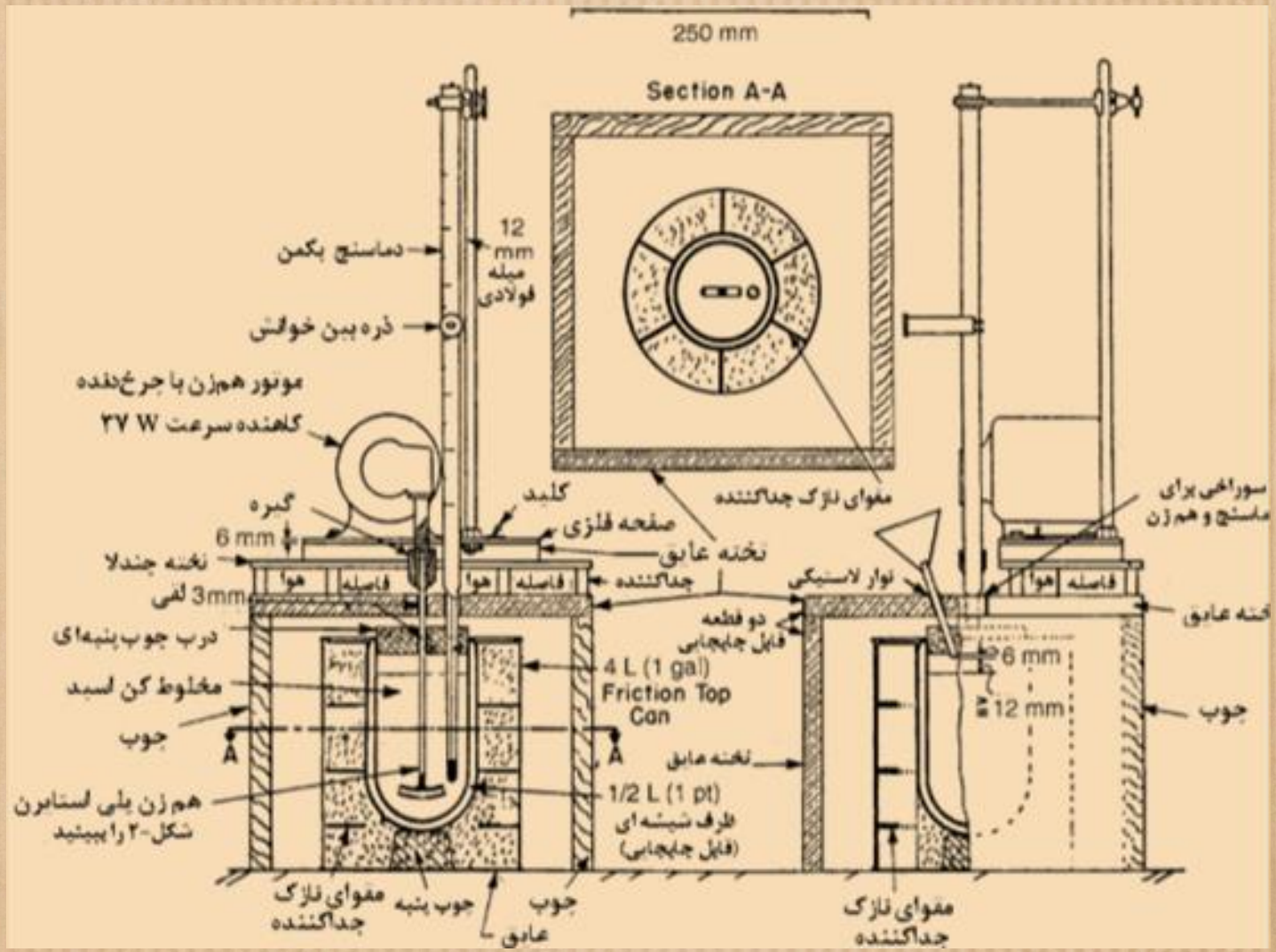
بررسی مکانیزم حمله سولفات ها به بتن و روش مقابله با آن

مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان با توجه به پیش بینی درجه حمله سولفاتها به بتن بر اساس محیط (ملایم ، متوسط ، شدید ، بسیار شدید و فوق العاده شدید) راهکارهایی را بر اساس انتخا نوع سیمان نسبت آب به سیمان و پوزولان و استفاده پوزولان و حداقل مقاومت فشاری مورد نیا پیشنهاد کرده است. بیشترین تخریب بتن مربوط به سولفات منیزیم ، سولفات سدیم و در درجه بعد سولفات کلسیم است که سیکل های تر و خشک شدن های متوالی این موضوع را تشدید می کند.

حرارت هیدراسیون

با توجه به گرما زایی واکنش سیمان و آب، تعیین حرارت هیدراسیون سیمان هیدرولیکی‌مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۳۹۴ انجام می شود. اندازه گیری گرمای انحلال (ناشی از حل شدن) سیمان خشک و گرمای انحلال قسمتی از سیمان که ۷ روز و ۲۸ روز از زمان هیدراته شدن آن می گذرد توسط دستگاه کالری متر اندازه گیری می شود. اختلاف این مقادیر حرارت هیدراسیور در دوره هیدراسیون مربوطه را نشان می دهد. این نکته را باید توجه نمود که اگر بعضی از اجزاء سیمان هیدرولیکی در محلول اسید نیتریک یا اسید هیدروفلوئوریک نامحلول باشند ، ممکن است نتایج این آزمون نادرست باشد. این آزمون را برای اهداف تحقیقاتی نیز می توان انجام داد وقتی آزمون هایی برای اهداف تحقیقاتی انجام می شوند، اطلاعات مفید بیشتری را با تعیین نرمی و ترکیبات اجزا شیمیایی می توان به دست آورد.

حرارت هیدراسیون



تعیین مقدار کلرید سیمان پرتلند

مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۶۴۴۳ مقدار کل کلرید سیمان پرتلند به روش پتانسیومتری با نیترات نقره تعیین می‌شود.

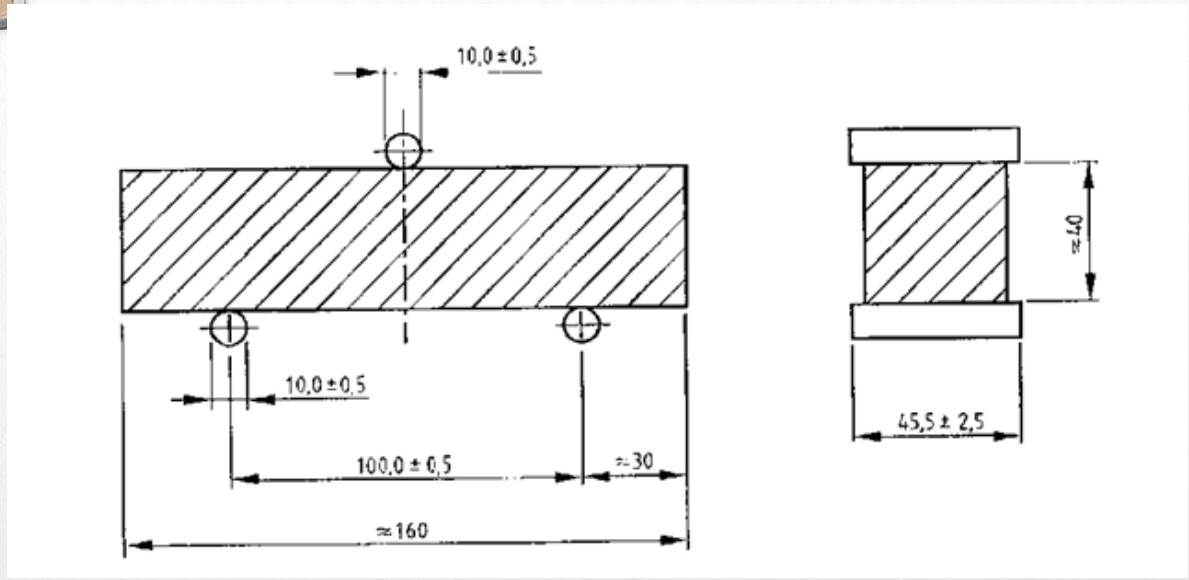
ویژگی های مکانیکی سیمان

ویژگی های مکانیکی سیمان شامل اندازه گیری مقاومت خمشی و فشاری آزمونه های ملات سیمان در سنین مختلف است. مطابق استاندارد ملی ۳۹۳ ، مقاومت فشاری و خمشی سیمان براساس اندازه‌گیری مقاومت فشاری و خمشی آزمونه‌های منشوری به ابعاد ۱۶۰×۴۰×۴۰ میلی متر تعیین می‌گردد. این نمونه‌ها با استفاده از یک مخلوط خمیری، شامل یک قسمت وزنی سیمان ، سه قسمت وزنی ماسه استاندارد و نصف قسمت وزنی آب (نسبت آب به سیمان ۵/۰) قالب گیری می‌شوند. هر نوبت اختلاط که برای ساخت ۳ منشور آزمونه به کار می‌رود شامل ۲±۴۵۰ گرم سیمان ، ۵±۱۳۵۰ گرم ماسه و ۱±۲۲۵ گرم آب می‌باشد

ویژگی های مکانیکی سیمان

- . ماسه استاندارد ممکن است از منابع داخلی و یا خارجی فراهم شوند که باید ویژگی‌های آنها با استاندارد ملی ایران به شماره ۳۰۴۰ مطابقت داشته باشد. پس از انتخاب مصالح ، به کمک همزن مکانیکی با هم مخلوط و سپس بوسیله دستگاه تراکم که دارای حرکت ضربه‌ای بالا و پایین است متراکم می‌گردند. پس از قالب گیری، آزمونه‌ها در محیط مرطوب به مدت ۲۴ ساعت نگهداری می‌شوند و بعد از این مدت نمونه‌ها را از قالب خارج و در ظرف آب با دمای ثابت ، تا رسیدن به زمان آزمون مقاومت نگهداری می‌نمایند

ویژگی های مکانیکی سیمان



ماسه مورد استفاده در آزمون های تعیین مقاومت خمشی و فشاری

ابعاد چشمه‌های مربع(میلی متر)	باقی مانده روی الک(درصد)
۲/۰۰	۰
۱/۶۰	۷±۵
۱/۰۰	۳۳±۵
۰/۵	۶۷±۵
۰/۱۶	۸۷±۵
۰/۰۸	۹۹±۱

دسته بندی سیمان

۱-سیمان های پرتلند

۲- سیمان های آمیخته

۳- سیمان سفید

۴- سیمان پرتلند رنگی

سیمان پرتلند

الف– سیمان پرتلند نوع یک

یا سیمان پرتلند معمولی(OPC)که با نماد (پ–۱) نشان داده می شود. این سیمان در شرایط محیطی معمولی به لحاظ حملات شیمیایی سولفاتها و کلرید ها مصرف می شود و کاربرد آن را می توان در ساختمان توصیه نمود.

سیمان پرتلند نوع یک، خود به سه رده مقاومتی (۳۲۵–۱) ، (۴۲۵–۱) و (۵۲۵–۱) تقسیم می شود. اعداد بعد از عدد ۱ بیانگر حداقل مقاومت فشاری سیمان نوع یک مطابق آزمون استاندارد ملی ۳۹۳در سن ۲۸ روز است. بدیهی است که با کاربرد سیمان نوع (۵۲۵–۱) در بتن به ازای سیمان ثابت و نوع و مقدار مصالح ثابت مقاومت قابل توجه بیشتری را در سنین مختلف نسبت به دیگر سیمانهای نوع یک خواهد داشت. این نوع سیمان به لحاظ خصوصیات مکانیکی شباهت زیادی به سیمان نوع سه دارد و می تواند به خاطر ویژگی زود سخت شوندگی خود جای سیمان نوع ۳ به کار رود

سیمان پرتلند

ب– سیمان پرتلند نوع دو

یا سیمان پرتلند اصلاح شده، که با نماد (پ–۲) نشان داده می شود. این سیمان نسبت به سیمان نوع یک روند کسب مقاومت کمتری دارد بدین معنا که این سیمان چه در سنین اولیه و چه در سن ۲۸ روز مقاومت کمتری نسبت به دیگر سیمانها به دست می آورد. هچنین حرارت هیداسیون کمتری نسبت یه سیمان نوع یک دارد. این سیمان دارای C3A و C3S کمتر و C2S بیشتری نسبت به سیمان نوع یک است. کمتر بودن میزان C3A نسبت به نوع یک باعث بهبود عملکرد سیمان در مقابل سولفاتها شده و کاهش میزان C3S و افزایش میزان C2S باعث کاهش حرارت هیدراسیون و در نتیجه کاهش روند کسب مقاومت می شود. کاربرد این سیمان هنگام حملات توام سولفاتها و کلرید ها همراه یا بدون استفاده از پوزولان قویاً توصیه می شود

سیمان پرتلند

پ– سیمان پرتلند نوع سه
یا سیمان زود سخت شونده ، که با نماد (پ–۳) نشان داده می شود.این سیمان نسبت به دیگر انواع سیمانهای پرتلند روند کسب مقاومت و حرارت هیدراسیون بیشتری به خصوص در سنین اولیه دارد. این سیمان نسبت به انواع دیگر سیمان بیشتر آسیاب شده و ریزی و در نتیجه نرمی بیشتری دارد،مطابق استاندارد ملی ایران شماره۳۸۹ حداقل نرمی الزامی سیمان نوع سه، 320000 mm2/grدر نظر گرفته شده است. این درحالی است که حداقل نرمی سیمان برای انواع دیگر سیمان پرتلند 280000 mm2/grاست. همچنین میزان C_3 Sاین سیمان نسبت به انواع دیگر سیمان بیشتر و در نتیجه میزان C_2 Sآن کمتر است. این سیمان با توجه به گرمای بالای هیدراسیون گزینه مناسبی برای بتن ریزی در هوای سرد است. همچنین با توجه به بالاتر بودن روند کسب مقاومت نسبت به سایر سیمانها قالبها را زودتر می توان باز کرد. می توان از این مزیت در صنایع پیش ساخته سازی و نیز تعمیرات سازه ها استفاده نمود

سیمان پرتلند

ث– سیمان پرتلند نوع چهار

یا سیمان با حرارت زایی کم، که با نماد (پ–۴) نشان داده می شود. این سیمان روند کسب مقاومت پائین تری نسبت به انواع دیگر سیمان پرتلند داردو در این سیمان میزان C_3S پائین و میزان C_2S نسبت به انواع سیمان بالاتر است.مطابق استاندارد ملی ایران شماره۳۸۹ مقدار حداکثر C_3A آن ۷درصد بوده که این مقدار از سیمان نوع پنج بالاتر و از نوع دو پائین تر است. بنابراین این سیمان تا حدودی ضد سولفات است.

سیمان پرتلند

ج– سیمان پرتلند نوع پنج

یا سیمان مقاوم در برابر سولفات، که با نماد(پ–۵) نشان داده می شود.این سیمان از دیگر انواع سیمان پرتلند دارای C3Aکمتری بوده و چنانکه در خصوص حمله سوافاتها به بتن گفته شد یکی از راهکارهای مقابله با حمله سولفاتها کاهش میزانC3Aسیمان است. استاندارد ملی ایران شماره ۳۸۹ حداکثر میزان C3Aرا برای این نوع سیمان به ۵درصد محدود کرده است

سیمان های آمیخته

جزء اصلی سیمان های آمیخته کلینکر سیمان پرتلند است و دارای مقادیری از مواد مناسب، مانند پوزولان های طبیعی، مصنوعی، یا مواد افزودنی ویژه جایگزین سیمان پرتلند است.انواع سیمان های پرتلند آمیخته معمول در ایران عبارت است از : پوزولانی، سرباره ای، بنایی و آهکی (PKZ) و زئولیتی.

تعریف پوزولان و واکنش های پوزولانی

پوزولان ها موادی سیلیسی یا سیلیس آلومینی هستند که خود به تنهایی و در مجاور
آب خاصیت چسبانندگی ندارد یا بسیار خاصیت چسبانندگی کمی دارند. اما به صورت گرد نرم و در مجاورت رطوبت و در دمای معمولی در کنار هیدروکسید کلسیم ($Ca(OH)_2$) ناشی از واکنش هیدراسیون سیمان سیلیکات کلسیم هیدراته تولید می کنند که واکنش آن به قرار زیر است:

$$CH + SH \quad \rightarrow \quad C - S - H$$

SH پوزولان با ساختار آمورف یا بی شکل یا غیر بلوری است که به صورت $Si(OH)_4$ و یا H_4SiO_4 وجود دارد روند کسب سیمانهای پوزولانی کمتر است اما مقاومت دراز مدت آن کمتر از سیمان های پرتلند معمولی نیست. اصولاً سیمان های اصلاح شده با پوزولان ها در برابر سولفات ها از دوام بیشتری برخوردار بوده و در مجاورت شرایط محیطی نامناسب رفتار بهتری دارند. پوزولان ها شامل پوزولان های طبیعی و پوزولان های مصنوعی هستند.

پوزولان طبیعی

خاکهای دیاتومه دار , شیل و چرتهای اوپالینی , توفهای شیشهای , خاکسترهای آتشفشانی و پوکه سنگهای طبیعی نمونه هائی از انواع پوزولانها است که در طبیعت موجود بوده و هر کدام از آنها بصورت کلسینه شده یا نشده بکار برده میشود . بعضی از خاک رس و شیلها نیز پس از کلسینه شدن خواص پوزولانی قابل قبولی پیدا میکند .کلسینه شدن به معنای حرارت دادن تا دمای بالا و تا دمایی کمتر از درجه ذوب آن برای جداسازی رطوبت و دی اکسید کربن است، درست مانند واکنش تولید آهک زنده از سنگ آهک(کربنات کلسیم)که نوعی کلسینه کردن است.

$$CaCO_3 \rightarrow CaO(\text{آهک زنده}) + CO_2 \uparrow$$

پوزولانهای مصنوعی

خاکستر بادی

خاکستر بادی ($Fly\ Ash$) محصول فرعی کوره ای سوخت ذغال سنگ است که شامل SiO_2 و AL_2O_3 و Fe_2O_3 و CaO است که در رده های F و C وجود دارد. در رده F میزان اکسید کلسیم حداکثر ۱۰ درصد بوده و در رده C میزان اکسید کلسم بیش از ۱۰ درصد است. رده F در مجاورت سیمان و در محیط بتن خواصیت سیمانی شدن ندارد اما رده C به علت وجود خواصیت سیمانی شدن می تواند جزو مواد شبه سیمانی به حساب آید.

پوزولانهای مصنوعی

۱– خاکستر پوسته برنج

) از سوزاندن پوسته برنج در کوره های مخصوص به *Rice Hask Ash*خاکستر پوسته برنج (
) مطلوب به لحاظ فعالیت پوزولانی به شرایط *RHA*دست می آید.تهیه خاکسترپوسته برنج (
سوزاندن و امکان کنترل دما و زمان سوختن وابسته است. خاکستر مطلوب پوسته برنج دارای
مقادیر زیادی سیلیس غیر بلوری یا آمورف است.

پوزولانهای مصنوعی

میکروسیلیس

میکروسیلیس یا دوده سیلیسی (*Silica Fume*) محصول فرعی کوره های قوس الکتریکی صنایع فرو آلیاژ و فرو سیلسیم است. این ماده فعالیت پوزولانی زیادی داشته و در ساختار خود بیش از ۸۵ درصد سیلیس غیر بلوری یا آمورف دارد. سلیس(Sio_2) به شکل بلوری واکنش خاصی با سیمان نمی دهد. ذرات میکرو سیلیس از دانه های سیمان خیلی ریزتر هستند. میانگین اندازه دانه های میکرو سیلیس حدود ۱۲۰ نانو متر است و با توجه به ریزی و آبدوست بودن در صورت استفاده در بتن نیاز آب مخلوط را به شدت افزایش می دهد.

سیمان پرتلند سرباره ای

سیمان پرتلند سرباره ای

- سیمان پرتلند سرباره ای: سیمانی است که از آسیاب کردن مخلوط کلینکر سیمان پرتلند، سرباره دانه شده فعال و آمورف و سنگ گچ و یا از مخلوط سیمان پرتلند و پودر سرباره ، به نسبت های معین به دست می آید. اینگونه سیمان ها معمولا در کارخانجاتی تولید می شوند که فاصله نزدیکی تا کارخانه های ذوب آهن دارند.

سیمان پرتلند سرباره ای

- الف- سرباره آهن‌گدازی ـ سرباره کوره بلند آهن‌گدازی محصولی است فرعی که از ترکیب مواد غیرفلزی سنگ آهن با سنگ آهک در حالت مذاب همزمان با تولید آهن مذاب بدست می‌آید . ترکیب شیمیائی اصلی آن سیلیکات‌ها و آلومینوسیلیکات‌های کلسیم و سایر ترکیبات چندتائی اکسیدهای اصلی می‌باشد .

سیمان پرتلند سرباره ای

ب- سرباره دانه شده ـ ماده شیشه‌ای دانه شده‌ای است که از سریع سردشدن مواد مذاب سرباره آهن‌گدازی به کمک آب پاشیدن , غوطه‌ور شدن در آب و یا هوای فشرده پدید می‌آید .

سیمان پرتلند آهکی

- ماده چسباننده هیدرولیکی، از خانواده سیمان پرتلند ، کـه از آسـیاب کـردن مخلـوط ۶ الـی ۲۰ درصد سنگ آهک ویژه ، همراه با درصد مناسبی سنگ گچ (سولفات کلسیم متبلور) و حـداقل ۸۰ درصد کلینکر سیمان پرتلند تولید می گردد. در تولید ایـن نـوع سـیمان ، میـزان مـواد افزودنـی حداکثر یک درصد است. مواد افزودنی نباید شدت خوردگی میلگرد را افزایش دهد و یا باعث افـت کیفیت سیمان یا ملات و بتن ساخته شده از آن شود.
- سیمان پرتلند آهکی در تهیه ملات و بتن و در کلیه مواردی که سیمان پرتلند نوع یـک (۳۲۵-۱) بکار می رود ، قابلیت کاربرد دارد. با توجه به اینکه حـرارت هیدراسـیون ایـن سـیمان نسـبت بـه سیمان پرتلند نوع یک می تواند کمتر باشد ، بتن ریزی با این نوع سیمان در هوای سـرد نیـاز بـه دقت بیشتری دارد.
- حفظ آب این نوع سیمان نسبت به سیمان پرتلند معمولی بهتر است. همچنین قابلیت پمپ شدن بتن ساخته شده با آن ارتقا می یابد.

سیمان بنایی

چسباننده هیدرولیکی که در تهیه ملات های مختلف مورد استفاده در بنایی به کار برده می شود. این سیمان از آسیاب کردن مخلوط کلینکر سیمان پرتلند و سنگ آهک طبیعی ، یا مخلوط کردن سیمان پرتلند و پودر نرم شده سنگ آهک ، یا پوزولان ها طبیعی و مصنوعی و یا سرباره آهن گدازی ، به نسبت های معین با رنگدانه های معدنی به دست می آید. استفاده از سیمان های بنایی در بتن و بتن آرمه مجاز نیست و آن را فقط در ملات و مانند آن باید به کار برد. برای شناسایی سیمان بنایی و پرهیز از مصرف آن در ساخت بتن ، این نوع سیمان ها را رنگی تولید می کنند. شایان ذکر است که برای جلوگیری از گیرش سریع سیمان در هنگام آسیاب کلینکر همانند دیگر سیمان ها به این سیمان نیز سنگ گچ اضافه می شود.

الزامات فیزیکی و مکانیکی

سلامت سیمان (انبساط اتوکلاو)

الزامات ملات تازه

مقاومت فشاری

الزامات شیمیایی سیمان های بنایی

سیمان پرتلند مرکب الف – ۳۲/۵

ماده چسباننده هیدرولیکی از خانواده سیمان پرتلند است که از آسیاب و مخلوط کردن کلینکر سیمان پرتلند با حداقل ۲ نوع از انواع مواد افزودنی (سنگ آهک ویژه، پوزولان طبیعی مرغوب، سربازه کوره آهنگدازی، خاکستر بادی، پوزولان کلسینه شده، رس یا شیل پخته شده، همراه با درصد مناسبی از سنگ گچ حاصل می شود. سیمان پرتلند مرکب الف-۳۲/۵ در تهیه ملات و بتن استفاده می شود و در اکثر مواردی که سیمان پرتلند نوع یک (۳۲۵-۱) به کار می رود، قابلیت کاربرد دارد.

سیمان سفید

سیمانی است که از کلینکر سیمان پرتلند سفید و سنگ گچ به نسبت معین به دست می آید . در تولید کلینکر سیمان پرتلند سفید از مواد دارای مقادیر کم آهن و منگنز استفاده می شود. این نوع سیمان عمدتاً در نما سازی ، بند کشی ، کارهای تزئینی و اجزاء سازه ای و بنایی کاربرد دارد. از نمونه های بسیار زیبای استفاده از این نوع سیمان در اعضای سازه ای می توان به طرح توسعه حرم حضرت معصومه (س) در قم و نیز صحن الحاقی حرم حضرت شاهچراغ (ع) در شیراز اشاره نمود.

سیمان سفید

- مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۲۹۳۱ ، این نوع سیمان براساس کاربرد به انواع سیمان پرتلند سفید با رده های مقاومتی مختلف و سیمان بنایی سفید رده بندی می شود. سیمان سفید شامل دو رده سیمان پرتلند سفید و سیمان بنایی سفید است.

سیمان پرتلند سفید

سیمانی است که ویژگی های آن براساس رده مقاومتی و رده درجه سفیدی تعیین می شود و برای اهداف سازه ای و غیرسازه ای مناسب است.

سیمان بنایی سفید

این نوع سیمان برای اهداف سازه ای مناسب نیست و در کارهای بنایی مانند بندکشی، ملات چسباننده و تولید قطعات بنایی غیرباربر مورد استفاده قرار می گیرد . استفاده از ای نوع سیمان در تولید عناصر باربر و قطعات بنایی باربر مجاز نیست.

درجه سفیدی

اجزای تشکیل دهنده انواع سیمان سفید و ترکیبات آن

کلینکر سیمان پرتلند سفید

سایر اجزای تشکیل دهنده سیمان پرتلند سفید

سایر اجزای تشکیل دهنده سیمان بنایی سفید

سیمان پرتلند رنگی

از افزودن رنگدانه های معدنی (بدون واکنش شیمیایی) به سیمان پرتلند معمولی یا سفید بدست می آید. از سیمان پرتلند معمولی برای ساخت سیمان های پرتلند رنگی قرمز، قهوه ای و سیاه و از سیمان سفید از تولید سیمان هایی با رنگ های روشن ، استفاده می شود. در ساخت سیمان های رنگی باید از رنگدانه هایی استفاده شود که در برابر عوامل جوی و تابش نور پایدار باشند، همچنین نبایستی رنگ ها در کارگاه های تولید بتن، به بتن افزوده شود. از این نوع سیمان ها بیشتر در نماسازی ، کف سازی ، بندکشی و کارهای ترئینی استفاده می شود.استاندارد ملی شماره ۱۲۱۴۹ در خصوص ویژگیها و روش آزمون رنگدانه ها برای مصالح ساختمانی پایه سیمانی و یا آهکی تدوین شده است مطابق این استاندارد رنگدانه ها در یکی از ترکیبات زیر قرار می گیرند:

۱- اکسید ها و هیدروکسیدهای مصنوعی یا طبیعی آهن
۲- اکسید های کروم ، تیتانیوم و منگنز
۳- رنگدانه های کمپلکس غیر آلی برای. مثلاً مخلوطی از اکسید ها و هیدروکسید های فلزی یاد شده در بالا با اکسید ها و هیدروکسید های کبالت ، آلومینیوم ، نیکل و آنتیموان
۴- رنگدانه از نوع لاجورد
۵- فتالوسیانین آبی و سبز رنگ
۶- کربن به شکل دوده
۷- مخلوطی از موارد ۱ تا ۶ در بالا

سیمان پرتلند زئو لیتی

زئولیت های طبیعی مواد آلومینوسیلیکات هیدراته یا ساختار شبکه ای است که به طور وسیعی به عنوان جایگزین بخشی از سیمان در مخلوط های سیمانی و بتن در نقاط مختلف دنیا استفاده می شود. کشور های چین ، اسلواکی ، آلمان ، ژاپن ، رومانی و بلغارستان از جمله کشورهای تولید کننده سیمان زئولتی می باشند. در سال های اخیر در ایران نیز ، عملکرد سیمان زئولیتی به سبب وجود ذخایر مناسب مورد توجه محققان قرار گرفته و تحقیقات گسترده ای در این زمی انجام شده است.

یکی از منابع تهیه زئولیت ، زئولیت سمنان بوده که آنالیز شیمیایی آن در وبسایت شرکت افرا زند درج شده در سه نوع تولید می گردد که در رنگ های سفید ،کرم روشن ، سبز تا سبز روشن ، زرد ، قهوه ای روشن ، صورتی موجود است. جذب آب آن ۶۰٪ حجمی بوده و وزن مخصوص ظاهری بین ۰/۵ تا ۱/۱ گرم بر سانتی متر مکعب متغیر است.

سیمان پرتلند زئو لیتی

سیمان (پ ، ز) ماده چسباننده هیدرولیکی از خانواده سیمان پرتلند است که از آسیاب و مخلوط نمودن کلینکر سیمان پرتلند و زئولیت همراه با درصد مناسبی از سنگ گچ (سولفات کلسیم متبلور) حاصل می گردد. مقدار کلینکر در این نوع سیمان باید دارای حداقل ۸۰ درصد وزنی سیمان (پ ، ز) بوده و مقدار زئولیت در این نوع سیمان باید حداقل ۵ درصد وزنی سیمان (پ ، ز) باشد. مقدار کانی های فعال زئولیت (آنالیسم ، هولاندیت ، کاینوپتیلولیت و موردنیت) در ماده معدنی حداقل ۳۰ درصد وزنی است.

اجزا تشکیل دهنده سیمان پ.ز

زئولیت

سنگ گچ

مواد مضاعف (افزونه)

نمونه‌برداری از سیمان در محل کارگاه ساختمانی

نمونه برداری از سیمان پرتلند باید به یکی از روشهای مندرج زیر انجام گیرد:

نمونه‌برداری از محل تسمه نقاله یا لوله انتقال سیمان به سیلو:

در این نمونه‌برداری , وزن نمونه برای هر ۴۰ تن سیمان (یا بخشی از آن) در حال انتقال به سیلو ۵ کیلوگرم می‌باشد . این نمونه را می‌توان به صورت پیوسته یا ناپیوسته برداشت نمود .

نمونه برداری از محل تخلیه سیمان از سیلو:

در این نمونه‌برداری , از جریان سیمان در لوله تخلیه و به فاصله‌های زمانی معین به ازای هر یکصدتن سیمان داخل سیلو مقدار ۵ کیلوگرم سیمان بعنوان نمونه برداشت می‌شود .

نمونه‌برداری از انبار سیمان فله:

در این نمونه‌برداری , چنانچه عمق انباشته سیمان موجود در انبار از ۲ متر کمتر باشد , نمونه را می‌توان با ابزار ویژه نمونه‌برداری تهیه نمود .

نمونه‌برداری از انبار کیسه‌های سیمان:

در این نمونه‌برداری به ازای هر پنج تن یا بخشی از آن یک کیسه سیمان انتخاب می‌شود و مقدار لازم برای نمونه توسط ابزار ویژه نمونه‌برداری تهیه می‌شود .

نمونه‌برداری از محموله کامیون و سایر موارد ذکر نشده:

در این نمونه‌برداری , از سه نقطه مختلف محموله برداشت می‌شود و چنانچه در چندین کامیون باشد بشرط آنکه محموله‌ها از سیلوی مشخص و در یک روز بارگیری شده باشد , نمونه‌های برداشت شده از کامیون‌ها را می‌توان مخلوط نمود .

هر یک نمونه تهیه شده به یکی از روشهای بالا , باید به سه بخش تقسیم شود.

یک بخش برای آزمون و بررسی به آزمایشگاه موسسه استاندارد و یک بخش به آزمایشگاه کارخانه تحویل شود . و بخش سوم نیز بعنوان نمونه شاهد در بسته بندی محکم و مقاوم نسبت به رطوبت لاک و مهر شده و در یک مکان مورد اعتماد نگهداری شود .

تفسیر نتایج آزمایشگاهی

Sample NO: Cement Type : ((2))

A-Chemical Specification &Composition According Bogue

$\%SiO_2$	21.00	Min.....	C3S	51.84	Max.....
$\%Al_2O_3$	5.40	Max.....	C2S	21.10	Max.....
$\%Fe_2O_3$	4.21	Max.....	C3A	7.17	Max.....
%CaO	63.59		C4AF	12.94	Max.....
%MgO	1.70	Max.....	C3A+C3S		Max.....
$\%SO_3$	1.80	Max.....	2C3A+C4AF=B		Max.....
$\%K_2O$	0.80		C4AF+C2F		Max.....
$\%Na_2O$	0.12		I.R.	0.48	Max... (0.75)
%L.O.I	1.38	Max.....	CaSO4		Max.....
%Cl	-		Free CaO	1.10	Max.....
Total	100.00		T. Alkaly.	0.65	Max.....

B-Physical Specification

Fineness(cm²/gr)	3040	Min.... (2800)	compressive 1day		Max.....
%R.S #70	0.0	Max.....	Strength 3day	250	Min 100
%R.S #170	2	Max.....	(Kg/cm²) 7day	332	Min 175
Intial Set	170	Min... (45)	28day	430	Min 315
Final Set	210	Max...(360)	60day		Max.....
Auto.Exp.(%)	0.09	Max....(0.8)	Heat of hydration (Cal/gr) (Optional for type 2 or 4)		
NORM.Consistency(%)	25		7day		Max...70...
Specific Gravity(gr/cm³)	3.14		28day		Max.....

تفسیر نتایج آزمایشگاهی

Sample NO: *Cement Type* : ((1-525))

A-Chemical Specification &Composition According Bogue

$\%SiO_2$	20.63	Min	C3S	56.52	Max.....
$\%Al_2O_3$	5.80	Max	C2S	16.51	Max.....
$\%Fe_2O_3$	3.35	Max	C3A	9.69	Max.....
%CaO	64.56		C4AF	10.29	Max.....
%MgO	1.60	Max.....(5)	C3A+C3S		Max.....
$\%SO_3$	2.02	Max...(3.5)	2C3A+C4AF=B		Max.....
$\%K_2O$	0.82		C4AF+C2F		Max.....
$\%Na_2O$	0.12		I.R.	0.40	Max... (0.75)
%L.O.I	1.10	Max....(3)	CaSO4	.....	Max.....
%Cl			Free CaO	1.00	Max.....
Total	100.00		T. Alkaly.	0.66	Max.....

B-Physical Specification

Fineness(cm²/gr)	3000	Min.... (2800)	*compressive* 1day		Max.....
%R.S # 70	0.0	Max.....	*Strength* 2day	240	Min.....(200)
%R.S #170	3	Max.....	(Kg/cm²) 7day		Min..... .....
Intial Set	190	Min... (45)	28day	555	Min.....(525)
Final Set	235	Max...(360)	60day		Max.....
Auto.Exp.(%)	0.07	Max....(0.8)	*Heat of hydration (Cal/gr)* *(Optional for type 2 or 4)*		
NORM.Consistency(%)	26		7day		Max.....
Specific Gravity(g.cm³)			28day		Max.....

وظیفه‌ی سنگ‌دانه‌های در بتن

۱) نقش باربری بر عهده‌ی سنگدانه‌هاست.

۲) افزایش مقاومت بتن

۳) دوام و پایداری بتن

۴) کم کردن مصرف سیمان و کاهش هزینه‌ی نهایی بتن

گروه‌بندی سنگدانه‌ها

۱) درشت‌دانه یا شن و ماسه (بالای الک نمره ۲۰۰)

أ. شن: سنگدانه‌ی بزرگتر از ۴/۷۵ میلیمتر یا بالای الک نمره ۴

ب. ماسه : سنگدانه کوچکتر از ۴/۷۵ میلمتر و بین الک‌های نمره ۴ و نمره ۲۰۰

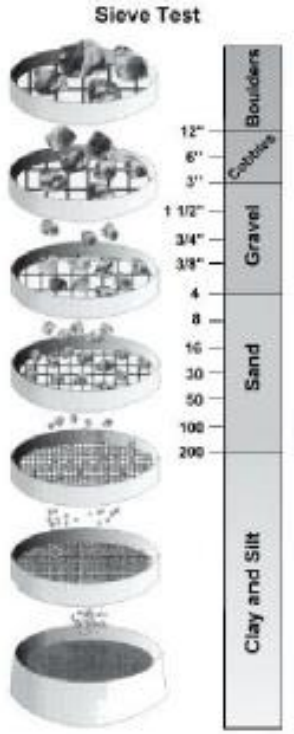
۲) ریزدانه: سنگدانه پایین از الک نمره‌ی ۲۰۰

مصالح سنگی (شن و ماسه) ۶۶٪ تا ۷۵٪ حجم بتن را تشکیل می‌دهند.

۶۰ تا ۷۰٪ از کل درشت‌دانه‌ها شن است.

۳۰ تا ۴۰٪ از کل درشت‌دانه‌ها ماسه است.

تفاوت و مرز میان شن و ماسه الک استاندارد نمره‌ی ۴ (#4) است که اندازه‌ی آن ۴/۷۶ میلیمتر است.



شکل ۱۰ : انواع الک و دستگاه لرزاننده (Shaker)

سنگدانه‌های عبوری از الک نمره‌ی ۴ و بالای الک نمره ۲۰۰ ماسه هستند.

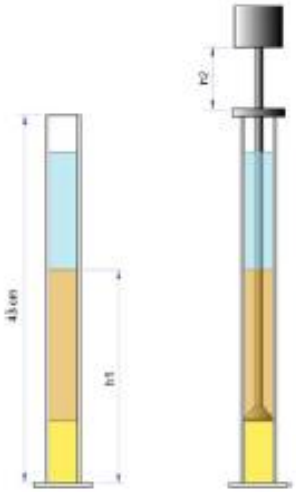
سنگدانه‌های مانده روی الک نمره ۴ شن هستند.

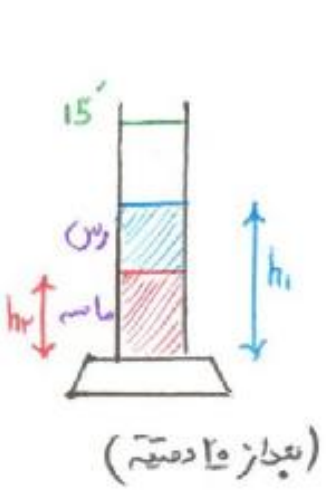
تعریف بزرگترین اندازه‌ی سنگدانه:

عبارت است از اندازه کوچکترین الکی که حداکثر ۱۰٪ وزنی سنگدانه روی آن باقی بماند [مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان].

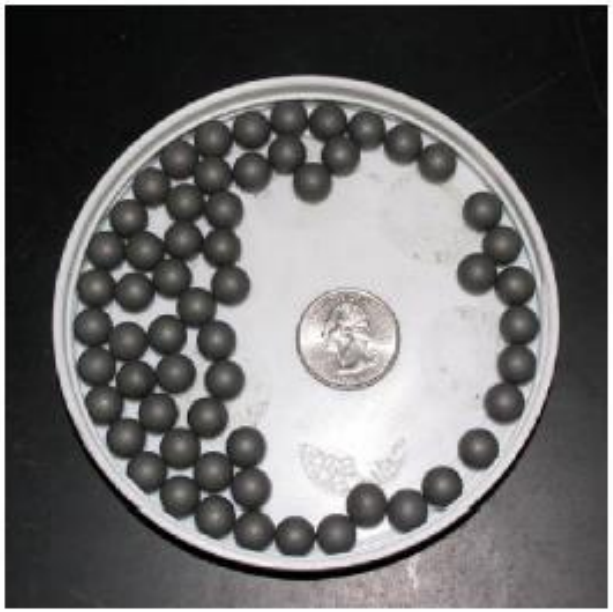
سپس اعداد قرائت شده را در رابطه زیر قرار داده و مقدار SE را محاسبه می‌کنیم.

$$SE = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$





(بعداز ۲۰ دقیقه)



Before Micro-Deval Test
After Micro-Deval Test
Before
After

نحوه‌ی محاسبه‌ی نتایج آزمایش Los Angles به صورت زیر است:

$$\text{درصد کاهش جرم ذرات} = \frac{\text{جرم نهایی - جرم اولیه نمونه}}{\text{جرم اولیه}} \times 100$$

هرچقدر عدد آزمایش لس‌آنجلس بیشتر باشد، مقاومت در برابر سایش سنگدانه‌ها کمتر است و سنگ‌دانه‌ها بیشتر سائیده می‌شود.

شکل و بافت سطحی و ظاهری سنگدانه‌ها

دانه‌ها از لحاظ شکل ظاهری به ۵ دسته تقسیم می‌شوند:

۱) **گردگوشه (رودخانه‌ای)**: دارای سطح صاف و گرد

۲) **نامنظم (رودخانه‌ای)**: دارای سطح صاف ولی شکل آنها گرد نیست.

۳) **گوشه‌دار (شکسته)**: دارای سطح ناصاف و گوشه‌های تیز. بهترین نوع سنگ‌دانه برای ساخت بتن است.

۴) **پولکی**: ضخامت آنها نسبت به دو بعد دیگر کم است (غیرمجاز در ساخت بتن)

۵) **سوزنی**: طول آنها نسبت به دو بعد دیگر بیشتر است (غیرمجاز در ساخت بتن)

سطح مخصوص

نسبت سطح جانبی(خارجی) به حجم سنگدانه را سطح مخصوص آن گویند. هرچه سطح مخصوص سنگ‌دانه بیشتر باشد، آب بیشتری را به خود جذب می‌کند و کارآیی بتن پایین می‌آید.

مقایسه از لحاظ مصرف سیمان: هر چه سطح مخصوص سنگ‌دانه‌های کمتر باشد، مصرف سیمان کمتر است.

سنگدانه‌های گردگوشه < سنگدانه‌های نامنظم < سنگ‌دانه‌های گوشه‌دار

مقایسه از لحاظ مقاومت نهایی بتن: هر چه اصطکاک میان سنگ‌دانه‌ها بیشتر باشد و سنگ‌دانه‌ها بهتر با یکدیگر بیشتر درگیر شوند مقاومت بتن بیشتر خواهد بود.

سنگدانه‌های گردگوشه < سنگدانه‌های نامنظم < سنگ‌دانه‌های گوشه‌دار

سوال: چرا استفاده از دانه‌های پولکی و سوزنی در ساخت بتن مجاز نیست؟

به دلایل زیر :

۱) زیرا در این دانه‌ها تمرکز تنش ایجاد شده و دانه‌ها از وسط می‌شکنند. یعنی مقاومت کمی دارند و مقاومت بتن را کاهش می‌دهند.

۲) این سنگ‌دانه‌ها سطح مخصوص بالایی دارند و کارآیی بتن را کاهش می‌دهند.

لذا آیین‌نامه‌ها مصرف این سنگ‌دانه‌ها را به ۱۰ تا ۱۵٪ وزن کل سنگ‌دانه‌ها محدود کرده‌اند.

$$\text{ضریب پولکی} = \frac{\text{وزن دانه‌های پولکی}}{\text{وزن کل دانه‌ها}} < 10 \sim 15\%$$

دانه‌بندی (Grading)

نحوه‌ی توزیع وزنی سنگدانه‌ها از نظر ابعاد را دانه‌بندی گویند.

در ساخت بتن با کیفیت بالا باید فاصله مناسبی میان مصالح درشت‌دانه و ریزدانه استفاده شود.

منحنی دانه‌بندی عبارت است از یک منحنی که نحوه‌ی توزیع دانه‌ها را از نظر ابعاد مشخص می‌کند.

برای تنظیم منحنی دانه‌بندی ابتدا شن و ماسه را از الک‌های استاندارد عبور می‌دهند.

تعداد این الک‌ها ۱۰ عدد می‌باشد.

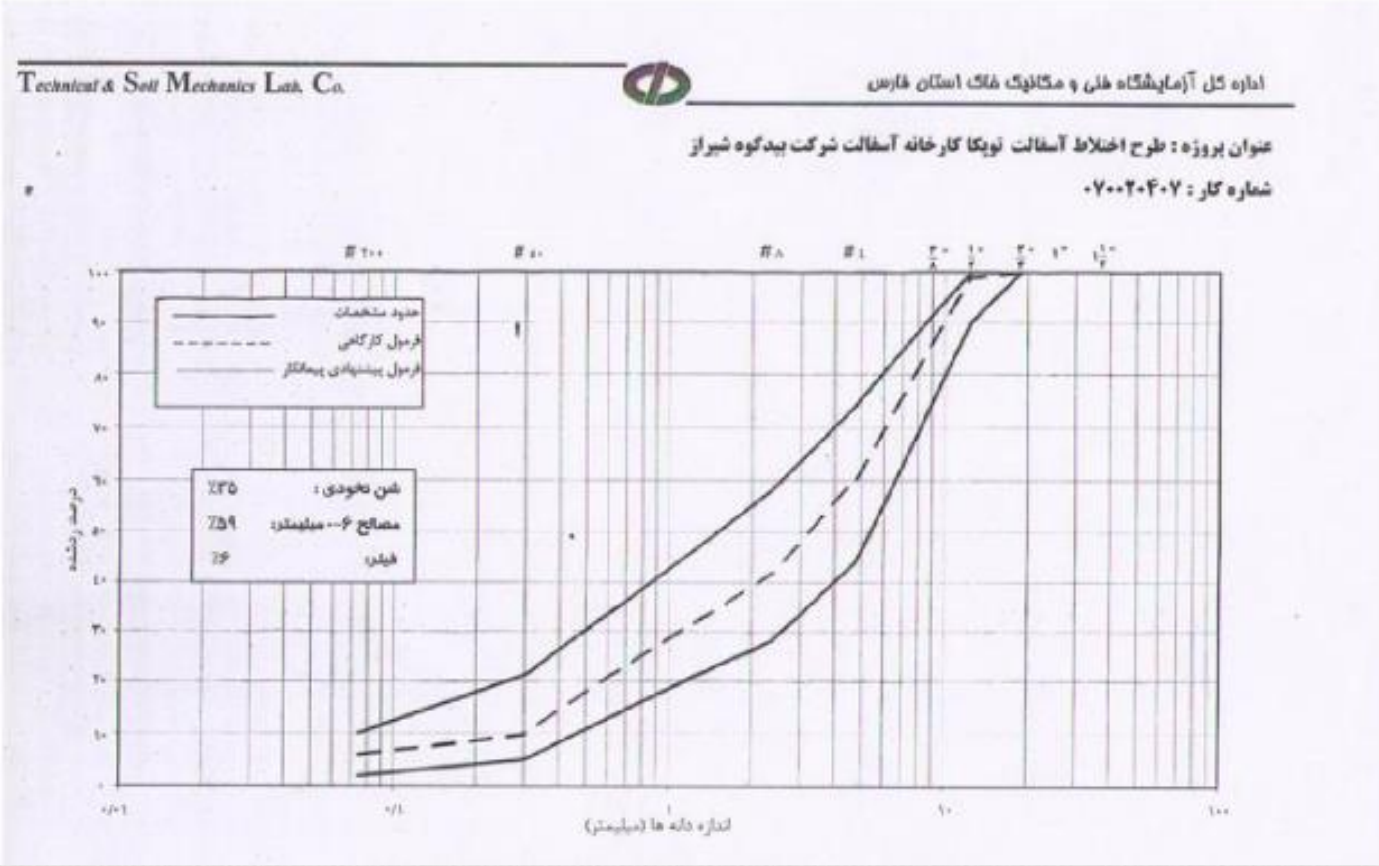
نام‌گذاری الک‌های کوچکتر از شماره‌ی ۴ به این صورت است که تعداد روزنه‌های موجود در یک اینچ مربع الک را شماره الک می‌نامند.

نمره‌ی الک	اندازه‌ی روزنه‌ی الک
شن	
الک $1\frac{1}{2}$	۳۸/۱ میلیمتر

الک $\frac{3}{4}$	۱۹/۰۶ میلیمتر
الک $\frac{3}{8}$	۹/۵ میلیمتر
ماسه	
الک نمره ۴ (#4)	۴/۷۶ میلیمتر
الک نمره ۸ (#8)	۲/۳۶ میلیمتر
الک نمره ۱۶ (#16)	۱/۱۸ میلیمتر
الک نمره ۳۰ (#30)	۰/۶ میلیمتر
الک نمره ۵۰ (#50)	۰/۳ میلیمتر
الک نمره ۱۰۰ (#100)	۰/۱۵ میلیمتر
الک نمره ۲۰۰ (#200)	۰/۰۷۵ میلیمتر

نحوه رسم منحنی دانه‌بندی:

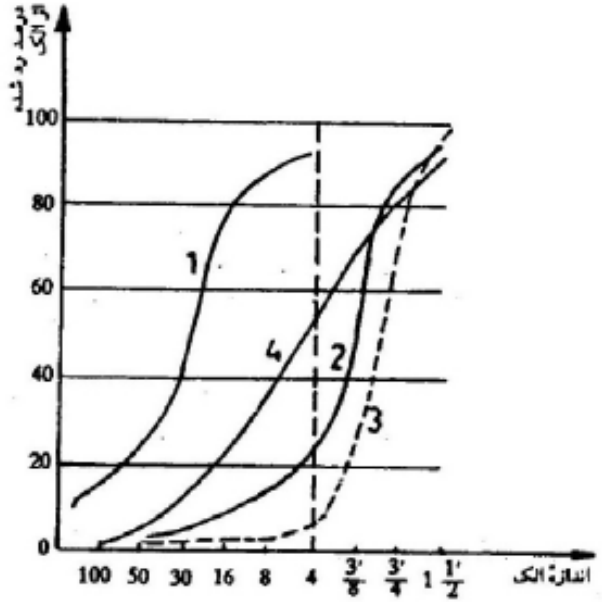
ابتدا مجموعه‌ای از دانه‌ها را وزن کرده و از الک‌های استاندارد عبور می‌دهند. سپس وزن دانه‌های مانده رو هر الک را اندازه‌گیری کرده و درصد آنها را نسبت به وزن کل محاسبه می‌کنند (درصد مانده). مجموع درصدهای مانده روی الک مورد نظر و الک‌های بالاتر را از ۱۰۰ کم نموده تا درصد رد شده از الک مورد نظر به دست آید. سپس بر اساس اندازه‌ی الک و درصد رد شده‌ی دانه‌ها از الک‌های استاندارد منحنی را رسم می‌نمایند. توجه کنید که معمولاً محور افقی لگاریتمی است.



انواع منحنی دانه‌بندی

۱) **دانه‌بندی پیوسته:** در صورتی‌که تمام ابعاد سنگ‌دانه موجود باشند (شرط اول) و برخی از آنها نسبت به سایر ابعاد به میزان چشمگیری بیشتر یا کمتر نباشند (شرط دوم).

۲) **دانه‌بندی گسسته:** در صورتی که یکی از دو شرط بالا برآورده نشود، منحنی دانه‌بندی گسسته است.



منحنی شماره‌ی ۱ : فقط دانه‌های الک نمره ۴ کوچکتر وجود دارد و در آن از شن خبری نیست (گسسته).

منحنی شماره‌ی ۲ : ۶۰٪ درصد دانه‌ها هم اندازه هستند و دانه‌بندی یکنواخت نیست (گسسته).

منحنی شماره‌ی ۳ : در محدوده‌ی کوچکی ۷۰٪ از کل دانه‌ها قرار گرفته‌اند (گسسته).

منحنی شماره‌ی ۴ : در محدوده‌ی شن و ماسه پیوسته بوده و دارای تمام ابعاد دانه‌ها است (پیوسته).

چرا باید از دانه‌بندی پیوسته در ساخت بتن استفاده کرد؟

۱) فضای خالی بین سنگ‌دانه‌ها حداقل می‌شود (تراکم بیشتر) و سیمان کمتری مصرف می‌شود.

۲) بتن حاصله توپرتر و متراکم‌تر می شود و مقاومت آن افزایش می‌یابد.

دانه‌بندی مصالح ماسه‌ای

مزیت استفاده از ماسه : با استفاده از آب کمتر بتن روان‌تر و کاراتری به دست می‌آید (مقاومت بیشتر).

مضرات استفاده از ماسه : مصرف سیمان افزایش می‌یابد.

برای بتن‌هایی که در نمای صاف مورد استفاده قرار می‌گیرند، باید از مقدار ماسه‌ی بیشتر باید استفاده شود.

مدول نرمی: عبارت است از مجموع درصدهای باقیمانده روی الک‌های استاندارد تقسیم بر صد. مدول نرمی ممکن است بین صفر تا ۹ متغییر باشد ولی عموماً مقدار آن بین ۲/۳ تا ۳ است و افزایش آن نشان‌دهنده‌ی درشتی دانه‌هاست.

دانه‌بندی مصالح شنی

هر چه در بتن مواد درشت دانه‌تر بیشتر باشد، بتن مقاومت بیشتری خواهد داشت.

حداکثر بعد دانه‌های شنی (بین سه عدد زیر باید کوچکترین عدد انتخاب شود):

۱) کوچکتر از 1/5 حداقل بعد قالب

۲) کوچکتر از 3/4 فاصله‌ی آزاد بین میلگردها

۳) کوچکتر از 1/2 ضخامت دال‌های سقفی

مثال : اگر در یک تیر 50×30 سانتی‌متر فاصله‌ی آزاد بین میلگردها ۷ سانتی‌متر باشد، حداکثر بعد سنگ‌دانه که می‌توان استفاده کرد چقدر است؟

شرط اول : $30 \times \frac{1}{5} = 6_{cm}$

شرط دوم : $7 \times \frac{3}{4} = 5.25_{cm}$

پس باید از سنگ‌دانه با حداکثر بعد ۵/۲۵ سانتی‌متر استفاده می‌شود.

رطوبت سطحی و جذب آب سنگ‌دانه‌ها

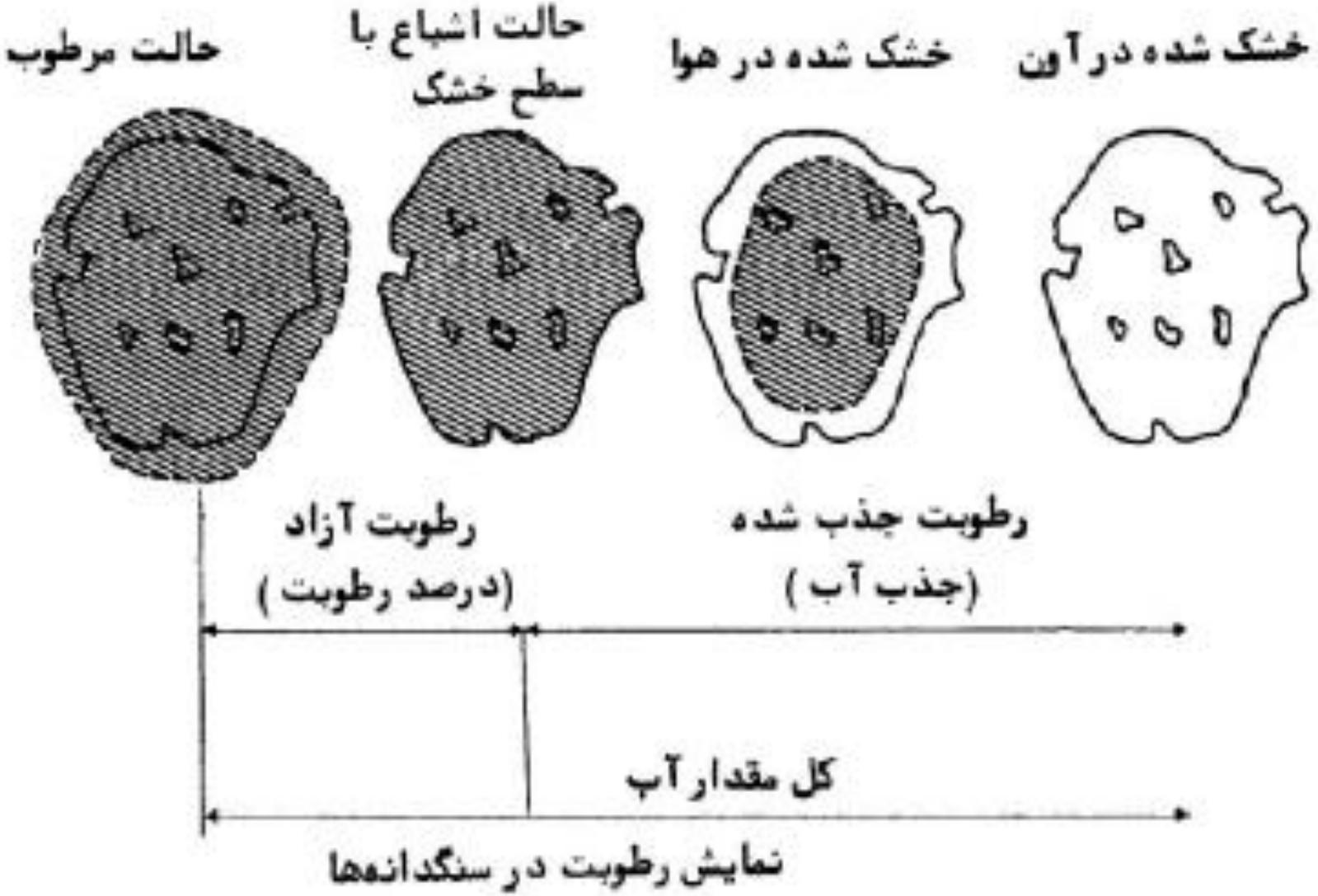
انواع سنگ‌دانه بر حسب رطوبت سطحی و جذب آب:

۱) **سنگدانه‌های کاملا خشک:** در صورتیکه دانه‌ها در Oven کاملا خشک شوند.

۲) **سنگدانه‌های خشک:** مقداری آب در داخل آنها وجود دارد ولی سطحشان خشک است.

۳) **سنگدانه‌های اشباع با سطح خشک** (S.S.D.) یا Saturated Surface Dry : داخل آنها کاملاً آب وجود دارد ولی سطح آنها خشک است (برای ساخت بتن و در محاسبات مربوط به طرح اختلاط باید استفاده شود)

۴) **سنگدانه‌های مرطوب:** داخل و خارج آنها کاملاً خیس است.


خشک شده در آون
خشک شده در هوا
حالت اشباع با سطح خشک
حالت مرطوب
رطوبت جذب شده
(جذب آب)
رطوبت آزاد
(درصد رطوبت)
کل مقدار آب
نمایش رطوبت در سنگدانه‌ها

۱) **مواد آلی:** بر فعل و انفعالات شیمیایی سیمان اثر مخرب دارند و پس از پوسیده شدن موجب بروز فضای خالی در بتن می‌شوند. این مواد با شستن به راحتی جدا می‌شوند. ذغال، چوب، جلبک و ..... .

۲) **رس و ذرات بسیار ریز:** به صورت لایه‌ای دور سنگ‌دانه‌ها را گرفته و روی چسبندگی خمیر سیمان و سنگ‌دانه تاثیر می‌گذارند. همچنین موجب افزایش مصرف آب نیز می‌شوند.

۳) **ناخالصی‌های نمکی:** وجود نمک مقاومت بتن را به شدت کاهش می‌دهد. نمک موجب خوردگی میلگردها در بتن مسلح می‌شود. همچنین نمک به صورت ذرات سفیدی روی سطح بتن ظاهر می‌شود.

مشکلات ناشی از استفاده از آب نامناسب در بتن:

۱) دیرگیر شدن بتن

۲) افت مقاومت نهایی بتن تا ۳۰٪

۳) بروز خوردگی در میلگردها

۴) ایجاد لکه بر روی سطح بتن (در مورد بتن‌های Expose (نما) اهمیت دارد)

آب مناسب برای بتن چیست؟ آب شرب

P.H آب باید بین ۶ تا ۸ باشد.

مواردی که نباید در آب بتن وجود داشته باشند و یا درصد آنها باید کم باشد؟

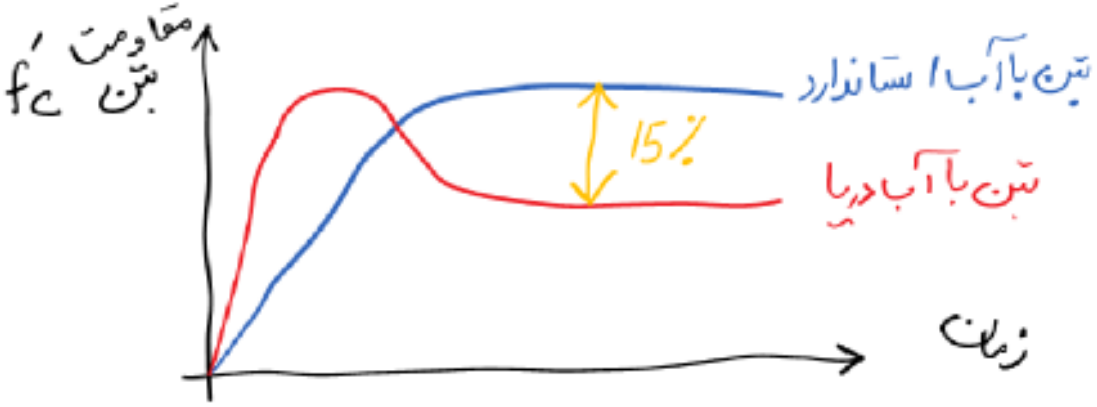
۱) **کربنات‌ها**

۲) **کلریدها** : موجب خوردگی در میلگرد می‌شود.

۳) **سولفات‌ها**

۴) **نمک‌ها**

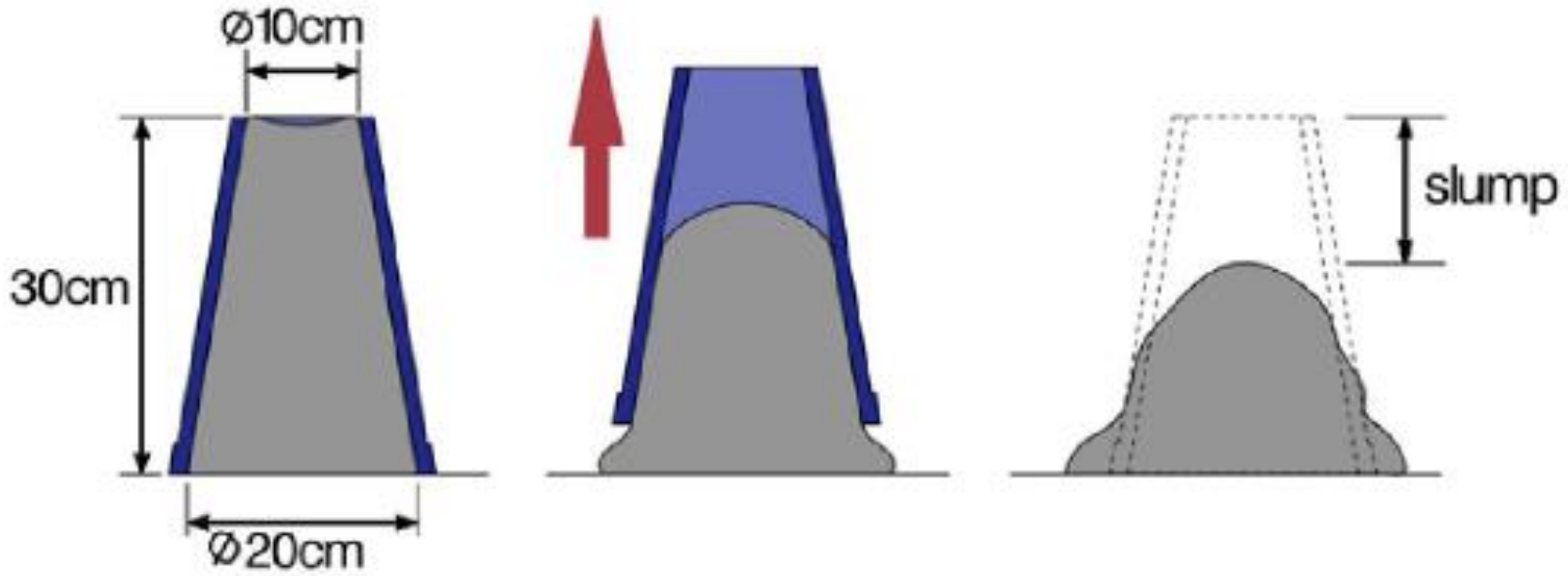
۵) **آب دریا**: موجب افت مقاومت و خوردگی در میلگرد می‌شود. استفاده از آب دریا در بتن توسط هیچ مرجعی توصیه نشده است.

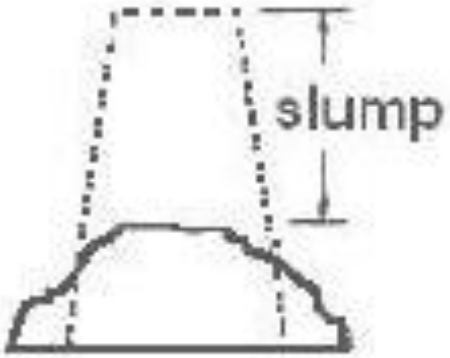


۶) **گل و لای:** به صورت یک لایه‌ی حائل دور سنگ‌دانه‌ها می‌چسبد و مانع می شود که سیمان سنگ‌دانه‌ها را به یکدیگر بچسباند. راه‌حل این مشکل استفاده از حوضچه آرامش برای ۲۴ ساعت است.

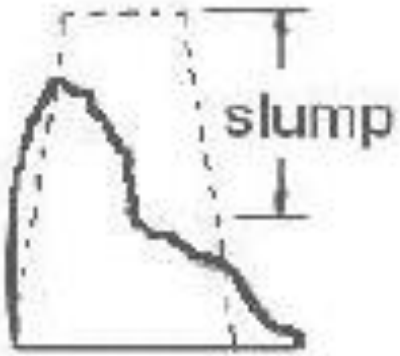
۷) **چربی‌ها (معدنی، حیوانی و گیاهی):** ایجاد پوشش در سطح سنگ‌دانه‌ها و جلوگیری از چسبیدن سنگ‌دانه‌ها به سیمان

۸) **خزه‌ها و جلبک‌ها:** از چسبیدن سنگ‌دانه‌ها به سیمان جلوگیری می‌کند. همچنین پس از پوسیده شدن در بتن فضای خالی ایجاد می‌شود.

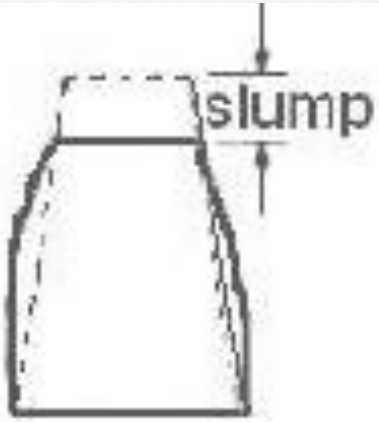

Ø10cm
30cm
Ø20cm
slump



Collapse



Shear



True slump

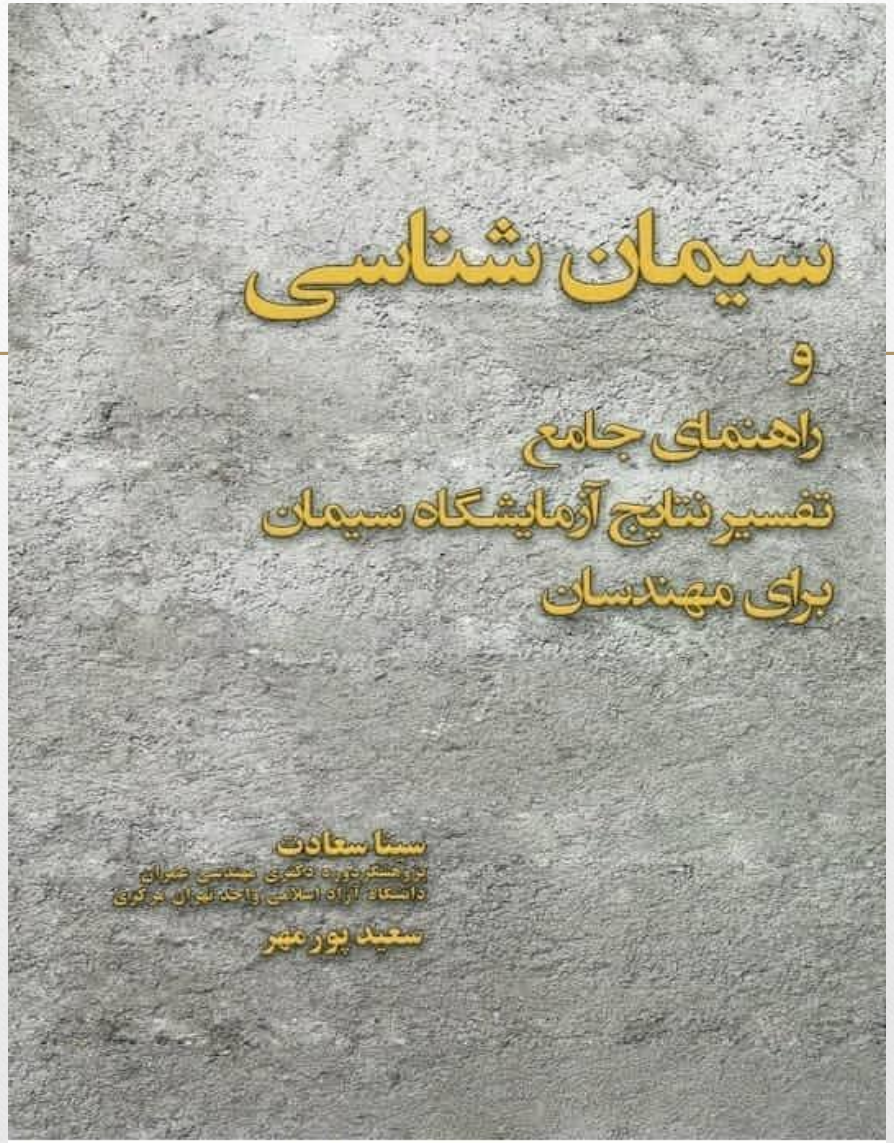
Types of slump

جدول ۹ـ۶ـ۸ـ تأثیر نوع سیمان و سن بتن بر روی مقاومت فشاری نسبی بتن

نوع سیمان	مقاومت فشاری (به صورت نسبی)			
	یک روزه	۷ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه
سیمان نوع I	۰/۳۰	۰/۶۶	۱/۰۰	۱/۲۰
سیمان نوع II	۰/۲۳	۰/۵۶	۰/۹۰	۱/۲۰
سیمان نوع III	۰/۵۷	۰/۷۹	۱/۱۰	۱/۲۰
سیمان نوع IV	۰/۱۷	۰/۴۳	۰/۷۵	۱/۲۰
سیمان نوع V	۰/۲۰	۰/۵۰	۰/۸۵	۱/۲۰

مثال : درصورتیکه مقاومت فشاری نمونه‌ی استوانه‌ای استاندارد که با سیمان تیپ ۱ ساخته شده است، در ۷ روز ۱۵۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع باشد، مقاومت نمونه‌ی ۲۸ روزه‌ی آن چقدر خواهد شد؟

$$\text{مقاومت ۲۸ روزه} = \frac{\text{مقاومت ۷ روزه}}{0.66} = \frac{150}{0.66} = 227.3_{kg/cm^2}$$


سیمان شناسی
و
راهنمای جامع
تفسیر نتایج آزمایشگاه سیمان
برای مهندسان
سینا سعادت
پژوهشگر دوره دکتری مهندسی عمران
دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی
سعید پورمهر