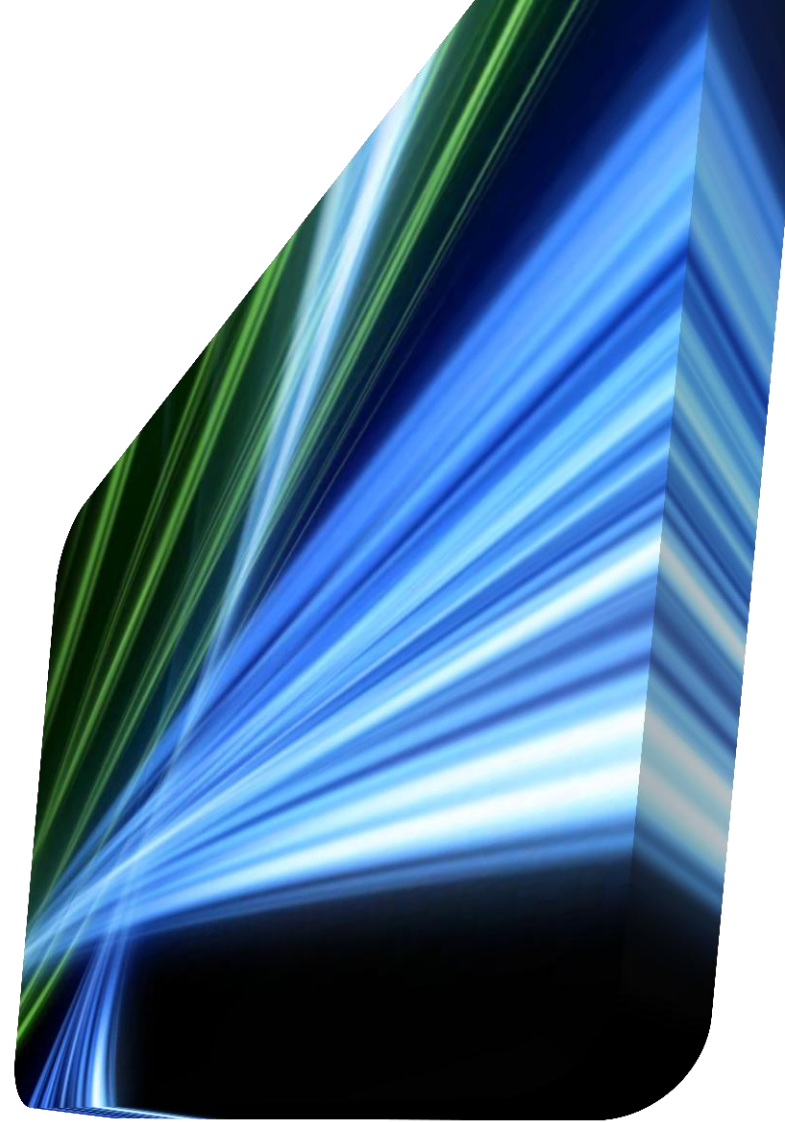




تکنولوژی بتن

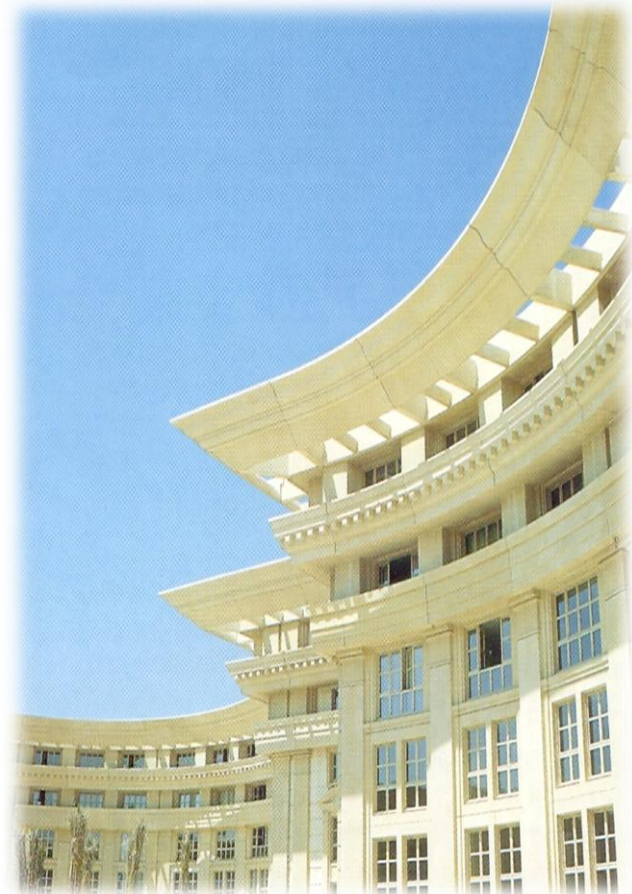
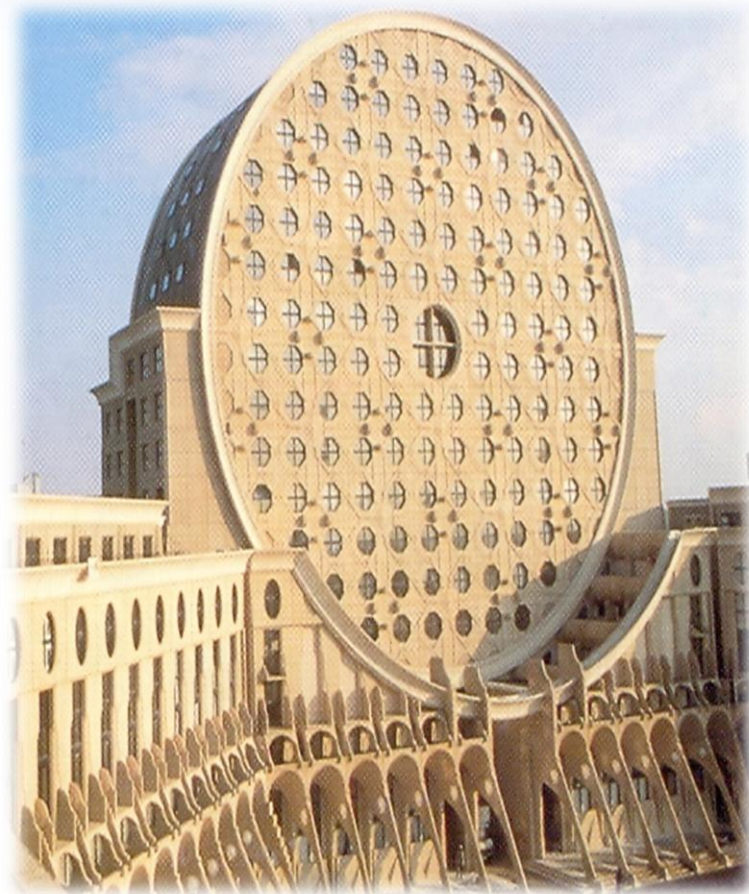
تهیه و تدوین :
پرهام حیاتی
پویا حیاتی



آشنایی با بتن



استفاده از چوب برای ساختن یک سد؛ آهن برای روسازی راه و یا آسفالت برای قاب یک سازه غیرقابل تصور است؛ ولی همه این مواد را می توان با بتن ساخت. حتی در سازه هایی که مصالح اصلی آن بتن نیست برای اجرای بخشی از آن از بتن استفاده
بنابراین شناخت



عکس هایی از سازه های ساخته شده با بتن



مقاومت فشاری ۳ روزه: ۵۵ مگاپاسکال (عمل آوری مرطوب)

مقاومت فشاری ۷ روزه: ۶۵ مگاپاسکال (عمل آوری مرطوب)

مقاومت فشاری ۲۸ روزه: ۹۰ مگاپاسکال (عمل آوری مرطوب)

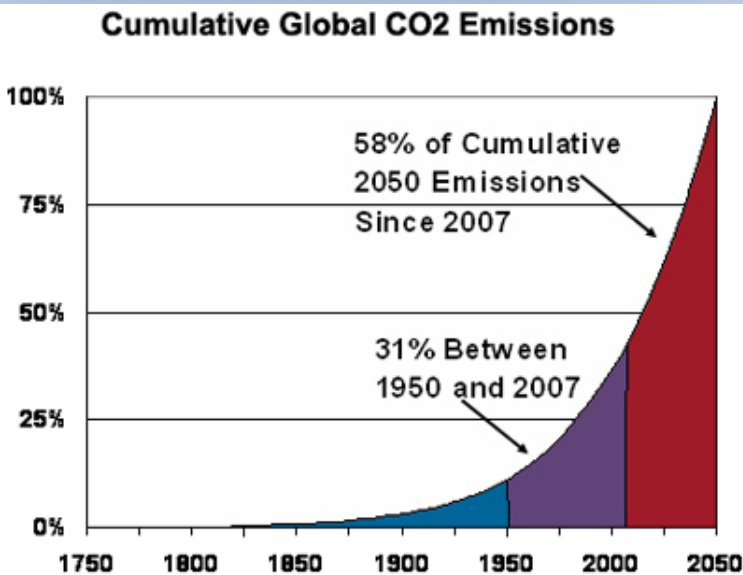
مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه های کارگاهی: متوسط ۹۰ مگاپاسکال

مقاومت خمشی ۲۸ روزه: ۱۲ مگاپاسکال





اثرات زیست محیطی تولید سیمان

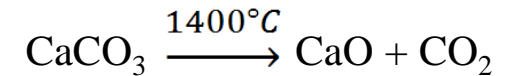


افزایش گازهای گلخانه ای در جهان :

۸ درصد گازهای گلخانه ای حاصل از تولید سیمان است.

تولید سیمان :

سیمان = $(\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3)$ خاک رس + (CaCO_2) سنگ آهک



میزان مصرف بتن - هزینه ها

۴۰ میلیون تن مصرف سیمان

۱۰۰ میلیون مترمکعب بتن ← ۵ میلیارد دلار

۳۸ میلیون تن آلاینده

هر تن سیمان ۱۲۰ لیتر سوخت فسیلی، ۱۱۸ کیلووات ساعت برق ۱۸ دلار هزینه اجتماعی
هر تن گاز کربنیک؛ ۶۱ دلار هزینه ناشی از یارانه سوخت، ۷/۷ میلیارد دلار هزینه تحمیلی به جامعه



مواد تشکیل دهنده بتن :

(۱) پرکننده (دانه های سنگی) $۶۰\% - ۷۵\%$

(۱-۱) درشت $۳۰\% - ۵۰\%$

(۱-۲) ریز $۲۵\% - ۳۰\%$

(۲) چسباننده (ماتریس یا خمیر سیمان پرتلند) $۲۵\% - ۴۰\%$

(۱-۲) سیمان $۷\% - ۱۵\%$

(۲-۲) آب $۱۴\% - ۲۱\%$

(۳-۲) هوا

(۳-۳-۱) بتن بدون هوا $۰/۵\% - ۳\%$

(۳-۳-۲) 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.



سیمان

- به هر ماده چسبنده ای سیمان اطلاق می شود. لکن به ماده چسباننده مصالح سنگی در بتن، سیمان هیدرولیکی و اصطلاحاً سیمان گویند.

تاریخچه سیمان پرتلند

- سال ۱۸۲۴ جوزف اسپرین سیمان را درست کرد .
- پرتلند از جزایر انگلستان می باشد .
- در قدیم سیمان از اختلاط سنگ آهک و خاک رس و حرارت دادن آن و سپس اضافه کردن آب به دست می آمد.
- ۲۰ سال پس از تولید سیمان قدیم سیمان امروزی ساخته شد.
- مهمترین تغییر در تولید سیمان حدود ۱۲۰ سال پیش بوده است که کوره دوار اختراع شد. (باعث افزایش تولید و کاهش قیمت آن گردید)

مواد اولیه سیمان

مواد اولیه سیمان عمدتاً از خاک رس و آهک (یا گلاهدک) تشکیل می شود.

Oxide and Compound Compositions of a Typical Portland Cement of the 1960s^{1,5}

Typical oxide composition per cent		Hence, calculated compound composition (using formulae of p. 9), per cent	
CaO	63	C ₃ A	10.8
SiO ₂	20	C ₃ S	54.1
Al ₂ O ₃	6	C ₂ S	16.6
Fe ₂ O ₃	3	C ₄ AF	9.1
MgO	1½	Minor compounds	—
SO ₃	2		
K ₂ O	1		
Na ₂ O			
Others	1		
Loss on ignition	2		
Insoluble residue	½		

حدود ۶۳٪	CaO	آهک
حدود ۲۰٪	SiO ₂	سیلیس
حدود ۶٪	Al ₂ O ₃	آلومین
حدود ۳٪	Fe ₂ O ₃	اکسید آهن
حدود ۱/۵٪	MgO	اکسید منیزیم

در خاک رس وجود دارد



سیمان به سه روش ساخته می شود.

(۱) روش تر

- مخلوط مواد اولیه با آب
- آسیاب کردن به منظور تولید دوغاب یکنواخت
- خشک نمودن دوغاب (هزینه زیاد و وقت گیر)

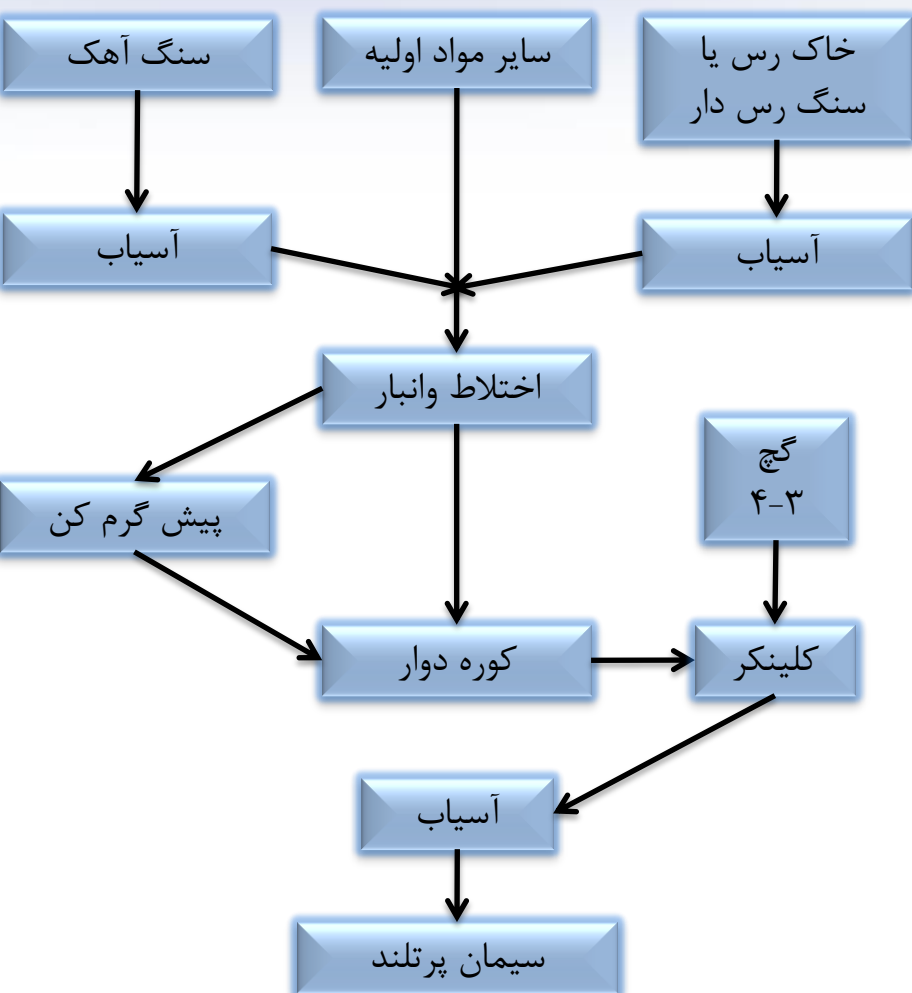
(۲) روش خشک

- آسیاب مواد اولیه به صورت خشک
- اختلاط
- حرارت با تزریق مقداری آب (جهت تبدیل مواد به گرانول - پودر زبر -)

(۳) روش نیمه خشک

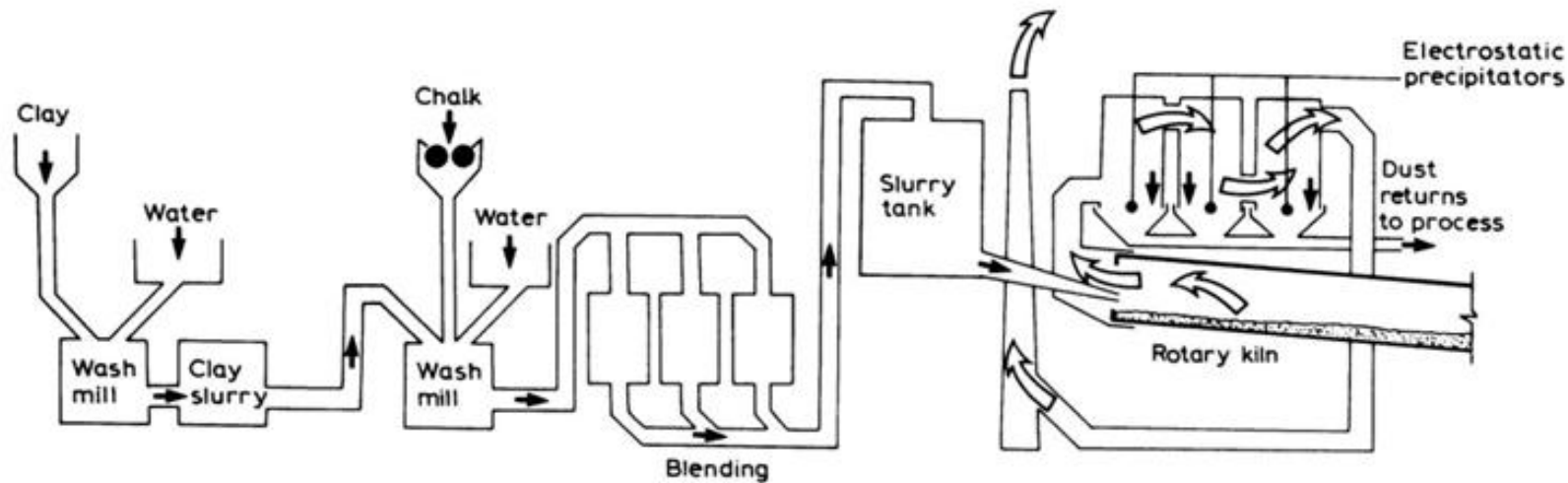
تزریق آب بیشتر از روش خشک (گندله - خمیری)

نکته: در تمام روش ها کلینکر حاصل را با ۲ الی ۳ درصد سنگ گچ آسیاب می کنند تا از گیرش سریع سیمان در مرحله اولیه ساخت بتن جلوگیری شود.



فرآیند ساخت سیمان به روش تر

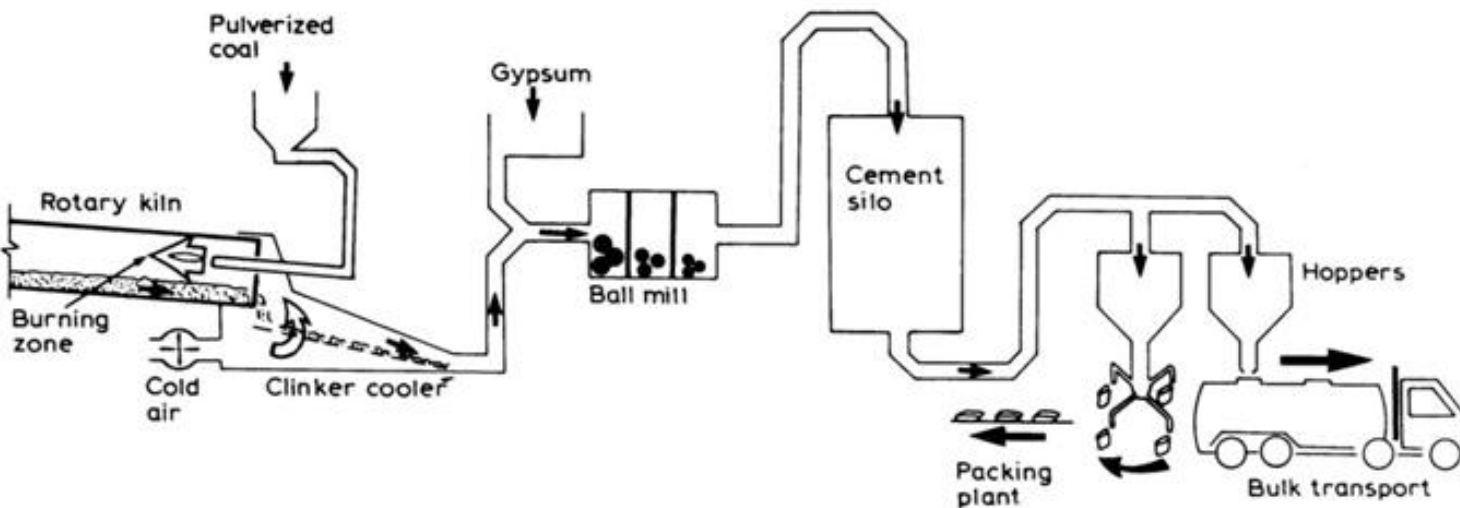
تکنولوژی بتن



آهک و خاک رس

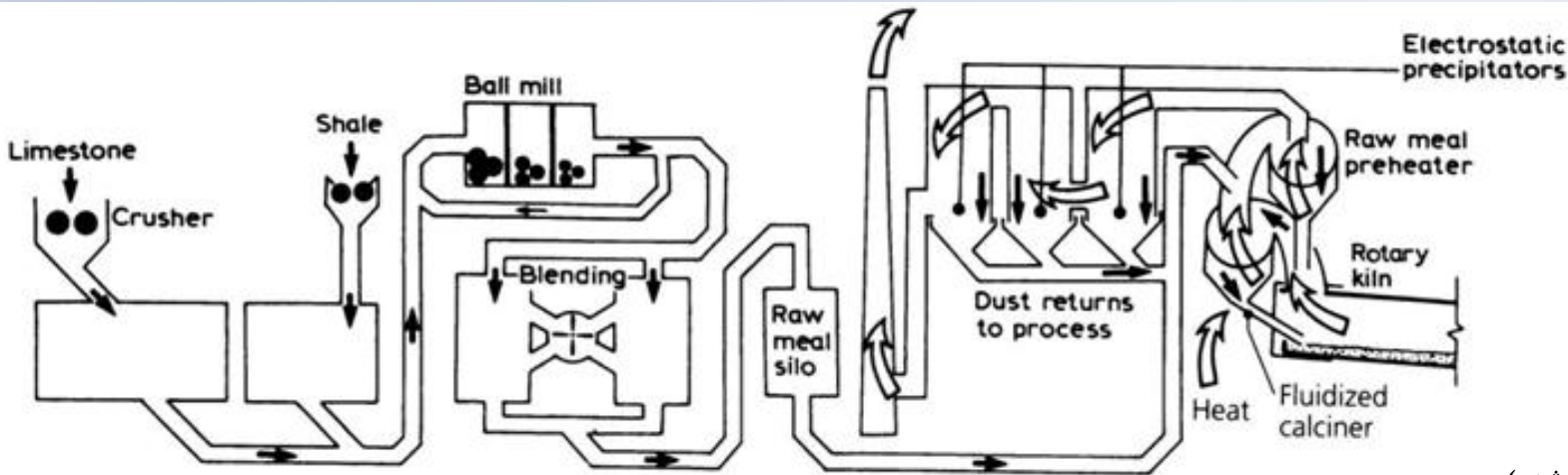
٪ ۵۰ وزنی آب

حرارت: ۱۱۰۰ - ۱۲۰۰



فرآیند ساخت سیمان به روش خشک

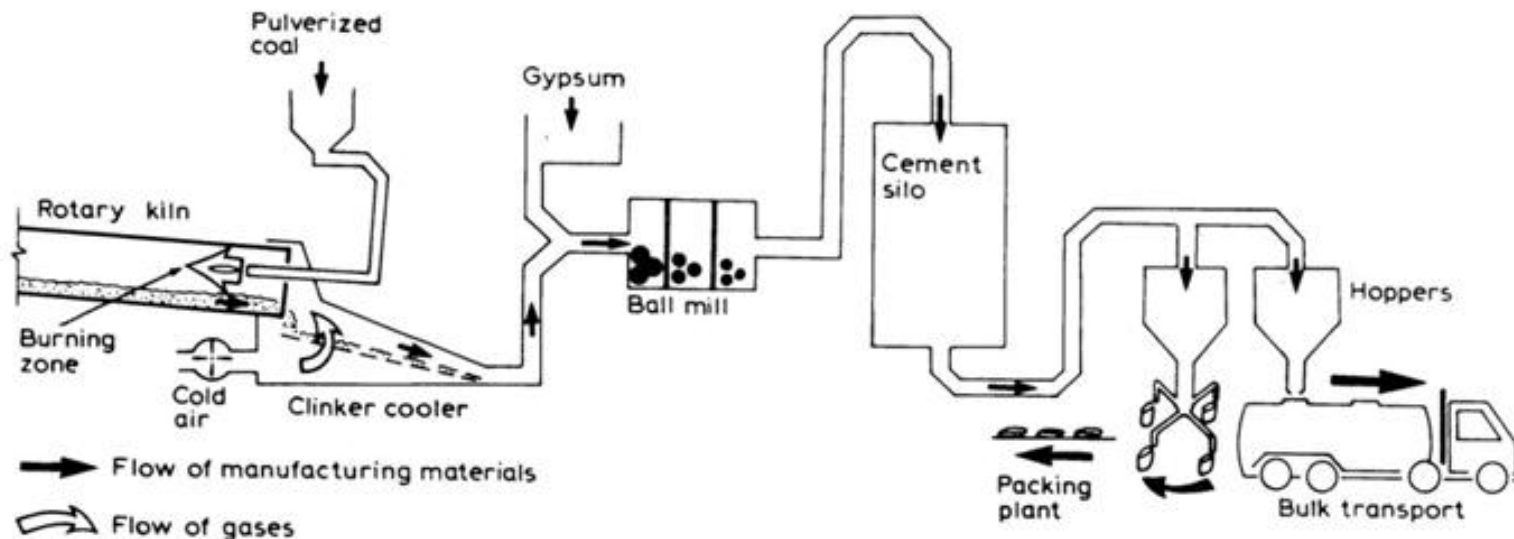
تکنولوژی بتن



آهک و خاک رس (پودر شده)

۱۲٪ وزنی آب

حرارت: ۱۱۰۰ - ۱۲۰۰





(۱) اصلی: ۷۵٪ خواص مرتبط با چسبندگی، ثبات و مقاومت و....

(۱-۱) تری کلسیم سیلیکات C_3S

حدود ۵۰ درصد

تولید ژل سیمانی با حرارت زیاد

کاهش مقاومت در برابر حمله سولفات ها

(۲-۱) دی کلسیم سیلیکات C_2S

حدود ۲۵ درصد

تولید ژل سیمانی

هیدراسیون سریع

کسب مقاومت سریع

هیدراسیون آهسته تر نسبت به C_3S

کسب مقاومت دیررس

(۲) فرعی: ۲۰٪

(۱-۲) تری کلسیم آلومینات C_3A

تولید خود به خود در کوره

تولید حرارت زیاد

تولید ماده اترینگایت در مجاور عوامل سولفاتی: مقاومت کمتر از ژل سیمانی / کمی موثر در مقاومت اولیه / بی دوام در برابر سولفات ها

(۲-۲) تترا کلسیم آلومینات فریت C_4AF

گیرش متوسط

کاتالیزور حرارتی و موثر در دمای نهایی پخت کوره

(۳) گچ و ناخالصی: ۵٪



انواع سیمان ها

آنالیز شیمیایی سیمانهای پرتلند

Cement Type	Type I	Type II	Type V	pozolani
Loss	1.24 +/-0.1	1.05 +/-0.1	1.00 +/-0.1	2.00 +/-0.2
Sio ₂	21.68 +/-0.4	22.5 +/-0.4	22.6 +/-0.4	21.47 +/-0.5
Al ₂ O ₃	5.9 +/-0.3	4.9 +/-0.3	4.4 +/-0.3	5.4 +/-0.5
Fe ₂ O ₃	3.2 +/-0.3	3.6 +/-0.3	4.4 +/-0.3	2.7 +/-0.3
Cao	63.5 +/-0.5	63.2 +/-0.5	63.1 +/-0.5	57.2 +/-0.5
Mgo	1.8 +/-0.2	1.8 +/-0.2	1.7 +/-0.2	2.3 +/-0.2
So ₃	1.7 +/-0.3	1.5 +/-0.3	1.5 +/-0.3	3.5 +/-0.3
Na ₂ O	0.2 +/-0.1	0.2 +/-0.1	0.2 +/-0.1	0.28 +/-0.2
K ₂ O	0.7 +/-0.2	0.6 +/-0.1	0.5 +/-0.1	0.8 +/-0.2
Insol	0.5 +/-0.1	0.4 +/-0.1	0.4 +/-0.1	4.5 +/-1.00

۱) سیمان تیپ یک (I)

- در جاهایی به کار می رود که حمله سولفات وجود نداشته باشد.
- در انواع ۱-۳۲۵ و ۱-۴۲۵ و ۱-۵۲۵ وجود دارد.

موارد مصرف :

- ✓ سیمان پرتلند نوع ۱ (کلاس ۳۲۵ - ۱) یا سیمان معمولی در مصارف عمومی و مواردی که هیچگونه خواص ویژه مانند سایر انواع سیمان مورد نظر نیست بکار می رود.
- ✓ سیمان پرتلند نوع ۱ (کلاس ۴۲۵ - ۱) در مواردی که مقاومت های فشاری بالاتر و فونداسیون های قویتر مورد نظر باشد استفاده می شود.

۲) سیمان تیپ دو (II)

محدود کردن درصد C₃A به ۸

موارد مصرف :

- کاهش حرارت هیدراتاسیون و مقاومت متوسط در برابر حمله سولفات ها
- در هوای گرم و کارهای معمولی

مشخصات شیمیایی ، فیزیکی و مکانیکی سیمان های نوع ۱ کلاس ۳۲۵-۱ و ۴۲۵-۱

مشخصات شیمیایی ، فیزیکی و مکانیکی سیمانهای نوع ۱ کلاس ۳۲۵-۱

کارخانه ها PLANTS	CHEMICAL ANALYSIS ترکیب شیمیایی																PHY , MECH SP خصوصیات فیزیکی ، مکانیکی					
	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	K2O	Na2O	Cl	IR	LOI	C3S	C2S	C3A	C4AF	F CaO	فشار EXPAND	زمان گیرش SET TIME	بلین BLAINE	COMP-STR مقاومت های فشاری		
																				3	7	28
لوشان LOSHAN	20.18	5.9	2.94	63.8	1.4	2.8				0.45	1	57	15	10.7	8.9	2.1		85-150	3288	180	250	344
خاش KHASH	22.06	5.78	3.42	63.74	2.28	0.77	0.64	0.5	0.016	0.5	0.43	46.5	32	9.5	10.4	1.08	0.07	85-120	3070	182	290	374
اکباتان EKBATAN	22.32	5.54	3.78	62.68	1.22	2.89				0.41	0.68	35	38	8	11.5	1.82	0.11	120-165	2938	192	236	389
خزر KHAZAR	21.06	5.78	3.04	60.84	1.95	3	0.76	0.34		0.45	3	35.6	33.5	10.12	9.24	0.46	0.09	130-220	3104	210	281	391
کردستان KORDESTAN	21.33	5.7	3.28	64.78	1.36	1.68	0.65	0.3		0.49	0.85	54	21	9.5	10	0.8	0.16	155-200	2900	144	271	430
ارومیه URUMIEH	22.53	5.41	2.8	64.77	1.81	2.15	0.84	0.32		0.63	0.85	46	30	9.6	8.52	0.76	0.07	130-265	3031	217	288	376
یاسوج YASUG	21.5	5.3	3.3	64.32	2.2	1.65	0.38	0.23		0.34	0.82	52	22	10.5	10	1.5	0.18	120-225	3100	207	237	342
استانداردها STANDARDS					≤ 5	≤ 3				≤ 0.75	≤ 3						≤ 0.8	45-360	≥ 2800	≥ 120	≥ 200	≥ 325 < 525

مشخصات شیمیایی ، فیزیکی و مکانیکی سیمانهای نوع ۱ کلاس ۴۲۵-۱

کارخانه ها PLANTS	CHEMICAL ANALYSIS ترکیب شیمیایی																PHY , MECH SP خصوصیات فیزیکی ، مکانیکی					
	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	K2O	Na2O	Cl	IR	LOI	C3S	C2S	C3A	C4AF	F CaO	فشار EXPAND	زمان گیرش SET TIME	بلین BLAINE	COMP-STR مقاومت های فشاری		
																				2	7	28
اصفهان ESFAHAN	22.18	5.76	3.04	63.4	2.12	2.18	0.5	0.22		0.4	0.9	46.9	28	8.54	9.25	0.78	0.2	85-130	3415	125	289	479
ایلام ILAM	21.36	5.65	2.75	64.27	2.42	1.98	0.65	0.21		0.25	0.56	51.7	22	10	8.36	1.32	0.06	130-180	3000	195		563
سپاهان SEPAHAN	23.3	6.36	3.2	61.44	2.5	2	0.68	0.28		0.34	0.56					0.7	0.09	145-195	3100	144	344	481
بجنورد BOJNOURD	21.3	5.02	3.96	63.87	2.3	2.1	0.77	0.32		0.23	0.47	52.8	21.3	6.6	12.05	1.1	0.05	150-190	3200	214	363	452
سفید بنوید WHITE BENVID	22.65	5.2	3.2	64.95	0.8	1.65	0.55	0.58		0.4	0.3	48	29	8	10	0.6	0.15	100-170	3000	150	280	500
استانداردها STANDARDS					≤ 5	≤ 3				≤ 0.75	≤ 3						≤ 0.8	45-360	≥ 2800	≥ 100		≥ 425 < 625

مشخصات شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی سیمان های نوع ۲

مشخصات شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی سیمانهای نوع ۲ برتلند

کارخانه ها PLANTS	CHEMICAL ANALYSIS ترکیب شیمیایی																PHY , MECH SP خصوصیات فیزیکی، مکانیکی					
	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	K2O	Na2O	Cl	IR	LOI	C3S	C2S	C3A	C4AF	F CaO	انقباض EXPAN	زمان گیرش SET TIME	بلین BLAINE	مقاومت های فشاری COMP - STR		
																				3	7	28
تهران TEHRAN	22.42	4.68	3.68	63.25	3.63	1.74	0.75	0.25		0.46	0.45	45.4	30.1	6.2	11.2	1.2	0.03	190-240	3125	156	241	413
غرب GHARB	21.73	4.63	4.02	63.22	2.32	1.72	0.29	0.15		0.49	0.8	44.96	28.33	5.28	12.6	1.52	0.04	112-281	3082	271	363	478
اصفهان BEHBAHAN	21.76	5.2	4.6	62.6	2.42	1.53	0.74	0.3		0.35	0.8	43	30	6	14	1.25	0.28	180-235	3450	223	325	391
اصفهان ESTAHBAN	21.72	4.55	2.37	62	2.29	2.21	0.51	0.2	0.005	0.51	2.31	50	24	6.25	10	1	0.2	120-200	2820	210	282	376
شمال SHOMAL	22.68	4.7	3.42	64.4	1.5	1.7	0.96	0.28		0.57	0.36	53	25	6.7	10.4	0.45	0.14	170-190	2800	188	260	380
شرق SHARGH	22.01	4.68	3.45	63.3	2.5	1.87	0.44	0.21	0.005	0.17	1.34	48.5	26.5	6.5	10.5	0.28	0.03	135-180	3007	240	330	434
صوفیان SOOFIAN	21.71	4.72	3.6	64.26	2.07	1.61	0.9	0.3		0.65	1.89	48.54	25.6	6.4	10.9	1.63	0.44	137-300	3068	165	250	354
شاهرود SHAHROOD	21.12	4.3	3.75	64.4	1.6	2.25	0.58	0.38		0.6	2.12	60.9	14.5	5	11.4	1	0.05	130-210	3082	205	295	368
هگمتان HEGMATAN	21.79	4.83	3.83	63.5	1.6	2.23	0.61	0.45	0.017	0.43	1.13	48.5	26	6.3	11.7	0.8	0.01	185-250	3190	188	289	418
هرمزگان HORMOZGAN	21.46	4.63	3.99	64.8	1.44	1.68	0.69	0.4		0.32	0.84	59	17	5.5	12	1.25	0.1	160-310	2930	212	290	395
دراب DARAB	21.86	3.71	3.7	63.95	2.16	1.93	0.57	0.26		0.44	2.04	58.5	18.5	3.57	11.26	0.84	0.07	155-250	3043	254	339	420
آباد ABADEH	22.2	5.39	4.31	61.8	2.56	1.74	0.69	0.42		0.59	0.97	35.5	36.7	6.9	13.11	1.65	0.16	120-195	3110	120	200	345
کرمان KERMAN	22.11	5.14	3.79	61.98	2	2.08			0.03	0.6	1.22	38.5	34	7.2	11.5	1.81	0.1	170-195	2875	216	324	442
دورود DOROOD	22.3	5.02	3.68	61.7	2.27	1.72	0.6	0.4		0.5	2.28	37.5	35.5	7	11	1.04	0.01	165-200	2850	157	253	347
اصفهان ESFAHAN	23.5	4.08	3.4	63.5	2.01	1.29	0.48	0.19		0.33	0.83	43.7	34.3	5.06	10.4	1.07	0.33	175-240	2815	104	212	431
فارس FARS	20.59	4.8	3.44	62.55	2.43	2.48	0.61	0.32		0.61	1.99	53.8	18.3	6.9	10.5	0.81	0.1	150-220	2935	258	317	429
مازندران MAZANDARAN	21.09	4.86	3.4	64.7	0.96	2.85	0.52	0.24		0.68	2.4	57	17	7.19	10	2	0.07	150-210	3022	257	360	434
بوشهر BOOSHEHR	21.3	5.25	3.87	63.7	2.97	1.5	0.72	0.41		0.52	0.51	52	21	7	12	0.9	0.1	115-160	2917	197	283	408
آبیک ABYEK	21.31	4.61	3.6	63.2	2.4	1.97	0.6			0.43	2.05	58	17.5	5.9	11.04	0.98	0.2	160-215	3007	211	308	427
استاندارد STANDARDS	≥ 20	≤ 6	≤ 6		≤ 5	≤ 3				≤ 0.75	≤ 3			≤ 8			≤ 0.8	45-360	≥ 2800	≥ 100	≥ 175	≥ 315



انواع سیمان ها

Table 1.4 Influence of Change in Oxide Composition on the Compound Composition^{1.5}

	Percentage in Cement No.		
	(1)	(2)	(3)
<i>Oxide</i>			
CaO	66.0	63.0	66.0
SiO ₂	20.0	22.0	20.0
Al ₂ O ₃	7.0	7.7	5.5
Fe ₂ O ₃	3.0	3.3	4.5
Others	4.0	4.0	4.0
<i>Compound</i>			
C ₃ S	65	33	73
C ₂ S	8	38	2
C ₃ A	14	15	7
C ₄ AF	9	10	14

(۳) سیمان تیپ سه (III)

درصد C₃S و C₃A بیشتر و استفاده از سیمان نرم تر و در نتیجه مقاومت زودرس موارد مصرف :

- در هوای سرد (حدود ۴°C) تذکر : در دمای زیر صفر درجه کاربرد این سیمان به تنهایی کفایت نمی کند.
- طول دوره مراقبت کمتر در نتیجه هزینه های کمتر مراقبت از بتن در هوای سرد
- تعمیرات فوری
- بالا بردن سرعت اجرای پروژه
- محدودیت امکانات (مانند قالب)

(۴) سیمان تیپ چهار (IV)

کم کردن درصد C₃S و C₃A و افزایش درصد C₂S و در نتیجه سیمان با حرارت کم با هیدراتاسیون آهسته موارد مصرف :

اتصال سرد: اتصال ضعیف بین لایه های بتن قدیم و جدید

بتن حجیم : بتنی را گویند که طول و عرض و ارتفاع آن زیاد باشد.

نکته: برای جبران تنش حرارتی در بتن می توان از آرماتورهای حرارتی استفاده نمود.

- در هوای گرم و در دمای بالای ۴۰°C الی ۵۰°C
- جلوگیری از اتصال سرد در هوای گرم
- در بتن ریزی های حجیم به منظور کاهش تنش های حرارتی



۵) سیمان تیپ پنج (V)

درصد C_3A و C_3S به حداقل می رسد.
روند کسب مقاومت کمتر از سیمان تیپ ۱
موارد مصرف :

- کاربرد در بتن ریزی های حجیم
- مواردی که مقاومت شیمیایی بالا در مقابل سولفات نیاز باشد.

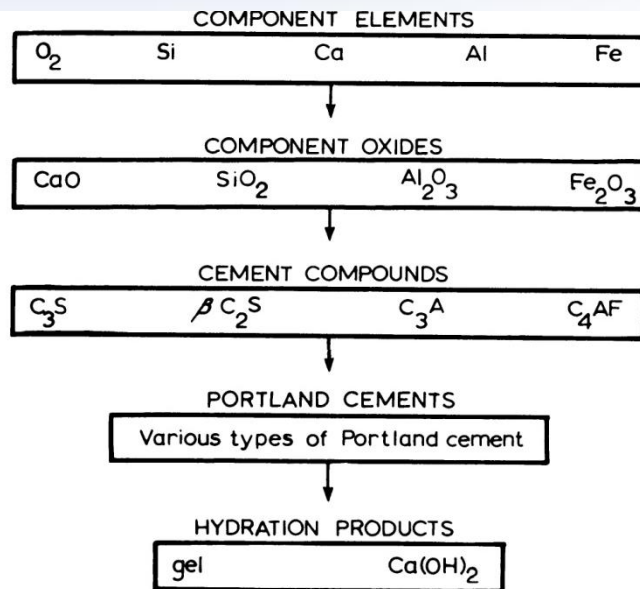


Fig. 1.2 Schematic representation of the formation and hydration of Portland cement

روش پیشنهادی Bogue برای محاسبه مقدار تقریبی ترکیبات سیمان

$$\begin{aligned}
 C_3S &= 4.07(CaO) - 7.60(SiO_2) - 6.72(Al_2O_3) - 1.43(Fe_2O_3) - 2.85(SO_3) \\
 C_2S &= 2.87(SiO_2) - 0.75(3CaO.SiO_2) \\
 C_3A &= 2.65(Al_2O_3) - 1.69(Fe_2O_3) \\
 C_4AF &= 3.04(Fe_2O_3).
 \end{aligned}$$

۶) سیمان تیپ I - A

همان سیمان تیپ یک می باشد با خاصیت هوازائی

۷) سیمان تیپ II - A

همان سیمان تیپ دو می باشد با خاصیت هوازائی

۸) سیمان تیپ III - A

همان سیمان تیپ سه می باشد با خاصیت هوازائی



مشخصات شیمیایی ، فیزیکی و مکانیکی سیمان های نوع ۵

مشخصات شیمیایی ، فیزیکی و مکانیکی سیمانهای نوع ۵ پرتلند

کارخانه ها PLANTS	CHEMICAL ANALYSIS ترکیب شیمیایی																PHY , MECH SP خصوصیات فیزیکی ، مکانیکی					
	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	K2O	Na2O	Cl	IR	LOI	C3S	C2S	C3A	C4AF	F CaO	انبساط EXPAN	زمان گیرش SET TIME	بلین BLAINE	مقاومت های فشاری COMP - STR		
																				3	7	28
تهران TEHRAN	22.87	4.48	4.22	61.57	4.02	1.92	0.72	0.25		0.42	0.78	34.7	39.4	4.8	12.8	0.46	0.69	175-255	2850	145	204	400
بهبهان BEHBAHAN	21.9	4.76	5.04	61.8	2.29	1.8	0.75	0.44		0.4	0.89	41	32	4.09	15.34	1.05	0.17	130-225	3280	197	204	400
خوزستان KHOZESTAN	21.37	4.01	4.6	63.73	2	2	0.64	0.25		0.46	1.4	58	16	2.8	14	1.29	0.09	125-170	2850	195	288	360
قن GHAN	22.49	4.25	4.62	64.3	1.29	1.61	0.49	0.22		0.53	0.58	51.3	26	3.5	14.1	1	0.05	95-165	2817	179	229	508
شرقی SHARGH	21.56	4.59	4.39	64	2.42	1.81	0.39	0.21		0.22	0.43	54	20.8	4.79	13.27	0.39	0.1	140-180	2823	180	254	420
شاهرود SHAHROOD	21.12	4.17	3.75	64.5	1.54	2.5	0.52	0.34		0.55	2.23	61.6	14	4.71	11.4	1.18	0.03	120-175	3265	253	345	386
کرمان KERMAN	22.2	4.5	4.39	63.3	1.7	2.03			0.02		1.15	46.5	28.5	4.5	13.4	1.47	0.05	130-155	2930	252	342	440
اصفهان ESFAHAN	22.7	3.91	4.92	62.42	2.05	1.69	0.53	0.21		0.36	1.12	43.5	32	2.04	14.9	0.96	0.09	165-240	2803	102	175	364
سپاهان (سرباره ضد سولفات) SEPAHAN	26.3	8.3	2.1	55.8	4.2	1.8	0.76	0.03		0.2	0.4					1	0.08	175-240	3300	150	240	380
کارون KAROON	20.88	3.97	3.91	63.55	3.91	2.19	0.68	0.23		0.32	0.67	61	14	3.9	11.8	0.82	0.05	130-175	3230	293	350	433
استانداردها STANDARDS																						
سرباره ای ضد سولفات					≤ 5	≤ 3				≤ 1	≤ 3						≤ 0.5	45-420	≥ 2800	≥ 100	≥ 180	≥ 300
نوع 5					≤ 5	≤ 2.3				≤ 0.75	≤ 3					≤ 5	≤ 0.8	45-360	≥ 2800	≥ 100	≥ 180	≥ 270

درصد ترکیبات شیمیایی موجود در سیمان ها



Table 2.3 Typical Values of Compound Composition of Portland Cements of Different Types^{2,34}

Cement	Value	Compound composition, per cent								Number of samples
		C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄	Free CaO	MgO	Ignition Loss	
Type I	Max.	67	31	14	12	3.4	1.5	3.8	2.3	21
	Min.	42	8	5	6	2.6	0.0	0.7	0.6	
	Mean	49	25	12	8	2.9	0.8	2.4	1.2	
Type II	Max.	55	39	8	16	3.4	1.8	4.4	2.0	28
	Min.	37	19	4	6	2.1	0.1	1.5	0.5	
	Mean	46	29	6	12	2.8	0.6	3.0	1.0	
Type III	Max.	70	38	17	10	4.6	4.2	4.8	2.7	5
	Min.	34	0	7	6	2.2	0.1	1.0	1.1	
	Mean	56	15	12	8	3.9	1.3	2.6	1.9	
Type IV	Max.	44	57	7	18	3.5	0.9	4.1	1.9	16
	Min.	21	34	3	6	2.6	0.0	1.0	0.6	
	Mean	30	46	5	13	2.9	0.3	2.7	1.0	
Type V	Max.	54	49	5	15	3.9	0.6	2.3	1.2	22
	Min.	35	24	1	6	2.4	0.1	0.7	0.8	
	Mean	43	36	4	12	2.7	0.4	1.6	1.0	

Table 1.9 Compound Composition Limits for Cements of ASTM C 150-94

Compound	Cement Type				
	I	II	III	IV	V
C ₃ S maximum				35	
C ₂ S minimum				40	
C ₃ A maximum		8	15	7	5
C ₄ AF + 2(C ₃ A) maximum					25

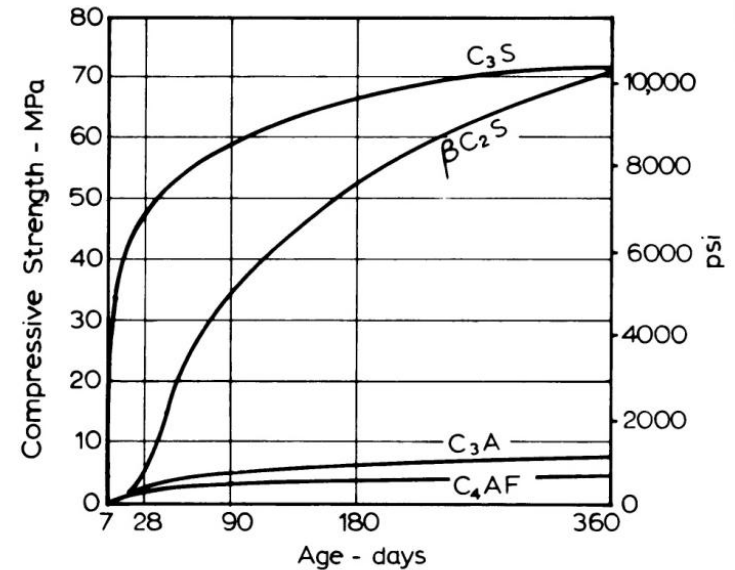


Fig. 1.18 Development of strength of pure compounds according to Bogue^{1,2}

ویژگی های فیزیکی انواع سیمان پرتلند مطابق استاندارد ۳۸۹ ایران

نوع سیمان پرتلند							ویژگیها
۵	۴	۳	۲	۵۲۵-۱	۴۲۵-۱	۳۲۵-۱	
۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	سطح مخصوص ، سانتیمتر مربع بر گرم ، حداقل
۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	انبساط اتوکلاو ، درصد ، حداکثر
۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	اولیه به دقیقه ، حداقل
۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	زمان گیرش با سوزن ویکا نهایی به ساعت ، حداکثر
-	-	۱۲۵	-	-	-	-	۱ روزه ، حداقل
-	-	-	-	۲۰۰	۱۰۰	-	۲ روزه ، حداقل
۸۵	-	۲۴۰	۱۰۰	-	-	۱۲۰	۳ روزه ، حداقل
۱۵۰	۷۰	-	۱۷۵	-	-	۲۰۰	۷ روزه ، حداقل
۲۷۰	۱۸۰	-	۳۱۵	۵۲۵	۴۲۵	۳۲۵	۲۸ روزه ، حداقل
-	-	-	-	-	۶۲۵	۵۲۵	۲۸ روزه ، حداکثر
-	۶۰	-	۷۰	-	-	-	۷ روزه ، حداکثر
-	۷۰	-	-	-	-	-	۲۸ روزه ، حداکثر
۰/۰۴	-	-	-	-	-	-	انبساط سولفات ، ۱۴ روزه ، حداکثر ، درصد



انواع سیمان ها : سیمان پرتلند پوزولانی (Pozzolanec Portland Cement)

- پوزولان ها مواد سیلیسی یا سیلیس آلومیناتی هستند که خود قابلیت چسبندگی ندارند اما به صورت پودر در کنار رطوبت با آهک ترکیب شده و ترکیبات سیلیکات کلسیم که خاصیت چسبندگی دارند به وجود می آورند.

سیمان پرتلند پوزولانی (پ پ) : این سیمان از مخلوط کردن ۱۵٪ الی ۴۰ درصد پوزولان با کلینکر سیمان معمولی و آسیاب آن بدست می آید.
مزایا و معایب :

حذف سفیدک های ظاهر شده در سطح بتن	کاهش نفوذ پذیری
عدم استفاده در زمستان	مقابله با حمله سولفات ها
روند کسب مقاومت آهسته	کاربرد در بتن ریزی های حجیم به دلیل پایین بودن حرارت هیدراتاسیون

انواع مواد پوزولانی :

(۱) طبیعی : خاکسترهای آتشفشانی به صورت پوکه

(۱-۱) معمولی : ۵ تا ۱۵ درصد وزنی پوزولان و برای مصارف عمومی در ساخت ملات یا بتن کاربرد دارد .

(۱-۲) ویژه : ۱۵ تا ۴۰ درصد وزنی پوزولان و برای ساخت بتن های حجیم و شرایط تهاجم شیمیایی کاربرد دارد .

(۲) مصنوعی:

- خاکستر بادی ناشی از سوختن ذغال سنگ در کوره های نیروگاه برق

- دوده سیلیسی ناشی از جرقه ای الکتریکی در انباشته ای از ذغال سنگ سیلیس توسط برق فشار قوی

مشخصات شیمیایی ، فیزیکی و مکانیکی سیمان های پرتلند پوزولانی

مشخصات شیمیایی ، فیزیکی و مکانیکی سیمانهای پرتلند - پوزولانی (پ پ) و پرتلند پوزولانی ویژه (پ پ و)

کارخانه ها PLANTS	CHEMICAL ANALYSIS ترکیب شیمیایی												PHY , MECH SP خصوصیات فیزیکی ، مکانیکی					
	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	K2O	Na2O	Cl	IR	LOI	F CaO	قبضات EXPAN	زمان گیرش SET TIME	بلین BLAINE	مقاومت های فشاری COMP - STR		
																3	7	28
کرمان (پ پ) KERMAN	25.62	7.88	4.04	56.39	1.7	2.33			0.02		1.2	1.29	0.1	195-205	3159	194	272	398
شرقی (پ پ) SHARGH	21.15	4.52	3.75	57.57	2.47	2.04	0.51	0.26	0.05	5.74	2.59	0.62	0.01	160-195	3056	240	330	406
شمال (پ پ) SHOMAL	25.9	5.05	3.45	60.34	1.62	1.7	0.92	0.24		4	0.92	0.67	0.09	190-210	3120	198	245	388
تهران (پ پ) TEHRAN	27.57	5.17	4.45	59.58	3.29	2.25	0.36	0.3		0.45	0.96	0.96	0.08	160-210	3218	153	259	419
ارومیه (پ پ) URUMIEH	26.91	5.02	2.38	59.44	1.81	2.08	0.79	0.3	0.006	6.65	1.5	0.8	0.07	100-170	3180	224	304	385
ایک (پ پ) ABYEK	26.89	6.09	3.59	56.65	2.31	2.13	0.92				1.25	0.81	0.08	160-220	3377	219	318	430
خزر (پ پ) KHAZAR	26.6	5.46	3.04	57.58	1.25	1.66	0.8	0.4			2.58	0.46	0.01	110-190	3230	187	278	420
غرب (پ پ) GHARB	25.51	5.08	3.8	59.04	2.27	1.72	0.7	0.36			1.5	1.89	0.07	108-275	3245	191	274	433
کردستان (پ پ) KORDESTAN	27.2	5.56	3	59	1.26	1.74	0.57	0.26			1.29	0.9	0.15	185-230	3000	137	271	435
همگنان (پ پ) HEGMATAN	26.02	4.75	4.38	57.57	1.6	1.78	0.68	0.49	0.03		2.49	0.7	0.02	205-255	3220	188	306	420
اردبیل (پ پ) ARDEBIL	26.14	7.97	3.45	60.28	2.1	1.29	0.92	0.48			1.57		0.1	162-197	3433	218	307	446
خاش (پ پ و) KILASH	31.28	7.77	3.88	51.42	2.52	1.22	0.9	0.64	0.02		0.81	0.5	0.01	120-170	3290	145	224	335
استانداردها STANDARDS																		
پ پ					≤ 6	≤ 4			≤ 0.1		≤ 5		≤ 0.8	60-420	≥ 3000	≥ 100	≥ 175	≥ 300
پ پ و					≤ 6	≤ 4			≤ 0.1		≤ 5		≤ 0.8	60-420	≥ 3200		≥ 150	≥ 275



انواع سیمان ها : سیمان پرتلند سرباره ای (Slag Portland Cement)

سرباره به موادی که در بالای کوره ذوب آهن جمع شده و به عنوان ضایعات صنعت فولاد هستند ، شناخته می شود .

سیمان پرتلند سرباره ای : این سیمان از آسیاب کردن ۲۵ تا ۶۵ درصد سرباره کوره آهنگدازی فعال و غیر کریستالی با کلینکر سیمان پرتلند و مقدار مناسبی سنگ گچ به دست می آید .

مزایا و معایب :

- پایداری بیشتر در برابر سولفات ها
- نفوذ پذیری کمتر و دوام بیشتر
- در مقایسه با سیمان معمولی دیرگیرتر و گرمای آگیری کمتر

درصد سرباره	علامت اختصاری	نوع سیمان
کمتر از ۲۵ درصد	پ س	پرتلند سرباره ای
۲۵ تا ۷۰ درصد	پ س ۵	پرتلند سرباره ای ضد سولفات
بیش از ۷۰ درصد	س	سرباره ای

سیمان پرتلند پوزولانی ویژه (پ پ و) : در مواردی که مقاومت های فشاری بالا در کوتاه مدت مورد نظر نیست و بیشتر در مواردی که مقاومت شیمیایی بالا در مقابل املاح (سولفات و کلر) و حرارت هیدراتاسیون پایین مورد نظر باشد استفاده می شود.

سیمان سرباره ای ضد سولفات : در مواقعی که مقاومت متوسط در مقابل املاح سولفات و حرارت هیدراتاسیون متوسط مورد نظر باشد استفاده می شود.



سیمان پرتلند بنایی (Masonry Portland Cement) :

- نسبت اختلاط آن حدود ۷۰٪ سیمان و ۳۰٪ مواد دیگر (خاک رس یا آهک آب دیده یا سنگ آهک پودر شده) می باشد.
- جهت تمایز سیمان بنایی حداکثر ۱۰ درصد به آن پودر قرمز رنگ هماتیت که در جزیره هرمز یافت میشود اضافه می کنند .
- کاربرد در تهیه ملات (ملات استاندارد) می باشد و در صنعت بتن استفاده از آن مجاز نمی باشد .

سیمان پرتلند آهکی :

- معروف به سیمان P.K.Z
- در تولید این نوع سیمان از پودر آهک ویژه بر خلاف سیمان بنایی (پودر سنگ آهک) استفاده می شود .
- خواص مشابه سیمان پرتلند معمولی
- هزینه تولید بالاتر
- کاربرد در تهیه بتن .



انواع سیمان ها : سیمان پرتلند سفید (White Portland Cement) :

این سیمان از آسیاب کردن کلینکر سیمان سفید با مقدار مناسبی سنگ گچ به دست می آید .

رنگ سیاه سیمان ناشی از:

(۱) ترکیبات آهن و منگنز موجود در سیمان در سیمان سفید استفاده از مقداری نشادر)

(۲) کاربرد گلوله های فلزی در مرحله آسیاب

(۳) دوده ناشی از سوخت (در سیمان سفید استفاده از گاز به عنوان سوخت

به منظور کاهش دمای پخت از کاتالیزور حرارتی کرایولیت

مزایا و معایب :

هزینه تولید بالاتر
کاربرد در نماسازی و اندود کاری.
تعیین میزان سفیدی با نسبت انعکاس نور تابیده شده به قرص سیمان به قرص منیزیم
مقاومت مکانیکی بالا و قابلیت استفاده در پی ریزی های قوی

مشخصات شیمیایی ، فیزیکی و مکانیکی سیمانهای سفید

کارخانه ها PLANTS	CHEMICAL ANALYSIS ترکیب شیمیایی																PHY , MECH SP خصوصیات فیزیکی ، مکانیکی						
	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	K2O	Na2O	Cl	IR	LOI	C3S	C2S	C3A	C4AF	F CaO	نسبت EXPAND	زمان گیرش SET TIME	بلین BLAINE	مقاومت های فشاری COMP-STR			سفیدی WHITENESS
																				3	7	28	
سیمان مازند SAVEH WHITE	23.55	4.38	0.41	66.18	1.48	1.73	0.25	0.16		0.21	1.45	55.42	25.7	11	1.25		0.05	160-300	3920	350	470	580	90
سیمان ارومیه URUMIEH WHITE	23.52	4.4	0.39	66.68	0.33	3.14	0.52	0.43		0.25	1.18	54	27	11	1.32		0.29	120-150	3670	373	476	549	88.5
سیمان بنوید BENVID WHITE	23.4	5.32	0.31	66.8	0.65	1.65	0.42	0.31		0.4	0.4	53	27	14	0.9	0.8	0.2	80-170	3200	220	280	500	90
سیمان نریز NEYRIZ WHITE	23.84	5	0.34	64.5	0.82	2.67				0.2	1.85	44	34	13	0.97		0.07	85-110	3600	311	397	534	90
سیمان شمل SHOMAL	24.8	3.76	0.56	64.9	3.1	1.9	0.2	0.18		0.4	0.9	44	38	9	1.7		0.08	75-95	4000	200	280	440	80
استانداردها STANDARDS					≤5	≤3.5				≤0.75	≤3						≤0.8	45-480	≥3000	≥110	≥175	≥315	≥75



سیمان پرتلند رنگی (Colored Portland Cement) :

- این سیمان از افزودن مواد رنگی معدنی بی اثر شیمیایی به سیمان پرتلند معمولی یا سفید به دست می آید .
- از سیمان پرتلند معمولی برای ساخت سیمان های پرتلند رنگی قرمز ، قهوه ای و سیاه و برای بقیه از سیمان سفید استفاده می شود .
- هنگام آسیاب نهایی سیمان ، کلینکر را با حداکثر ۱۰ درصد مواد رنگی آسیاب می کنند تا سیمان رنگ مورد نظر را پیدا کند .
- مواد رنگی باید خنثی و پایدار باشند .
- رنگ باید هنگام آسیاب شدن به سیمان افزوده شود .
- عدم تولید در ایران
- کاربرد در نماسازی و اندود کاری.

ماده رنگ ساز	اکسید آهن	کروم	کبالت
رنگ مورد نظر	قرمز ، قهوه ای و تیره	سبز	آبی



سیمان ضد آب (Hydrophobic Cement) :

- به منظور جلوگیری از فساد سیمان انبار شده در محیط مرطوب (هیدراته و کربناته شدن) از این سیمان استفاده می شود.
- هنگام آسیاب کلینکر ، درصدی اسید های چرب (اسید اولئیک ، اسید استئاریک یا اسید لاکتیک) به آن می افزایند .
- عدم تولید در ایران

سیمان حفاری (Oil - Well Cement) :

به منظور حفاری های چاه های نفتی تا عمق ۶۰۰۰ متر جهت جلوگیری از ریزش دیواره ها از این سیمان استفاده می شود.

خصوصیات :

- زمان گیرش اولیه طولانی در حدود ۳ ساعت
- مقاوم در برابر حرارت
- افزایش سریع مقاومت پس از گیرش
- هزینه تولید بالا
- در صورت ساخت بتن با این سیمان ، بتن تا چند روز حالت خمیری دارد و دیر سفت می شود .
- مقاوم در برابر فشار بالا



سیمان گسترش یابنده (Expansive Cement) :

- نوعی از سیمان، به منظور مقابله با پدیده جمع شدگی
- جهت تولید این سیمان، کلینکر را با درصدی مواد منبسط شونده آسیاب می کنند.
- مخلوط سنگ گچ، گچ معمولی و سنگ بوکسیت، را با هم حرارت داده و ترکیب سولفور آلومینات کلسیم را بدست می آورند که در مجاورت آب منبسط می شود. (حمله مصنوعی سولفات ها)
- جهت کنترل حمله مصنوعی از ماده تثبیت کننده سرباره کوره آهن گدازی استفاده می شود.

کاربرد :

- (۱) ترمیم روسازی های بتنی
- (۲) ترمیم مخازن سیالات
- (۳) ترمیم قوس ها
- (۴) نصب ستون های بلند

نوع سیمان	میزان انبساط
بدون جمع شدگی	حداکثر تا ۴ میلیمتر در متر
با انبساط کم	۴ - ۸
با انبساط متوسط	۸ - ۱۲
با انبساط زیاد	۱۲ - ۱۵



سیمان پر آلومین (برقی) (High Alumina Cement) :

- سیمانی غیر پرتلندی است .
- ژول برد دانشمند فرانسوی به منظور دستیابی به سیمانی مقاوم در برابر حمله سولفات ها به آن رسید .
- کلینکر سرد آمورف حاصل از ترکیب مواد به دست آمده از قسمت افقی کوره را آسیاب کرده و کلینکر سیمان برقی به دست می آید.
- سیمان برقی رنگی تیره تر از سیمان معمولی و متمایل به سیاه دارد .

ترکیبات :

- (۱) ۴۰ درصد سنگ آهک
- (۲) ۴۰ درصد بوکسیت
- (۳) ۲۰ درصد مواد دارای آهن و سیلیس

معایب و مزایا :

- | | |
|---|------------------------------|
| پدیده Conversion | کسب مقاومت ۲۸ روزه در یک روز |
| زمان گیرش اولیه سیمان برقی طولانی تر از سیمان معمولی و بالعکس | بسیار گران است |
| مقاومت در برابر آب های حاوی CO ₂ | مقاومت در برابر سولفات ها |

کاربرد :

- (۱) در دماهای بسیار بالا یا پایین
- (۲) کاربرد به عنوان سیمان نسوز

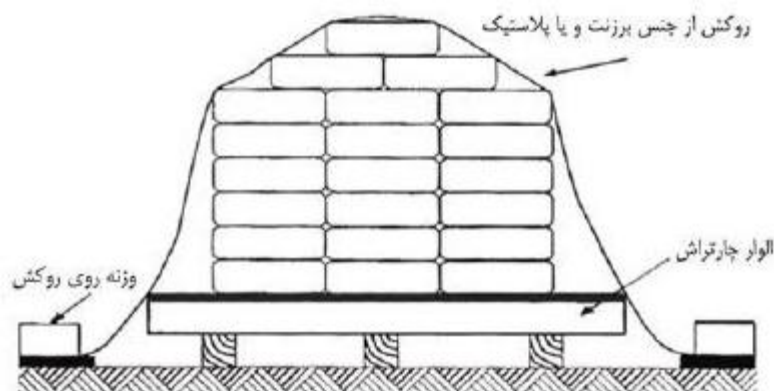


سیمان کیسه ای :

- سیمان کیسه ای باید روی کف خشک که دست کم به اندازه ۱۰ سانتی متر از سطح اطراف خود بالاتر باشد، قرار گیرد
- در مناطق خشک، حداکثر تعداد سیمان که می توان روی هم انبار کرد ۱۲ پاکت است، مشروط بر اینکه ارتفاع کل آنها از ۱/۸ متر تجاوز نکند. اعداد فوق برای مناطق شرجی و با رطوبت نسبی بیش از ۹۰٪، به ترتیب ۸ پاکت و ۱/۲ متر می باشد.
- در مناطق خشک، کیسه های سیمان باید نزدیک به یکدیگر، با فاصله ۵ تا ۸ سانتیمتر از یکدیگر قرار داده شوند تا عبور جریان هوا از بین کیسه ها موجب خشک شدن سیمان بشود. در مناطق شرجی و با رطوبت نسبی بیش از ۹۰٪، کیسه های سیمان باید به یکدیگر چسبانیده شوند.
- کیسه های سیمان در همه مناطق، باید حداقل ۳۰ سانتیمتر از دیوارها و ۶۰ سانتیمتر از سقف فاصله داشته باشند.
- سیمان های کیسه ای باید در مناطق با رطوبت نسبی حداکثر ۹۰٪، ۴۵ روز پس از تولید، و در سایر مناطق ۹۰ روز پس از تولید مصرف شوند.

سیمان فله ای :

- سیمان نگهداری شده در سیلو باید حداکثر ۹۰ روز پس از تولید مصرف شود.
- از آنجا که انتقال سیمان از مخزن کامیون به داخل سیلو به کمک هوای فشرده صورت می گیرد و در نتیجه سیمان به تدریج متورم می شود، نباید بیش از ۸۰٪ ظرفیت اسمی سیلوها را پر کرد.
- سیمان های فله را باید بر اساس نوع آنها جداگانه نگهداری کرد.



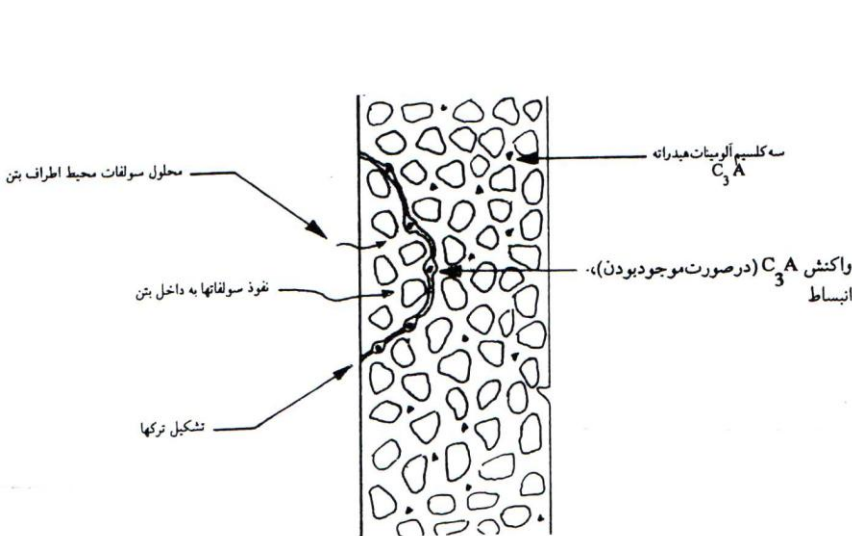


حمله سولفات ها

حمله سولفات ها واکنش هایی همراه با ازدیاد حجم است.

- اکثر واکنش های افزایش حجم، بین سولفات ها و C_3A موجود در سیمان انجام می گیرد در نتیجه در محیط های مهاجم نیاز به کنترل درصد C_3A می باشد.
 - $Ca(OH)_2$ موجود در بتن نیز می تواند با سولفات ها واکنش داده و باعث افزایش حجم آن گردد.
- نکات حمله سولفات ها :

- (۱) خطر آب های سولفات دار به مراتب بیشتر از خاک سولفات داری است که در آن شالوده بنا شده است.
- (۲) سولفات هایی مضرند که در آب قابل حل هستند.
- (۳) حل سولفات خاک در آب به راحتی امکان پذیر نیست.
- (۴) از خصوصیات پوزولان این است که حالت پوکی داشته و می تواند افزایش حجم ناشی از حمله سولفات ها را تحمل کند.



سیمان مناسب	آب هایی که بعداً به بتن می رسد	سولفات های قابل حل در آب	درجه نسبی حمله سولفات
(قسمت در میلیون، ppm)	درصد سولفات محلول در نمونه خاک		
سیمان تیپ I	۰ - ۱۵۰	۰/۱ - ۰/۱۰	قابل اغماض
سیمان تیپ II	۱۵۰ - ۱۵۰۰	۰/۱ - ۰/۲	ضعیف
سیمان تیپ V	۱۵۰۰ - ۱۰۰۰۰	۰/۲ - ۲	شدید
سیمان تیپ V همراه با پوزولان یا سیمان پوزولانی تیپ V	۱۰۰۰۰ یا بیشتر (۱٪ و بیشتر)	۲ درصد یا بیشتر	خیلی شدید



آب اختلاط

- آبی را که قابل آشامیدن است ، مزه یا بوی مشخصی ندارد و تمیز و صاف است و بدون سوء سابقه قبلی عدم صلاحیت، می توان در بتن به کار برد

خواص آب مناسب اختلاط :

- (۱) اسیدی و بازی نباشد. (PH بین ۶ تا ۸)
- (۲) درصد کربنات هایش کمتر از ۰/۱ درصد باشد.
- (۳) درصد جامدات (ذرات معلق) در آن (مانند سیلت) کمتر از ۰/۱ درصد باشد.
- (۴) درصد کلرهایش کمتر از ۰/۰۵ درصد باشد.
- (۵) درصد سولفات هایش کمتر از ۰/۱ درصد باشد.

تذکر: آبی که باعث شود افت مقاومتی بیش از ۱۰٪ در بتن ایجاد شود (نسبت به بتن با ویژگی های مشابه منتهی با آب خالص) برای بتن سازی مناسب نیست.

تذکر: زمان گیرش اولیه خمیر سیمان ساخته شده با آب غیر آشامیدنی بیش از + و - یک ساعت با نمونه ساخته شده با آب آشامیدنی تفاوت نداشته باشد .

تذکر: نتیجه انبساط حجم به دست آمده از آزمایش سلامت سیمان در آزمون ساخته شده با آب غیر آشامیدنی کمتر از نمونه ساخته شده با آب آشامیدنی باشد .

مشکلات آب نامناسب :

- (۱) زمان گیرش بتن به تاخیر افتاده، بتن دیرگیر می شود.
- (۲) باعث افت مقاومت نهایی بتن می شود.
- (۳) موجب خوردگی و زوال تدریجی میلگردها می شود.
- (۴) ایجاد لکه هایی روی سطح بتن خشک شده.



موارد زیر در آب اختلاط باید کنترل شود :

- (۱) کربنات های قلیایی
- (۲) کلرور ها : اثر نامطلوب بر روی میلگردها و باعث خوردگی آنها
- (۳) سولفات ها : به طور کلی سولفات ها باعث کاهش مقاومت بتن می شوند.
- (۴) کربنات ها
- (۵) نمک های آهن
- (۶) نمک های منگنز، قلع، روی، سرب
- (۷) سولفور سدیم : از نامناسب ترین ناخالصی های آب بتن است
- (۸) آب دریا : نمک موجود در آب دریا باعث کاهش مقاومت بتن می شود و کلر موجود باعث خوردگی میلگردها
- (۹) گل و لای : مانع چسباندن کامل دانه ها توسط سیمان می شود.
- (۱۰) چربی ها : دو نوع چربی در آب موجود است (۱) معدنی (۲) گیاهی یا حیوانی
 - مضرتترین چربی های در آب، چربی معدنی می باشد.
 - چربی ها با ایجاد پوشش در سطح دانه ها از چسبیدن دانه ها به سیمان جلوگیری می کند.
- (۱۱) خزه ها
 - آب حاوی خزه به هیچ وجه و تحت هیچ شرایطی برای بتن سازی مناسب نیست.
- (۱) خزه ها بر روی دانه ها چسبیده و از چسبندگی سیمان به دانه ها جلوگیری می کند.
- (۲) خزه ها دارای مقدار زیادی هوا هستند در نتیجه باعث افزایش هوای موجود در بتن و افزایش فضای خالی بتن و کاهش مقاومت می شوند.

سنگدانه ها (Aggregates) :



- دلیل اساسی و اولیه اضافه کردن سنگدانه به خمیر سیمان کنترل جمع شدگی است. بعلاوه اضافه کردن سنگدانه مزایای اقتصادی نیز دارد.
- در بتن معمولی $\frac{3}{4}$ حجم بتن را سنگدانه ها تشکیل می دهند. بنابراین خواص سنگدانه ها روی خواص بتن تأثیر زیادی دارد.
- ۶۰ تا ۷۰ درصد از کل دانه ها شن و ۳۰ الی ۴۰ درصد دانه ها را ماسه تشکیل می دهد.





سنگدانه ها : طبقه بندی سنگدانه ها

(۱) طبیعی : معمولی / شکسته

منشأ سنگدانه های طبیعی یک سنگ طبیعی است.

سنگدانه های طبیعی معمولی از فرسایش طبیعی (یخ زدگی، حرکت با سیل، حرکت با باد و ...) به وجود آمده اند. این سنگدانه ها معمولاً گردند و هرچه از کوه دورتر شویم، به دلیل فرسایش بیشتر سطح این سنگ ها صاف تر می شود.

سنگدانه های طبیعی شکسته از خرد کردن سنگ های طبیعی در سنگ شکن به دست آمده و برخلاف سنگدانه های طبیعی معمولی، معمولاً گوشه های تیز و سطح زبر دارند.

بسته به دسترسی و خواص مورد نظر برای تهیه بتن از سنگدانه های معمولی یا سنگدانه های شکسته استفاده می شود.

(۲) سنگدانه های مصنوعی

سنگدانه های مصنوعی از مواد زائد بعضی کارخانه ها، مثل سرباره کوره آهک تولید می شود و یا از طریق پختن خاک رس به روش های مخصوص بدست می آید.

کمتر از دو تا سه درصد بتن های ساخته شده در ایران حاوی سنگدانه های مصنوعی هستند .

تقسیم بندی سنگدانه ها از لحاظ چگالی طبق آیین نامه ACI

سبکدانه با حداکثر وزن مخصوص ۲ تن بر مترمکعب

سنگدانه معمولی با وزن مخصوص ۲ تا ۳ تن بر مترمکعب

سنگین دانه با وزن مخصوص حداقل ۳ تن بر مترمکعب



سنگدانه ها : سنگدانه های سبک دانه

(۱) سبک دانه های طبیعی

- (۱ - ۱) پوکه سنگ (Scoria)
- (۲ - ۱) سنگ پا (پومیس Pumice)

(۲) سبک دانه های مصنوعی

- (۱ - ۲) سنگ رس (Shale) منبسط شده
- (۲ - ۲) خاک رس منبسط شده

(۱-۱) پوکه سنگ

خاکسترهای آتشفشانی که در دریا رسوب می کنند، در صورتی که خوب متراکم نشده باشند، پوکه سنگ یا اسکوریا را بوجود می آورند. پوکه سنگ ها جنس و ترکیب مختلفی دارند. ویژگی کلیه آنها این است که سبک، ترد و شکننده است. اگر برای ساختن بتن از پوکه سنگ استفاده می کنیم باید توجه داشته باشیم که در اثر حرکت میکسر این پوکه سنگ ها خرد شده و بتن را سنگین می کنند. بنابراین نباید آنها را در میکسر بریزیم بلکه در دوغاب فرو برده و در می آوریم. با استفاده از پوکه سنگ ها می توان بتنی با مقاومت ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع ساخت. این بتن ها در دیوارهایی که نقش باربری نداشته و فقط جداگر هستند بکار می روند.

از پوکه سنگ ها معمولا برای شیب بندی سقف استفاده می شود .

تبریز (سهند و سبلان)، سیستان (تفتان)





سنگدانه ها : سنگدانه های سبک دانه

۱-۲) سنگ پا

- برخلاف پوکه سنگ ، از ماده مذاب درون زمین ساخته شده است . وقتی ماده مذاب به سطح زمین می رسد، گازهایی در آن بوجود می آیند که نمی تواند خارج شود و درون سنگ محبوس می مانند. این گازها به سنگ شکل اسفنجی می دهد .
- مقاومت سنگ پا، به دلیل آنکه ماده مذاب تشکیل دهنده آن مقاومت مناسبی دارد، از پوکه سنگ بسیار بیشتر است. با استفاده از سنگ پا می توان بتن هایی با مقاومت بتن معمولی ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی مترمربع و با وزنی سبک تر از بتن معمولی ۲۴۰۰ در حدود ۱۸۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب ساخت .
- سنگ پا، سنگ یکنواختی نیست و ویژگی های آن بسته به مقدار گاز در هر قسمت متفاوت است. (قروه کردستان)



۲-۱) سنگ رس منبسط شده

- در داخل بعضی سنگ رس ها مثل سنگ رس های لشکرک، زغال (کربن) وجود دارد. در اثر حرارت دادن به این سنگ رس ها ، این زغال می سوزد و تولید گاز می کند و باعث ایجاد سنگ خمیری و در نهایت بافت اسفنجی می شود. چون جنس سنگ یکنواخت نیست، محصول تولید شده هم خواص یکنواختی ندارد . بنابراین برای تولید سبکدانه های مصنوعی، معمولاً از سنگ رس های طبیعی استفاده نمی شود.



سنگدانه ها : سنگدانه های سبک دانه

۲-۲) خاک رس منبسط شده

- برای تولید سبکدانه های مصنوعی با این روش خاک رسی را انتخاب می کنند که نقطه ذوب نسبتا پایینی دارد. این خاک رس را با ترکیبات گازوئیل مخلوط کرد، خمیر بدست آمده را گلوله می کنند و داخل کوره حرارت می دهند. ترکیبات نفتی باعث ایجاد حباب در خاک شده و بافت اسفنجی مناسبی ایجاد می شود.
 - در تولید این سبکدانه ها یک پوسته لعابی خارجی بوجود می آید که حباب ها داخل آن قرار می گیرند. این پوسته خارجی نباید بشکند یا ترک بخورد چون وقتی این سنگدانه ها با آب و خمیر سیمان مخلوط می شوند، این ترک ها باعث می شوند که آب و خمیر سیمان به درون سنگدانه نفوذ کرده و سنگدانه سنگین می شود. به این سبکدانه های مصنوعی (Light Weight Expanded Clay) LECA (Aggregate) گویند.
- کارخانه جاده ساوه.





سنگدانه ها : سنگدانه های سبک دانه مصنوعی LECA

- مشکل عمده در استفاده LECA ها این است که هوای درون آنها باعث کاهش مقاومت می شود. برای جبران این کاهش مقاومت معمولاً مواد افزودنی و دوده سیلیسی (برای کاهش نفوذپذیری) به آن اضافه می شود. به علاوه یکی از عواملی که مقاومت بتن را کاهش می دهد آب است



- اگر به بتن آب زده نشود بتن روان نمی شود.
- بتن مواد شیمیایی روان کننده اضافه می کنند تا اصطکاک کم شود. آب کمتری به بتن می زنند و بنابراین کاهش مقاومت در اثر حفره ها جبران می شود و به علاوه بتن سبک میشود (بتن با مقاومت معمولی و وزن کم)
- عیب عمده بتن معمولی سنگینی آن است. سابقاً به دلیل سنگینی بتن، ساختن ساختمان های بیش از سی طبقه با بتن امکان نداشت ولی امروزه به کمک بتن های سبک این امر امکان پذیر شده است.
- LECA امروزه در ایران صنعتی نشده است، چون قیمت شن کمتر از LECA است. در صورتیکه اگر صرفه جویی های بعدی (حذف عایق حرارتی، حذف میلگردها، حذف ضد زنگ، کم شدن هزینه حمل و نقل و کاهش ابعاد پی را در نظر بگیریم) استفاده از LECA بصرفه است. به علاوه اگر سیستم سبک شود، خطر زلزله هم کمتر می شود.



سنگدانه های معمولی:

- سنگدانه های اطراف تهران، معمولا چگالی در حدود $2/5$ تا $2/55$ دارند.

سنگین دانه ها:

- سنگین دانه عمدتا ترکیبات آهن یا باریم هستند: لیمونیت - ایلمینیت - مگنتیک
- از سنگدانه های سنگین برای ساختن بتن سنگین استفاده می شود. از بتن سنگین برای محافظت دور نیروگاه های هسته ای استفاده می شود. چون میزان تشعشع را کاهش می دهد.





سنگدانه ها : تقسیم بندی از نظر شکل و بافت سطحی

Shape



Rounded

Water worn or shaped by attrition



Irregular

Naturally irregular or partly shaped



Angular

Well-defined



Flaky

Thickness is small relative to other two dimensions



Elongated

Length is larger relative to other two dimensions

Texture

Glassy
Conchoidal fracture

Smooth
Water worn or smooth due to fracture

Granular
Uniform rounded grains

Rough
Rough fracture, no easily visible crystalline grains

Crystalline
Easily visible grains

Honeycombed
Visible pores and cavities

- شکل سنگدانه ها در بسیاری از خواص بتن موثر است . هر چه شکل سنگدانه طوری باشد که بتن راحت تر متراکم شود و دانه ها نزدیکتر به هم قرار گیرند ، نیاز به خمیر سیمان کمتری خواهیم داشت . برای این منظور بهترین حالت سنگدانه اینست که گرد گوشه باشد.
- مناسبترین شکل سنگدانه ها در عمل سنگدانه های قلوه ای و مکعبی هستند .

(۱) دانه های گرد : فرسایش در طبیعت و دارای سطح صاف

- کارایی مناسب (بتن اقتصادی) چسبندگی کم با خمیر سیمان و ... کاربرد در تهیه بتن معمولی

(۲) دانه های نامنظم : سطح صاف ولی کاملاً گرد نیستند

(۳) دانه های گوشه دار : شکل هندسی مشخصی ندارند و نیز دارای سطح صاف نیستند.

- بتن ساخته شده با این دانه ها مقاوم تر می باشد (درگیری بهتر دانه ها)

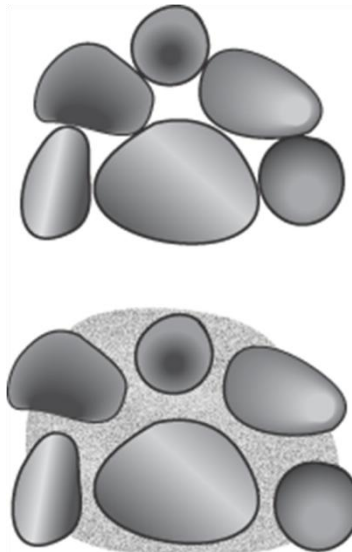


سنگدانه ها : تقسیم بندی از نظر شکل و بافت سطحی

۴) **دانه های پولکی شکل** : ضخامت آنها نسبت به دو بعد دیگر کم است. به دانه هایی متورق گفته می شود که کوچکترین بعد آنها از 0.6 اندازه اسمی آنها کمتر باشد.

اندازه یا طول اسمی (nominal Size) یک سنگدانه عبارتست از مجموع شماره الکی که سنگدانه روی آن مانده + الکی بالایی تقسیم بر ۲ .
تذکر : در استاندارد B.S – 80912 (استاندارد انگلستان) آزمایشی برای دانه های سوزنی و پولکی تعیین شده و دو ضریب به نام های ضریب تطویل (elongation Index) و ضریب تورق (flakiness Index) تعریف شده است .

برای اندازه گیری ضریب تورق هر دانه را از شیاری که اندازه آن 0.6 اندازه اسمی دانه است رد می کنیم . اگر رد شد دانه پولکی و اگر رد نشد دانه غیر پولکی است : به مثال زیر توجه کنید :



رد شده از شیار	اندازه شیار	درصد مانده روی الکی	اندازه الکی	اندازه اسمی
		۲۰	۴۰	
۴۰٪ * ۶٪	۱۸ mm	۴۰	۲۰	۳۰
۲۵٪ * ۱۵٪	۹ mm	۲۵	۱۰	۱۵
			۵	۷/۵

جمع : ضریب تورق flakiness Index



سنگدانه ها : تقسیم بندی از نظر شکل و بافت سطحی

(۵) دانه های سوزنی شکل : طول آنها نسبت به دو بعد دیگر بیشتر می باشد

به دانه هایی سوزنی گفته میشود که بزرگترین بعد آنها از 1.8 اندازه اسمی آنها بزرگتر باشد .
 برای اندازه گیری ضریب تطویل دانه ها را فاصله بین دو میخ که برابر با 1.8 × اندازه اسمی دانه است رد می کنیم . اگر رد شد سنگدانه ها سوزنی نیست ولی اگر رد نشد سوزنی است . به مثال زیر توجه کنید :

رد شده از شیار	فاصله دو میخ	درصد مانده روی الک	اندازه الک	اندازه اسمی
		۲۰	۴۰	
۴۰٪ * ۴۰٪	۲۵ mm	۴۰	۲۰	۳۰
۲۵٪ * ۱۲٪	۲۷ mm	۲۵	۱۰	۱۵

جمع :

ضریب تطویل



گیج پولکی و سوزنی

- نه از نظر کارایی و نه مقاومت مناسب نیستند.
 - در سنگ های شکسته ، نوع دراز و سوزنی و تیغی شکل زیاد است که باید آنها را جدا کرد، اما در سنگ های رودخانه ای این نوع سنگ ها کم می باشد .
- نکته :** اصولاً در بتن سازی از دانه های گرد، نامنظم و گوشه دار استفاده می شود و بکارگیری دانه های پولکی و سوزنی شکل در ساخت بتن مجاز نیست

نکته : از نظر میزان مصرف سیمان دانه های گرد > دانه های نامنظم > دانه های گوشه دار



(۱) سطح دانه ها تمیز باشد

(۲) مقاوم در برابر سایش (به خصوص اگر بتن در معرض رفت و آمد باشد)

(۳) مقاوم در برابر تنش (اسكلت بتن)

- دانه های سیلیس دارای سختی ۷ تا ۸
- دانه های آهکی دارای سختی ۳ تا ۴
- دانه های گچی یا ترکیباتی از گچ و آهک دارای سختی کمتر از ۳

(۴) مقاوم در برابر یخبندان

مقاومت در برابر یخبندان به عوامل زیر بستگی دارد :

الف) تخلخل : هرچه تخلخل کمتر، مقاومت در برابر یخبندان بیشتر

ب) نفوذ پذیری دانه ها : هرچه نفوذ پذیری کمتر، مقاومت در برابر یخبندان بیشتر

ج) مقاومت کششی دانه ها : هرچه مقاومت کششی بیشتر، مقاومت در برابر یخبندان بیشتر

(۵) مقاوم در برابر هوازدگی

تغییرات رطوبت و دما باعث خرد شدن دانه ها می شود که این امر در محیط های متغییر رطوبتی به علت تفاوت ضریب انبساط حرارتی سنگدانه ها در حالت تر و خشک، بیشتر مشاهده می شود.

(۶) دیگر مشخصات : مانند : لایه لایه نشود. (توپر باشد)، شبیه دایره یا مکعب باشند.



- دانه بندی یعنی نحوه توزیع دانه ها از نظر ابعاد.
- منحنی دانه بندی نحوه توزیع دانه ها از نظر ابعاد را مشخص می کند.

• تعداد الک های استاندارد معمولا ۹ عدد می باشد که ۵ الک در محدوده ماسه، یک الک مرز شن و ماسه (الک نمره ۴) و ۳ الک در محدوده شن می باشد.

• الک را به طرف بالا، پایین، جلو و عقب باید به گونه ای بلرزانیم که هر دانه فرصت پیدا کند جلوی چشمه قرار گیرد. لرزاندن الک باید ۱۰ تا ۲۰ دقیقه طول بکشد. دانه ها هرگز نباید بزور از الک رد شوند، چون تنظیم الک بهم میخورد. الک های ریز را باید در فواصل زمانی معین با فرچه مخصوص تمیز نمود. پس از لرزاندن الک مانده روی هر الک را محاسبه می کنیم.

• در دانه بندی الک ها از درشت به ریز قرار داده می شوند و دانه های روی هر الک وزن می شود، آنگاه درصد مانده روی الک ها مشخص خواهد شد.

• وزن نمونه داخل الک نباید از حد معینی بیشتر شود. بسته به قطر الک و اندازه دانه معیار مشخصی در آیین نامه دارد.

• شماره الک تعداد سوراخ در یک اینچ طول است.

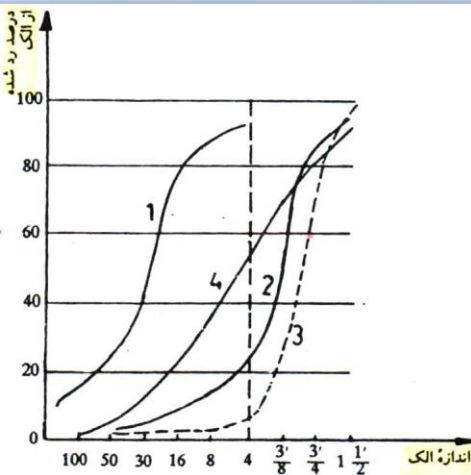
مثال : الک شماره ۴:

(قطر هر سیم در الک ۱/۵ میلی متر است)

$$4 \times \frac{1}{5} + 4 \times \frac{4}{75} = 25\text{mm} = 1"$$



الک های استاندارد



چگونگی رسم منحنی دانه بندی :

- (۱) وزن دانه ها روی هر الک اندازه گیری می شود
- (۲) درصد آنها نسبت به وزن کل محاسبه می شود (درصد مانده)
- (۳) مجموع درصدهای مانده روی الک مورد نظر و الک های بالاتر را از ۱۰۰ کم نموده تا درصد رد شده از الک بدست آید.
- (۴) نمودار بر اساس اندازه الک و درصد رد شده رسم می گردد.

الف) منحنی دانه بندی پیوسته

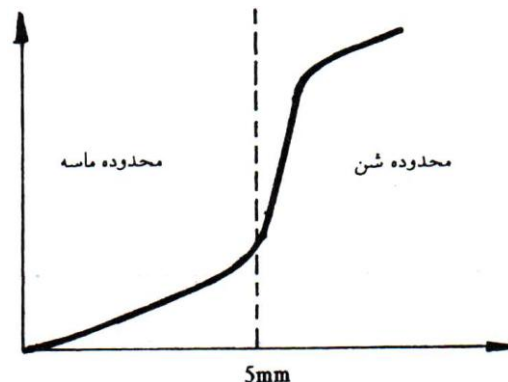
- تمام ابعاد استاندارد در دانه ها موجود باشد.
- بعضی از ابعاد نسبت به سایر ابعاد به میزان چشمگیری بیشتر یا کمتر نباشد.

دلایل استفاده از دانه بندی پیوسته :

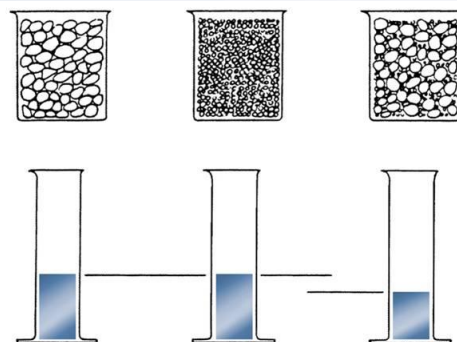
- (۱) مصرف سیمان کمتر (فضای خالی بین مصالح کم می شود)
- (۲) مقاومت مطلوب تر (حجم بیشتری از بتن با سنگدانه ها پر شده در نتیجه بتن حاصل توپر تر و متراکم تر خواهد شد)

ب) منحنی دانه بندی ناپیوسته (گسسته)

- فقط در یک مورد استفاده از مصالح سنگی گسسته توصیه می شود و آن در مورد ساختن بتن با دانه های نمایان یا اکسپوز است.
- در بتن اکسپوز یک یا دو روز پس از بتن ریزی قالب را باز می کنند



آزمایش دانه بندی با الک برای درشت دانه در آزمایشگاه



- سطح مایع در استوانه های مدرج که نشانگر مقدار فضای خالی است، برای حجم های مطلق یکسان از سنگدانه های با دانه های یکنواخت اما اندازه های مختلف ثابت است. وقتی اندازه های مختلف با هم ترکیب می شوند، مقدار فضای خالی کاهش می یابد.



ترازوی دیجیتال



ترازوی مکانیکی



وزنه های استاندارد



تقسیم دانه بندی از نظر اندازه:

(۱) دانه درشت Coarse aggregate

(۲) دانه ریز Fine aggregate

مرز این دو دانه بندی الک شماره ۴ (4.75mm) می باشد.

دانه ریز:

رس : 0 تا 0.02 mm

لای : 0.02 mm تا 0.06 mm

ماسه : 0.06 mm تا 4.75 mm

- ماسه شسته تقریباً رس و لای ندارد.
- ریز بودن بیش از حد لای و رس باعث آب طلبی زیاد آن می شود.
- لای و رس باعث خمیری شدن شن می شود اما مقاومت را کم می کند.

دانه درشت:

شن (ریگ): 5mm تا حدود 3cm و 4cm که بزرگتر از این مقادیر قلوه سنگ و تخته سنگ هستند.
درکارهای سدسازی می توان از قلوه سنگ و تخته سنگ در بتن استفاده کرد. درکارهای معمولی شن در بتن استفاده می شود.



- در آبا شماره ۳۰۲ مخصوص سنگدانه های بتن و بتن مسلح و ویژگی های آنهاست.
- در این آیین نامه ها برای بدست آوردن منحنی دانه بندی مطلوب با مخلوط های مختلف سنگدانه ها، بتن ساخته و آزمایش می کنند و به این ترتیب حد فاصلی برای دانه بندی مطلوب بوجود می آید. این کار را حتی خودمان هم می توانیم انجام دهیم ولی فرصت این کار وجود ندارد.
- برای تهیه بتن بهترین حالت ممکن برای سنگدانه ها این است که، بین آنها کمترین فضای خالی وجود داشته باشد چون در این صورت به خمیر سیمان کمتری نیاز داریم و این اقتصادی تر است.
- وجود لای در بتن مفید است و در نقش پر کننده (Filler) عمل میکند ولی وجود خاک رس در بتن مضر است و بنابراین شن را می شویند تا خاک رس همراه آن نباشد.



اون



کوره الکتریکی



صفحه گرم کن



دانه بندی مصالح ماسه ای (ریز دانه)

مراجع :

- مهمترین مرجع ASTM C33
- استاندارد ایران : ۴۹۷۷ موسسه استاندارد
- الک های مورد استفاده الک های استاندارد ASTM هستند.

نکات :

- ✓ الک های استاندارد دانه ریز: در سری الک های استاندارد، همواره قطر چشمه الک بالایی، دوبرابر الک پایینی است این دوبرابر بودن سبب می شود که دانه های کوچک در میان دانه های بزرگ قرار گیرند و ترکیب مناسبی حاصل شود.
- ✓ ریزدانه های ماسه (رد شده از الک ۵۰ یا ۱۰۰) باعث می شوند بتن روان تر و خمیری تر شده، لذا می توان با استفاده از آب کمتری به کارایی بیشتری دست پیدا کرد.
- ✓ مصرف دانه های ریز (رد شده از الک ۵۰ یا ۱۰۰) باعث افزایش سطح ظاهری دانه ها و در نتیجه افزایش مصرف خمیر سیمان.
- ✓ مقدار دانه های ماسه ای ریزتر از ۰/۳ میلیمتر بین ۱۰٪ تا ۳۰٪ از کل حجم ماسه تعیین شده است. مگر در شرایط خاص که در مرجع ASTM C33 آمده است.

* ضوابط الزامی دانه بندی سنگدانه های ریز مصرفی در بتن (مبحث ۹)

استاندارد ۴۹۷۷	اندازه الک (برحسب اینچ)	اندازه الک
۱۰۰٪	۳/۸ inch	۹/۵ mm
۸۹ - ۱۰۰٪	#۴	۴/۷۵ mm
۶۰ - ۱۰۰٪	#۸	۲/۳۶ mm
۳۰ - ۹۰٪	#۱۶	۱/۱۸ mm
۱۵ - ۴۵٪	#۳۰	۰/۶ mm
۵ - ۴۰٪	#۵۰	۰/۳ mm
۰ - ۱۵٪	#۱۰۰	۰.۱۵ mm

شماره الک	وزن دانه روی هر الک	درصد دانه روی الک	درصد تجمعی دانه ها	درصد رد شده از الک
۳/۸	۰	۴	۰	۱۰۰
۴	۳۰	۶	۶	۹۴
۸	۱۵۰	۳۰	۳۶	۶۴
۱۶	۱۲۰	۲۴	۶۰	۴۰
۳۰	۸۰	۱۶	۷۶	۲۴
۵۰	۷۰	۱۴	۹۰	۱۰
۱۰۰	۴۰	۸	۹۸	۲
زیر الک	۱۰	۲	۱۰۰	۰



دانه بندی مصالح شن (درشت دانه)

• استاندارد های مختلفی برای دانه بندی دانه درشت داریم. (ASTM، ۱۳ استاندارد دارد).

• در دانه بندی دانه درشت حد بالا و پایین دانه ها با هم متفاوت است و حد بالا معلوم نیست و بین ۴/۷۵ تا ∞ است.

• ۵ الی ۱۰ درصد بالاتر بودن از حد max و یا min دانه ها تأثیری در خصوصیات کلی بتن ندارد.

• چهار دانه بندی کتاب مبحث نهم کمتر استفاده می شود چون درشت است.

• شماره ۵: (بادامی درشت 12.5mm - 25mm)

• شماره ۷: (شن مخلوط شن مخلوط 4.75mm - 25mm) اندازه مناسب برای ساخت بتن

مثلا اگر دانه های بادامی و نخودی داشته باشیم و دانه های بین ۴.۷۵ تا ۱۲.۵ نیز داشته باشیم وقتی آنها را داخل مخلوط کن می ریزیم به محدوده ۷ یعنی شن مخلوط خواهد رسید.

اندازه دانه ها :

- واقعی
- اسمی: (اندازه غالب دانه ها)

دانه :

- جور (یکنواخت): همه اندازه دانه ها روی الک ها پخش می شوند.
- غیر یکنواخت: همه اندازه دانه ها روی یک الک می مانند.

* ضوابط الزامی دانه بندی سنگدانه های درشت مصرفی در بتن (مبحث ۹)

۳	اندازه اسمی الک ها (یا بعد چشمه مربع) mm	اعداد داخل جدول درصد وزنی مصالح سنگی رد شده از الک ها را نشان می دهند.							
		۲/۳۶ mm	۴/۷۵ mm	۹/۵ mm	۱۲/۵ mm	۱۹ mm	۲۵ mm	۳۷/۵ mm	۵۰ mm
۱	۵۰ تا ۲۵	-	-	-	۰-۵	-	۰-۱۵	۳۵-۷۰	۹۰-۱۰۰
۲	۵۰ تا ۴/۷۵	-	۰-۵	-	۱۰-۳۰	-	۳۵-۷۰	-	۹۵-۱۰۰
۳	۳۷/۵ تا ۱۹	-	-	۰-۵	-	۰-۱۵	۲۰-۵۵	۹۰-۱۰۰	۱۰۰
۴	۴/۷۵ تا ۳۷/۵	-	۰-۵	۱۰-۳۰	-	۳۵-۷۰	-	۹۵-۱۰۰	۱۰۰
۵	۲۵ تا ۱۲/۵	-	-	۰-۵	۰-۱۰	۲۰-۵۵	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	-
۶	۲۵ تا ۹/۵	-	۰-۵	۰-۱۵	۱۰-۴۰	۴۰-۸۵	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	-
۷	۲۵ تا ۴/۷۵	۰-۵	۰-۱۰	-	۲۵-۶۰	-	۹۵-۱۰۰	۱۰۰	-
۸	۱۹ تا ۹/۵	-	۰-۵	۰-۱۵	۲۰-۵۵	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	-	-
۹	۱۹ تا ۴/۷۵	۰-۵	۰-۱۰	۲۰-۵۵	-	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	-	-
۱۰	۴/۷۵ تا ۱۲/۵	۰-۵	۰-۱۵	۴۰-۷۰	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	-	-	-



دانه بندی مصالح شن (درشت دانه)

نکاتی در مورد درشت دانه ها :

- هرچه از مصالح دانه ای درشت تر استفاده شود، مشروط بر آنکه مقدار آب و سیمان ثابت باشد، مقاومت فشاری افزایش می یابد.
- کارخانه های تولید کننده شن و ماسه باید محدوده های استاندارد را رعایت کنند.
- آنچه در دانه بندی دانه درشت اهمیت دارد اندازه حداکثر دانه است نسبت به منحنی دانه بندی.
- اهمیت استاندارد بودن دانه درشت کمتر از دانه ریز است.
- هرچه اندازه حداکثر دانه بزرگتر بتن ارزان تر است.
- تجهیزات مورد نیاز برای درشت دانه گران تر از تجهیزات مورد نیاز برای ریز دانه است.
- هرچه سطح جانبی سنگ دانه بیشتر (مانند ریزدانه)، مصرف سیمان بیشتر.
- اگر هزینه تجهیزات مصرفی و اجرا را در نظر نگیریم با افزایش اندازه دانه، بتن اقتصادی تری بدست می آید.
- در پی ها حداکثر اندازه دانه ۳۷.۵ میلیمتر است.





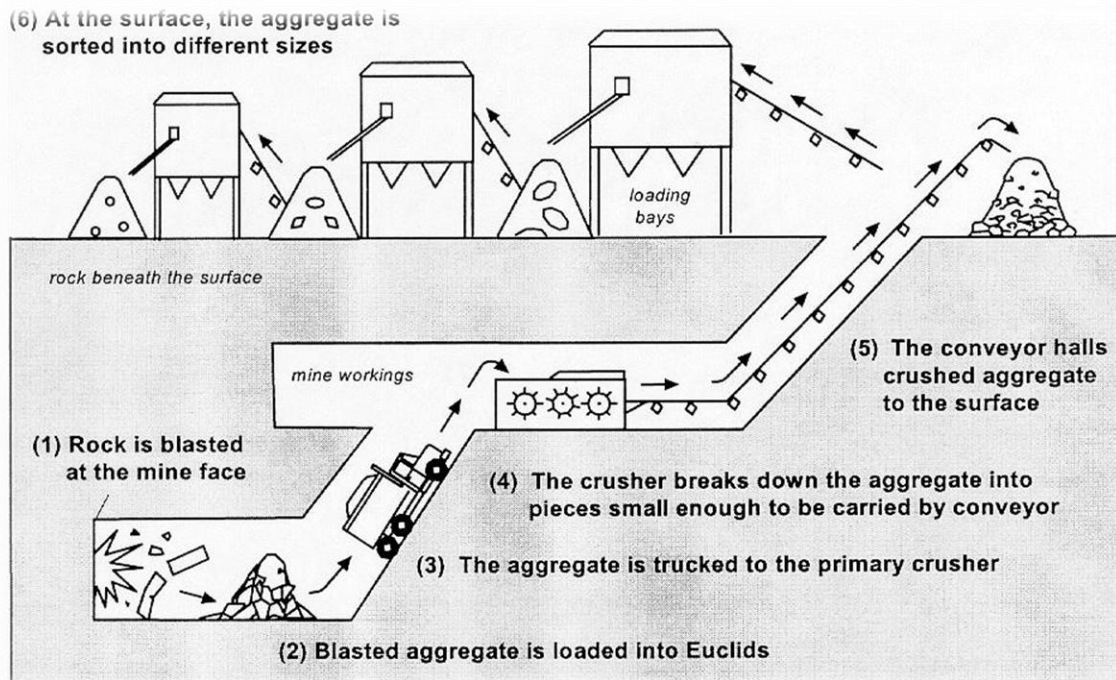
هرچه از مصالح دانه ای درشت تر استفاده شود، مشروط بر آنکه مقدار آب و سیمان ثابت باشد، مقاومت فشاری افزایش می یابد. (به شرط آنکه عبور دانه ها در قالب و بین میلگردها مختل نشود)

بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه :

اندازه کوچک ترین الکی که حداکثر ۱۰ درصد وزنی سنگدانه روی آن باقی بماند.

حداکثر اندازه اسمی سنگدانه های درشت :

- (۱) یک پنجم کوچکترین بعد داخلی قالب
- (۲) یک سوم ضخامت دال
- (۳) سه چهارم حداقل فاصله آزاد بین میلگردها
- (۴) سه چهارم ضخامت پوشش روی میلگرد
- (۵) ۳۸ میلیمتر در بتن آرمه
- (۶) ۶۳ میلیمتر در بتن غیر مسلح

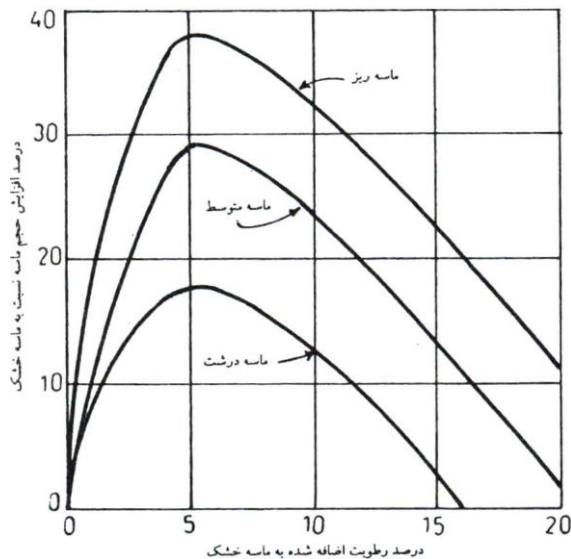




انبساط حجمی ظاهری دانه های ریز بر اثر رطوبت (ری کردن ماسه) :

ماسه در اثر رطوبت ری کرده، حجم آن زیاد می شود.
یک دانه ماسه حجمش ثابت است.

- ۱) بیشترین افزایش حجم برای ماسه در رطوبت ۵٪ حاصل می شود. هرچه رطوبت از این مقدار بیشتر شود، ری کردن رو به کاهش خواهد گذاشت لذا در ماسه های کاملاً خیس نباید نگران افزایش حجم بود. **چرا؟**
- ۲) هرچه ماسه ریز تر باشد ری کردن آن هم بیشتر است.

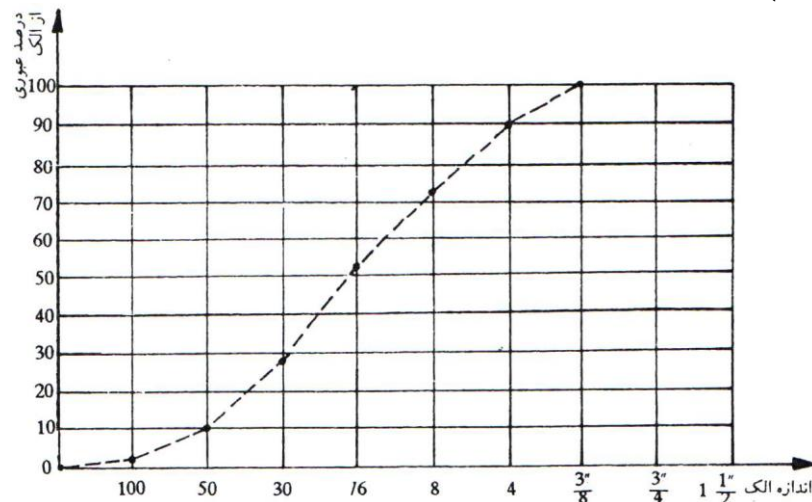


تذکر: در کارگاه های بتن سازی از پیمانانه های حجمی استفاده نشود.



مدول نرمی یا ضریب نرمی (Fineness Modulus) :

- مدول نرمی عبارت است از مجموع درصدهای تجمعی باقیمانده روی الک های استاندارد تقسیم بر صد.
- مدول نرمی ممکن است بین صفر تا ۹ متغیر باشد.
- هرچه مدول نرمی بزرگتر باشد مخلوط درشت تر (خشن تر) و هر چه مدول نرمی کوچکتر باشد مخلوط ریزدانه تر (کارا تر) است.
- مدول نرمی سنگدانه ها بیشتر برای ماسه کاربرد دارد.
- FM نشانگر ریزدانه یا درشت دانه بودن مصالح سنگی است.
- $ASTM: 2.3 < F.M < 3.1$
- در ایران به دلیل درشت دانه بودن اغلب ماسه ها FM حدود 3.2 - 3.5 بوده و گاهی به 3.7 هم می رسد.
- برای کاهش FM باید بخشی از ماسه درشت دانه را جزء شن حساب کنیم .
- FM برای در نظر گرفتن تاثیر دانه بندی روی بتن به کار می رود . ($\pm 0.1\%$)



$$F.M = \frac{(96 + 90 + 72 + 47 + 28 + 10 + 0 + 0 + 0)}{100} = 3.43$$



منافذ موجود در سنگدانه ها دو دسته اند :

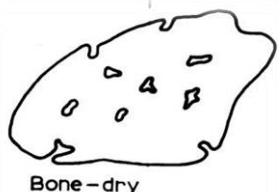
منافذ سطحی : این منافذ در سطح سنگدانه وجود دارند و می توانند در محیط اطراف خود - که در بتن خمیر سیمان است - تبادل رطوبت داشته باشند یعنی به، خمیر سیمان آب پس بدهند یا از آن آب بگیرند.

منافذ داخلی : که در فشار هوای معمولی قادر به تبادل رطوبت با محیط اطراف خود نیستند در مورد رطوبت سنگدانه از آنها صرف نظر می شود.

(۱) **کاملاً خشک (dry) (D):** یعنی هیچ رطوبتی در سنگدانه وجود نداشته باشد. برای اینکه معین کنند که سنگدانه کاملاً خشک است یا خیر نمونه ای از سنگدانه را وزن کرده و سپس تا دمای ۱۰۰-۱۰۵ درجه سانتیگراد (دمای تبخیر آب) حرارت می دهند و سپس نمونه را دوباره وزن می کنند. اگر اختلاف وزنی وجود نداشت، سنگدانه کاملاً خشک است .

برای رساندن سنگدانه به حالت کاملاً خشک، سنگدانه را به مدت ۲۴ ساعت

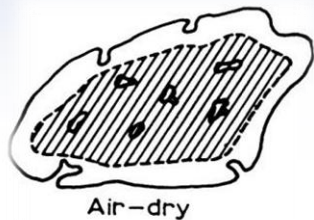
در حرارت 105 ± 5 درجه سانتیگراد قرار می دهند.





رطوبت سطحی و جذب آب دانه ها

(۲) حالت خشک (C) :

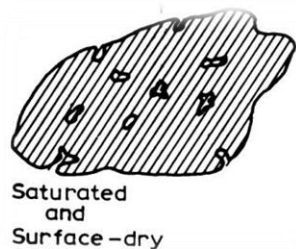


$$\text{moisture content (M.C)} = \left(\frac{C - D}{D} \right) \times 100$$

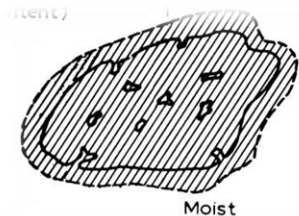
درصد رطوبت

(۳) حالت تعادل (S.S.D) (B) :

یعنی نمونه ای که منافذ سطحی آن با آب اشباع شده اند و لیکن سطح سنگدانه خشک است . اگر چنین سنگدانه ای داخل بتن قرار بگیرد، از خمیر سیمان نه آب می کشد نه به آن آب پس می دهد.



(۴) حالت مرطوب (A) : در این حالت نه تنها منافذ سنگدانه از آب اشباع هستند بلکه سطح آن هم خیس است . مثل شن های کف رودخانه



رطوبت نسبی > جذب آب



رطوبت سطحی و جذب آب دانه ها

- (۱) دانه کاملاً خشک (خشک در کوره): در طبیعت وجود ندارد زیرا هوا همواره رطوبت نسبی دارد.
 - (۲) دانه خشک در هوا (معمولی): کمی رطوبت دارد. دانه خشک در هوا؛ آب بتن را جذب می کند.
 - (۳) اشباع با سطح خشک (SSD): داخل دانه کاملاً خیس است اما سطح آن کاملاً خشک است.
 - (۴) دانه خیس (تر): فضاهای داخلی کاملاً خیس هستند و در سطح دانه ها هم آب چسبیده است.
- تذکر:** دانه خیس، آب اضافی در بتن ایجاد می کند.

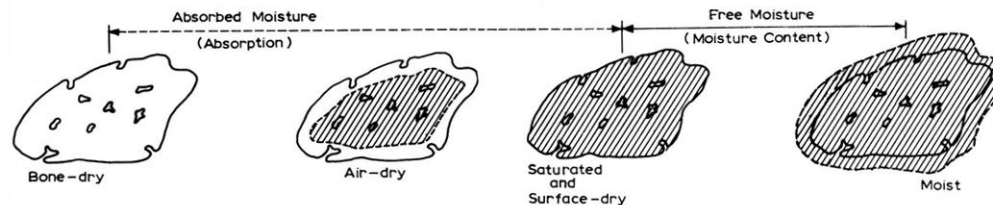


Fig. 3.5 Diagrammatic representation of moisture in aggregate



رطوبت سطحی و جذب آب دانه ها

اساس کار در آزمایشگاه ا به این صورت است که رطوبت حالت تعادل معین می شود . در کارگاه رطوبت شن و ماسه را اندازه می گیرند و با توجه به آن اصلاح لازم را اعمال می کنند . یعنی تصمیم می گیرند به شن و ماسه آب اضافه کنند یا از آنها کم کنند.

$$\bullet \quad B - D / D = \text{درصد جذب آب (absorption)}$$

در واقع در صد جذب آب رطوبت نسبی سنگدانه هاست وقتی سنگدانه ها در حال تعادل باشند.

در زیر یک طرح بتن نشان داده شده است . با توجه به درصد رطوبت و درصد جذب آب اصلاحات لازم را انجام دهید . محاسبات براساس حالت تعادل یا ssd است (گاهی محاسبات بر اساس حالت خشک انجام می گیرد)

آب نسبت به حالت تعادل کم دارد $1000 (4 - 1) / 100 = 30 \text{ kg}$: شن

آب نسبت به حالت تعادل اضافه دارد $800 (2 - 6) / 100 = 32 \text{ kg}$: ماسه

۲ کیلو گرم آب اضافه دارد

مصلح	وزن	درصد رطوبت	درصد جذب آب	وضعیت رطوبتی	وضعیت نهایی
شن	۱۰۰۰ kg	۱٪	۴٪	حالت مرطوب	۹۷۰
ماسه	۸۰۰ kg	۶٪	۲٪	حالت خیس	۸۳۲
سیمان	۳۰۰ kg	_____	_____		۳۰۰
آب	۱۵۰ kg	_____	_____		۱۴۸



حدود ۷۵٪ حجم بتن را سنگدانه ها تشکیل می دهند . بنابراین اگر سنگدانه ها مقاومت کافی نداشته باشند مجموعه بتن نمی تواند مقاومت مطلوبی داشته باشد.

برای اندازه گیری مقاومت سنگدانه به دو روش عمل می شود:

۱. مقاومت قطعه سنگی که سنگدانه را از آن به دست می آورند را اندازه می گیرند .

الف : با اِره الماسی قطعات مکعب شکلی از سنگ بریده و مقاومت آن را اندازه می گیرند. چون لایه یک مکعب با اضلاع مساوی و عمود بر هم معمولاً دشوار است، از روش دوم استفاده می شود.

ب : از مغزه یا core که یک استوانه با لبه الماس که با سرعت زیاد می چرخد، یک استوانه از سنگ بریده و استوانه را تحت بار قرار داده و مقاومت را اندازه می گیریم.

مقاومت سنگهای معمولی $780 - 800 \text{ kg/cm}^2$ می باشد.

۲. مقاومت شن را اندازه می گیرند :

۱-۲) ارزش ضربه ای

۲-۲) ارزش خرد شدن

۲-۳) سایش لوس آنجلس



۲-۱) ارزش ضربه ای

- برای انجام این آزمایش، دانه های شن را از الک معینی عبور داده (شماره الک طبق استاندارد معین می شود.) و مقدار مانده روی الک را وزن کرده و در استوانه می ریزند :
- وزنه را تا حد معینی بالا برده و رها می کنند . وزنه به سنگدانه ها برخورد کرده و آنها را خرد می کند . عمل بالا بردن و رها کردن وزنه را ۱۵ بار تکرار می کنیم . بعد از ۱۵ بار نمونه را از ظرف خارج کرده و مجدداً الک می کنیم. بدلیل خرد شدن سنگدانه ها ، درصدی از آنها از الک رد می شود . هر چه مقاومت سنگدانه ها کمتر باشد، درصد رد شده بیشتر می شود.

۲-۲) ارزش خرد شدن

- برای انجام این آزمایش دانه های شن را الک کرده ، وزن دانه های مانده روی الک را اندازه گرفته و آنها را در استوانه ای با جدار ضخیم می ریزیم و ظرف را در دستگاه فشار قرار می دهیم :
- ۴۰ تن بار در ظرف ۱۰ دقیقه به استوانه وارد می کنیم (40 ton/min) سپس بار را برداشته و سنگدانه ها را الک می کنیم. سپس درصد رد شده را محاسبه می کنیم. هر چه دانه ها شکسته تر باشند درصد بیشتری از الک عبور می کند.





۲-۳) سایش لوس آنجلس

• دستگاه لس آنجلس از یک استوانه فولادی تشکیل شده است که دریاچه ای دارد که دانه ها را از آن دریاچه می ریزیم . داخل دستگاه تعدادی گلوله فولادی وجود دارد که تعداد و اندازه گلوله ها طبق استاندارد معین می شود . (استاندارد ASTM)

• توجه کنید در استاندارد ASTM برای آزمایش لس آنجلس دو روش A و B وجود دارد که تعداد و نوع گلوله در این دو روش تفاوت دارد.

• برای انجام این آزمایش نمونه ای را وزن کرده و از روی الک معینی عبور می دهیم. درصد مانده روی الک را وزن می کنیم. سپس نمونه را در دستگاه می ریزیم. دستگاه مشابه آسیاب گلوله ای عمل می کند و با سقوط گلوله ها از بالا و برخورد آن ها به سنگدانه ها، سنگدانه ها خرد می شوند. پس از اینکه دستگاه تعداد معینی دور زد (۵۰۰ یا ۱۰۰۰ دور) نمونه را از دستگاه خارج کرده و از الک عبور می دهیم. درصد رد شده از الک را محاسبه می کنیم. هر چه سنگدانه ها سخت تر باشند میزان ساییدگی کمتر خواهد بود.

• در آزمایش لس آنجلس درصد عبوری از ۴۰٪ نباید بیشتر باشد .

نکته : این دستگاه به تنهایی مقاومت سایشی بتن را تعیین نمی کند. با اینکه هر چه سایش سنگدانه ها کمتر باشد، سایش بتن کمتر می شود ولی سایش بتن به عوامل دیگری مثل خمیر سیمان و چسبندگی خمیر سیمان به سنگدانه ها بستگی دارد. برای سنجش مقاومت سایشی بتن دستگاههای ویژه ای وجود دارد.





* برخی از مشخصات الزامی سنگدانه های مصرفی در بتن (مبحث ۹)

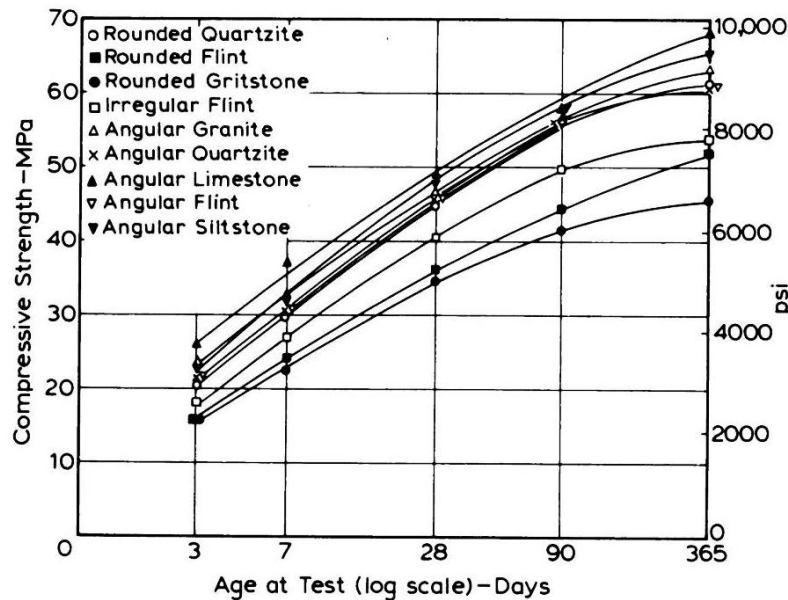


Fig. 6.19 Relation between compressive strength and age for concretes made with various aggregates (water/cement ratio = 0.5)^{6,39} (Crown copyright)

ردیف	شرح	نوع سنگدانه	حداکثر مقدار مجاز	حداقل مقدار مجاز	شماره استاندارد ملی ایران برای روش آزمون مربوطه
۱	میزان کاهش وزن، در آزمایش لس آنجلس (درصد)	شن	۵۰	-	۴۴۸
۲	میزان افت وزنی، در آزمایش سلامت با سولفات سدیم (درصد)	شن	۱۲	-	۴۴۹
۳	میزان افت وزنی، در آزمایش سلامت با سولفات سدیم (درصد)	ماسه	۱۰	-	۴۴۹
۴	میزان افت وزنی، در آزمایش سلامت با سولفات منیزیم (درصد)	شن	۱۸	-	۴۴۹
۵	میزان افت وزنی، در آزمایش سلامت با سولفات منیزیم (درصد)	ماسه	۱۲	-	۴۴۹



۱) خاک رس و ذرات ریز تر از الک ۲۰۰

- اولین و مهمترین ماده زیان آور خاک رس است که به دو صورت همراه سنگدانه وارد بتن می شوند :
- این مواد چون سطح جانبی زیادی دارند سبب افزایش آب طلبی بتن می شوند و این مواد باعث افزایش آبرفتگی می شوند (ترک خوردن بتن بعد از سفت شدن بتن)

۱-۱) پودر نرم خاک رس

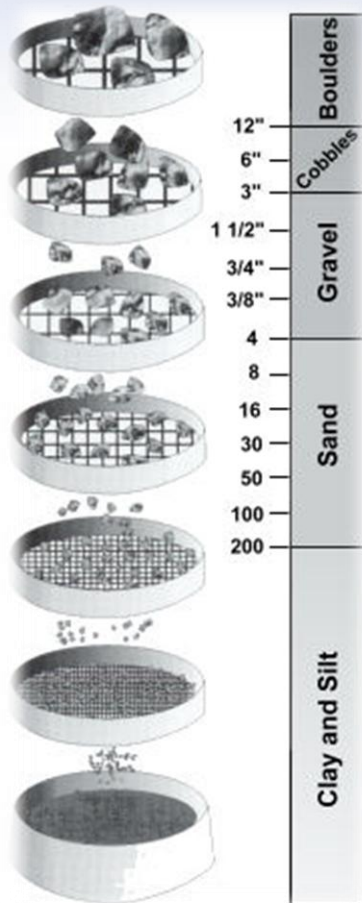
- پودر نرم خاک رس می تواند به همراه سنگدانه ها باشد و پوششی برای سنگدانه ها فراهم کند که مانع چسبندگی کامل بین سنگدانه و خمیر سیمان می شود که در این صورت بتن مقاومت مطلوبی نخواهد داشت.
- در صورتیکه بتن تحت فشار قرار گیرد ترک حاصله از حد فاصل سیمان و سنگدانه عبور می کند .

۱-۲) کلوخه

- خاک رس گاه به صورت کلوخه همراه شن و ماسه وارد بتن می شود . این کلوخه ها در داخل بتن به خود آب جمع کرده و منبسط می شوند و باعث برون پریدگی بتن گردیده که تحت برون پریدگی سطحی از آن یاد می شود. POP OUT

کلوخه های رسی مضرتر از خاک رس هستند زیرا :

- ۱- در حالت عادی شبیه دانه های سنگی هستند و باعث انبساط و ترکاندن بتن می شوند.
- ۲- تبدیل به خاک رس می شوند و مضرات خاک رس را خواهند داشت.





آزمایش های تعیین میزان پودر رس موجود در ماسه

الف) SE $MIN = 75\%$

ب) عبوری از الک ۲۰۰

• برای بتن های معمولی $MAX = 5\% - 8\%$

• برای بتن های کاربردی در نما $MAX = 3\%$

ج) B - S

برای انجام این آزمایش در یک استوانه به حجم ۲۵۰ سی سی، ۵۰ سی سی محلول نمک طعام می ریزیم. (۱ گرم نمک در الیتر آب). سپس آنقدر در استوانه ماسه می ریزیم که حجم آن به ۱۰۰ سی سی برسد. سپس آنقدر آب اضافه می کنیم تا حجم مخلوط به ۱۵۰ سی سی برسد. سپس دست خود را بالای استوانه قرار می دهیم و مخلوط را به هم می زنیم. بعد استوانه را به مدت یک تا دو ساعت رها می کنیم تا مواد ته نشین شوند:

به ترتیب دانه های زیر از پایین به بالا ته نشین می شوند:

دانه های درشت، دانه های ریز لای و در بالای همه رس

سپس در صد را محاسبه می کنیم .

نقش این نمک در این آزمایش این است که دانه های خاک رس را بطرف هم میکشد و سبب لخته شدن و رسوب رس می شود.



(د) لیوان آب

در یک لیوان مقداری ماسه می ریزیم و از میزان گل آلود بودن آب به مقدار رس می توان پی برد .

(ه) چسبندگی به دست

ماسه را کمی تر کرده و بدست می مالیم. رس تبدیل به گل می شود و به کف دست می چسبد .

آزمایش تعیین میزان کلوخه رس

- در داخل یک ظرف آب ریخته و نمونه شن یا ماسه را در آن می ریزیم. ۳ تا ۴ ساعت صبر می کنیم. سپس دانه ها را بین دو انگشت فشار می دهیم اگر رس کلوخه وجود داشته باشد، بین دو انگشت خرد می شود.

MAX = 0.25% for GRAVEL

MAX = 0.3% for SAND



۲) ذرات سبک مانند چوب و زغال سنگ

- این مواد مقاومت را کم می کنند و مهمتر آنکه باعث کاهش دوام بتن می شوند .
- موادی که نفوذپذیر باشند دوام را کاهش می دهند. موادی که با نفوذ آب، باد می کنند باعث ترکاندن سطح بتن می شوند. بعضی مواقع با نفوذ آب مواد پوسیده می شوند و حفره ای در بتن ایجاد می کنند به طوری که آب به راحتی در بتن جریان می یابد.
- تذکر:** مقدار مجاز این ماده برای ریزدانه ها یا ماسه ها ۱ درصد و برای شن ۰/۵ درصد است .

۳) میکا

- تذکر:** مقدار مجاز این ماده برای ریزدانه ها یا ماسه ها ۱ درصد است .

۴) املاح (کلر / سولفات) چسبیده به سطح دانه:

- این املاح در آب اختلاط حل شده و می توانند صدمه شیمیایی به بتن و آرماتور وارد کنند .
- کمترین ضرر این املاح این است که باعث شوره زدن سطحی بتن می شود.
- املاح بیشتر از طریق دانه وارد بتن می شوند تا همراه آب
- تذکر:** مقدار مجاز سولفات برای ماسه ۱ و شن ۰/۴ درصد است .
- تذکر:** مقدار مجاز کلرید برای ماسه ۰/۰۴ درصد و برای شن ۰/۰۲ درصد است .



انواع واکنش های جاری مواد خارجی با سنگدانه ها

(۱) واکنش های قلیایی – سیلیسی

- بیشتر برای سنگ های آمورف یا بی شکل یا سنگهای بدون کریستال رخ می دهد.
- اپال، بعضی چرت ها و کوارتزیت

(۲) واکنش های قلیایی – کربناتی

- بسیار کند و در عرض چندین سال پیشرفت می کنند.
- نشانه این واکنش ها ترک های نامنظمی است که روی سطح بتن ایجاد می شود و به آرامی و به شرط وجود رطوبت در محیط پیشرفت می کنند و در نهایت بتن را تخریب می کنند.
- چون پیشرفت این واکنش ها تدریجی است معمولا خطر جانی ایجاد نمی کنند.
- بروز در پروژه های سد سازی
- برای نوعی دلومیت رخ می دهد.



جدا سازی عناصر زیان آور در سنگدانه ها



(۱) شستشوی کامل مصالح (بهترین روش اصلاح دانه)

- با شستن کامل و مناسب دانه ها می توان عناصر زیان آور دانه ها را جدا کرد.
- برای شستن دانه ها ، دانه ها را در مخلوط کن ریخته و آب را به آن اضافه می کنیم. پس از چند بار مخلوط شدن تمیز خواهند بود. بعضی از عناصر مانند ذرات پوک و سست با شسته شدن از دانه جدا نمی شوند .



(۲) روش های اصلاح دانه (هزینه بر)

الف) لرزاندن هیدرولیکی

- دانه ها را در سبدهای بزرگی ریخته و سبد در آب می لرزد، دانه های سبک که دارای املاح هستند رو آمده و دانه های سنگین می مانند.

ب) ضربه زدن، خرد کردن، الک کردن

- دانه ها را در دستگاهی ریخته و به آن ضربه می زنند، دانه های سست خرد شده و آنها را از الک عبور می دهند تا دانه های خرد شده خارج شوند .

تذکر: دانه ها باید تمیز، سخت، محکم باشند و سپس مورد استفاده قرار بگیرند.





عملکرد واقعی سنگدانه در محیط مورد نظر مستلزم تجربه است ولی می توان با انجام آزمایش هایی وضعیت آن را تقریبی تشخیص داد.

(۱) آزمایش تتروگرافی:

- واکنش قلیایی (ASTM C289-94) - سیلیسی

- تشخیص نوع سنگ مصالح سنگی کاربردی

الف) مشخص می کند که در سنگ سیلیس وجود دارد یا نه

ب) آیا سیلیس آمورف است یا بلوری

(۲) آزمایش سریع شیمیایی :

- آزمایشی تقریبی و کاربرد در گذشته

- مزیت آن سرعت انجام آن است .

- پودر ماسه را با سود سوز آور مخلوط کرده و دو پارامتر RC (مقدار سیلیس حل شده در سود یک نرمال (میلی مول در لیتر)) و SC (کاهش مقدار قلیایی محلول سود یک نرمال (میلی مول در لیتر)) را مشخص می کنند .



۳) آزمایش ملات منشوری :

- ماسه کاربردی در کارگاه را با سیمان درصد قلیا بالا جهت تهیه ملات منشوری مخلوط کرده
- اندازه گیری طول منشور
- گذاشتن منشور در محیط مرطوب
- اندازه گیری طول منشور به مرور زمان
- اندازه گیری طول منشور پس از ۲۸ روز و مقایسه با عدد آیین نامه

۴) آزمایش بتن های منشوری :

- تهیه بتن منشوری بزرگتر از ملات منشوری با دقت بیشتر
- دقیق تر
- اساس کار اندازه گیری افزایش طول در معرض رطوبت است .



نکات :

(۱) حتی الامکان از سنگدانه هایی که تتروگرافی نشان می دهد واکنش زا هستند استفاده نشود.

(۲) معادل قلیایی سیمان در حد مجاز نگه داشته شود.

$\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{K}_2\text{O} < 0.6 \%$ = معادل قلیایی سیمان

معادل قلیایی سیمان تا حد زیادی به جنس مواد اولیه به کاررفته در سیمان و به میزان کمی هم به فرآیند تولید آن بستگی دارد.

(۳) محل استقرار سازه بتنی

(۴) استفاده از مواد پزولانی و سوپر پزولانی



(۱) بتن تازه یا تر

(۲) بتن سخت شده

(۱.۲) کوتاه مدت

کارایی : با کمترین مقدار کار (تجهیزات / نوع بتن / کاربری بتن) بتوانیم عملیات اجرایی بتن را انجام دهیم .

- هرچه روانی بتن بیشتر باشد کارایی بتن بیشتر است .
 - برای سنجش روانی بتن از دستگاه مخروط اسلامپ استفاده می شود .
 - اسلامپ برای بتن های روان و خیلی سفت جواب نمی دهد .
 - مقاومت (تابعی از کیفیت خود بتن، انتخاب مصالح، طرح اختلاط بتن، مسائل اجرایی)
 - ملاک پذیرش یا رد بتن مقاومت ۲۸ روزه است و مقاومت ۷ روزه (۶۰ تا ۷۰ درصد) جهت تخمین مقاومت ۲۸ روزه کاربرد دارد .
- (۲.۲) دراز مدت



- میزان حرارت آزاد شده در اثر هیدراتاسیون سیمان (واکنش سیمان با آب) یکی از خصوصیات سیمان است که در انتخاب نوع سیمان برای بتن ریزی های گوناگون موثر است .
- برای انواع مختلف سیمان، حرارت هیدراتاسیون متفاوت است.
- حرارت هیدراتاسیون به اجزا سیمان و سرعت هیدراتاسیون هم بستگی دارد .حرارت هیدراتاسیون به ترتیب برای C_3S ، C_3A بیشترین مقدار را دارد.
- حرارت هیدراتاسیون را بر حسب کالری بر گرم بیان می کنند . متوسط حرارت هیدراتاسیون سیمان 120cal/gr می باشد.
- 1gr سیمان باید کاملاً هیدراته شود تا 120cal گرما بدهد. بخش عمده گرما، در روزهای اول آزاد می شود و $30-40\%$ باقی مانده، ماه ها و سال ها طول می کشد تا آزاد شود .
- جهت سنجش حرارت هیدراتاسیون از ظرفی پلاستیکی یا شیشه ای آغشته به موم که درون آن اسید HCL یا HF قرار دارد استفاده می شود. اختلاف دمای پودر سیمان و قرص سیمان نشانگر حرارت هیدراتاسیون آن سیمان تا آن عمر است .



- میزان آب در بتن معمولاً با نسبت وزنی آب به سیمان W/C نشان داده می شود.
- قسمتی از آب بتن (حدود ۲۵٪ وزنی سیمان)، جذب ذرات سیمان شده و در واکنش های شیمیایی (هیدراسیون) به کار گرفته می شود.
- هرچه W/C را کمتر (۴۰٪ الی ۶۰٪) در نظر بگیریم بهتر می باشد.

آب اضافی موجود در بتن :

- الف) فضا اشغال می کند
- ب) تبخیر می شود
- ج) فضای خالی ایجاد می کند
- د) از حجم مفید بتن می کاهد

محاسن استفاده از نسبت آب به سیمان کمتر :

- | | |
|------------------------------------|---|
| ۱) افزایش مقاومت فشاری و کششی بتن | ۲) افزایش خاصیت آب بندی در بتن |
| ۳) کاهش جذب آب | ۴) پیوستگی بهتر بین لایه های متوالی در بتن ریزی |
| ۵) افزایش چسبندگی بین میلگرد و بتن | ۶) افزایش مقاومت در مقابل شرایط جوی نامساعد |
| ۷) کاهش میزان افت | ۸) کاهش میزان خزش |
| ۹) کاهش امکان آب انداختن | ۱۰) کاهش امکان جدا شدن دانه ها |

مزیت استفاده از نسبت آب به سیمان بیشتر :

- ۱) افزایش روانی و کارایی

توجه : کار کردن با بتنی با W/C کمتر از ۴۰٪ مشکل می باشد.



نرمی ذرات پارامتری است از ریزی و درشتی ذرات سیمان

سیمان ریزتر < سطح مخصوص **ب** < واکنش با آب **ب** < کسب مقاومت سریع تر < حرارت هیدراتاسیون **ب**

افزایش نرمی

- افزایش سرعت هیدراتاسیون و کسب مقاومت (حسن)؛
- افزایش گرمای ناشی از هیدراتاسیون (اشکال)؛
- کامل تر شدن هیدراته شدن ذرات سیمان؛
- افزایش آب طبیعی سیمان (اشکال: کم شدن مقاومت بر اثر آب اضافه)؛
- افزایش میزان گچ لازم برای آسیاب شدن با سیمان (در درازمدت گچ اثرات منفی دارد و باعث کم دوام شدن بتن و سیمان می شود)؛
- افزایش آب رفتگی؛

وزن مخصوص سیمان :

- وزن مخصوص دانه ای : وزن دانه ای سیمان تقسیم بر حجم دانه ها بدون منظور کردن فضای بین آنها $3/14$ گرم بر سانتیمتر مکعب می باشد.
- وزن مخصوص حجمی (انبوهی) Bulk Density : وزن دانه ای سیمان تقسیم بر حجم دانه ها با منظور کردن فضای بین آن ها $1/7$ گرم بر سانتی متر مکعب می باشد . این آزمایش بر روی سیمان متراکم نشده انجام می شود. (جهت برآورد حجم مخازن برای انبار کردن سیمان)



نرمی ذرات سیمان (Fineness)

نکته: هرچه سیمان نرم تر \Leftarrow ترک می خورد.

اگر ذره سیمان و آب اطراف آن را در نظر بگیریم، آب با سیمان ترکیب می شود و تشکیل ژل سیمان را می دهد. برای اینکه ادامه ذره سیمان هیدراته شود آب باید از ژل سیمان رد شده و به بقیه ذره برسد و ترکیب شود و این سخت است.

نکته: هرچه ذره کوچک تر باشد هیدراته شدن آن راحت تر و سریع تر خواهد بود.

طریقه اندازه گیری نرمی:

نرمی را نمی توان به روش مکانیکی اندازه گیری کرد چون ذرات سیمان بسیار ریز هستند.

نرمی به دو روش اندازه گیری می شود:

(۱) دستگاه بلین (Blaine): میزان هواگذری ذرات سیمان؛

هر چه ذرات سیمان ریز تر باشد، سطح مخصوص بیشتر و زمان لازم جهت عبور حجم معینی هوا از درون آن ها طولانی تر است .

(۲) دستگاه کدرسنج واگنر (Wagner Turbid meter):

هرچه ذرات ریزتر \Leftarrow محیط کدرتر \Leftarrow دریافت نور کمتر توسط گیرنده

واحد نرمی بلین می باشد.



بتن تازه (بتن شل) :

- مخلوط آب و سیمان و دانه سنگی
- مقاومتی ندارد.
- دارای خاصیت روانی می باشد.

کارایی بتن :

- سهولت کار با بتن را کارایی می گویند.
- سهولت، حمل، بتن ریزی و تراکم در صورتی که اجزای آن از هم جدا نشود.
- هر چه بتوان با بتن راحت تر کار کرد بتن کاراتر است.
- با اضافه کردن سیمان کارایی بتن افزایش و هزینه ساخت بالا می رود.
- اگر دانه سنگی ریز (گوشه دار و ...) باشد کارایی ↓ و اگر دانه سنگی گرد گوشه باشد کارایی ↑ خواهد شد.
- هرچه دانه سنگی درشت بیشتر و سیمان کمتر باشد، کارایی کاهش پیدا می کند.
- حداقل کارایی مجاز به دست آمده کفایت.
- معیار اندازه گیری کارایی اسلامپ میباشد.



این آزمایش برای بدست آوردن درجه کارایی بتن به کار گرفته می شود.

روش انجام آزمایش :

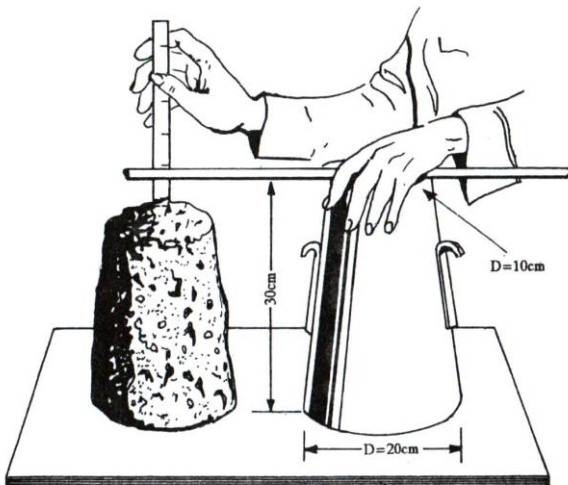
- ۱) در سه لایه آن را با بتن پر می کنند
- ۲) هر لایه را با ۲۵ ضربه میله فولادی استاندارد که قطر آن ۱۶ میلیمتر است و انتهای آن گرد شده، می کوبند.
- ۳) سطح فوقانی بتن را با حرکت برشی و چرخشی میله کوبنده، صاف می کنند.
- ۴) در تمام مراحل قالب باید بدون حرکت روی سطح صاف نگاه داشته شود.
- ۵) بلافاصله پس از پر نمودن مخروط ناقص با بتن، آن را به آرامی بالا می کشند.



آیین نامه BS: فرونشستن بتن تا بلندترین نقطه آن سنجیده می شود.

آیین نامه ASTM: فرونشستن بتن تا محل جابجا شده مرکز اصلی بتن اندازه گرفته می شود.

- به صورت نظری، می توانیم اسلامپ صفر تا ۳۰ سانتی متر را داشته باشیم.
- عدد اسلامپ برای کارهای بتن آرمه ۵ الی ۱۰ سانتیمتر و برای کارهای بدون آرماتور یا با آرماتور کم ۲ الی ۵ سانتیمتر انتخاب می شود.
- هرچه اسلامپ کمتری انتخاب شود، بتن سفت شده خواص مطلوب تری خواهد داشت.





مشکلات ایجاد شده در بتن تازه

(۱) آب انداختن

- ظاهر شدن یک لایه نازک آب آغشته به سیمان، روی سطح بتن
- کاهش آب و شسته شدن سیمان در قسمت های میانی و افزایش آب در قسمت های بالایی بتن

حداکثر نسبت آب به سیمان مجاز برای بتن با مقاومت های فشاری مختلف

ردیف	مقاومت فشاری بتن (مگاپاسکال)	بتن معمولی	بتن با حباب هوا
۱	۱۵	۰/۸۰	۰/۷۱
۲	۲۰	۰/۷۰	۰/۶۱
۳	۲۵	۰/۶۲	۰/۵۳
۴	۳۰	۰/۵۵	۰/۴۶
۵	۳۵	۰/۴۸	۰/۴۰
۶	۴۰	۰/۴۲	-
۷	۴۵	۰/۳۸	-

مشخصات نامطلوب آب انداختن :

(الف) کاهش مقاومت بتن

(ب) بوجود آمدن پدیده پودر شدگی (سفت شدن زیاد رویه و پودر شدن در اثر تردد)

زمان لازم برای لوزاندن بتن با توجه به اسلامپ آن

نوع بتن	اسلامپ (میلی متر)	مدت لوزاندن (ثانیه)
فوق آماده خشک	-	۳۲-۱۸
خیلی سفت	-	۱۸-۱۰
سفت	۳۰-۰	۱۰-۵
سفت خمیری	۸۰-۳۰	۵-۳
خمیری	۱۳۰-۸۰	۳-۰
روان	۱۸۰-۱۳۰	-

دلایل ایجاد آب انداختن :

(الف) اسلامپ بیش از حد (مهمترین دلیل)

(ب) ویبره بیش از حد

(ج) نامناسب بودن دانه بندی



مشکلات ایجاد شده در بتن تازه

۲) جدا شدن دانه ها

این پدیده در بتن تازه بوجود می آید.

دانه های درشت به سمت پایین نشست کرده و دانه های ریز به سمت بالا منتقل می شوند در نتیجه بتن یکنواختی خود را از دست داده و توزیع دانه بندی به هم می خورد.

میزان تقریبی آب مصرفی بتن بر حسب لیتر در متر مکعب

نوع بتن	اندازه بزرگترین دانه ها (میلی متر)								اسلامپ (میلی متر)
	۱۵۰*	۷۵	۵۰	۳۷/۵	۲۵	۱۹	۱۲/۵	۹/۵	
بتن معمولی	۱۲۵	۱۴۵	۱۵۵	۱۶۰	۱۸۰	۱۸۵	۲۰۰	۲۰۵	۵۰ - ۳۰
	۱۴۰	۱۶۰	۱۷۰	۱۷۵	۱۹۵	۲۰۰	۲۱۵	۲۲۵	۱۰۰ - ۸۰
	-	۱۷۰	۱۸۰	۱۸۵	۲۰۵	۲۱۰	۲۳۰	۲۴۰	۱۸۰ - ۱۵۰
	۰/۲	۰/۳	۰/۵	۱	۱/۵	۲	۲/۵	۳	درصد تقریبی هوای موجود در بتن
بتن هوادار	۱۲۰	۱۳۵	۱۴۰	۱۴۵	۱۶۰	۱۶۵	۱۷۵	۱۸۰	۵۰ - ۳۰
	۱۳۵	۱۵۰	۱۵۵	۱۶۰	۱۷۵	۱۸۰	۱۹۰	۲۰۰	۱۰۰ - ۸۰
	-	۱۶۰	۱۶۵	۱۷۰	۱۸۵	۱۹۰	۲۰۵	۲۱۵	۱۸۰ - ۱۵۰
	۳	۳/۵	۴	۴/۵	۵	۶	۷	۸	منوسط هوای توصیه شده (درصد)

* میزان اسلامپ برای بتن هایی که حداکثر قطر دانه ها بیش از ۳۷/۵ میلی متر است، باید پس از حذف مصالح بزرگتر از ۳۷/۵ میلی متر تعیین شود.

مشخصات نامطلوب آب انداختن :

الف) کاهش مقاومت فشاری

ب) کاهش مقاومت خمشی

دلایل ایجاد آب انداختن :

الف) اسلامپ بیش از حد (مهمترین دلیل)

ب) ویبره بیش از حد

ج) جابجا کردن بتن در قالب بوسیله بیل یا ویبراتور

د) ریختن بتن از ارتفاع

ه) انبار کردن نامناسب دانه ها



تراکم بتن یعنی به حرکت درآوردن ذرات بتن، کم کردن اصطکاک بین آنها و خارج کردن حباب های هوا از بتن به کمک ارتعاش می باشد.



اهداف متراکم کردن بتن :

- (۱) خارج کردن حباب هوا
- (۲) بتن با مقاومت بالاتر
- (۳) بتن با دوام تر در برابر عوامل محیطی
- (۴) بدست آوردن سطح صاف و صیقلی و بدون خلل و فرج





(۱) ویبره دستی :

ساده ترین نوع ویبره

بصورت میله ای یا شلنگی

میله لرزان را به فاصله هر ۰/۵ الی ۱ متر درون بتن فرو برده و هر بار بین ۵ تا ۳۰ ثانیه در بتن نگه می دارند.



(۲) ویبره لرزاننده قالب :

این ویبره در مجاورت قالب بتن قرار می دهند یا به آن متصل می کنند.

(۳) ویبره میزی :

معمولا در کارگاه های بتن پیش ساخته مورد استفاده قرار می گیرد



نکات :

- ویبره بیش از حد مضر است (باعث آب انداختن و جداسدن دانه ها)
- هرچه کارایی (اسلامپ) بیشتر، ویبره کمتر و برعکس



گیرش : تغییر وضعیت ژل سیمانی از حالت خمیری به حالت جامد را گیرش می گویند .

- یکی از عوامل موثر در گیرش ، دمای هوا است .
- هوا گرم ← گیرش سریعتر
- هوا سرد ← گیرش بتن خیلی کند است و حتی تا یک روز ممکن است بتن سفت نشود .
- گیرش به معنای کامل شدن هیدراسیون نیست بلکه در زمان گیرش ۲۰-۱۰ درصد هیدراسیون پیش رفته است .
- برای ادامه هیدراسیون تا رسیدن به مقاومت مناسب ، بتن باید مرطوب نگه داشته شود و عمل آوری گردد .
- عملیات انتقال ، پمپ ، در قالب ریختن و احتمالاً پرداخت سطحی بتن در زمان گیرش انجام می شود.

دو نوع زمان گیرش داریم:

(۱) **گیرش اولیه:** شروع به جامدشدن نموده است.

(۲) **گیرش نهایی:** سیمان کاملاً جامد می شود.

- تا قبل از گیرش اولیه سیمان حالت خمیری دارد .
- برای تعیین گیرش از دستگاه ویکات استفاده می شود.
- بعد از شروع شدن گیرش اولیه سیمان عملاً نباید دیگر از سیمان استفاده کرد.
- گیرش اولیه یک تا دو ساعت طول می کشد و گیرش نهایی از دو ساعت به بعد.
- حداقل زمان گیرش اولیه با هر نوع سیمان ۴۵ دقیقه و حداکثر زمان گیرش نهایی با هر نوع سیمان ۶ ساعت.
- گیرش به دمای هوا، عوامل محیطی و ... بستگی دارد.



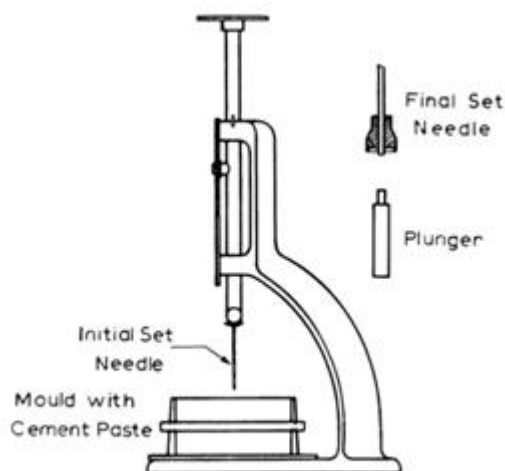
جهت تعیین زمان گیرش اولیه ظرف مخروطی شکل را با خمیر سیمان ساخته شده با آب متعارف پر کرده و پس از تسطیح آن نوک سوزن به سطح قاعده ۱ میلی متر مربع را بر آن مماس کرده و سپس پیچ را شل و میزان نفوذ سوزن و میلیه ۳۰۰ گرمی به داخل سیمان در فواصل زمانی معین اندازه گیری می شود.

زمان گیرش اولیه Initial Setting Time :

- زمان گیرش اولیه زمانی است که سوزن به اندازه ۲۵ میلی متر در خمیر سیمان نفوذ کند .

زمان گیرش نهایی Final Setting Time :

- زمان گیرش نهایی زمانی است که سوزن به
- اندازه ۰/۵ میلی متر در خمیر سیمان نفوذ کند
- یا قاعده کلاهک بر روی سطح خمیر بنشیند .





گیرش‌های غیرعادی

(۱) گیرش کاذب (دروغی) False Set :

علت گیرش کاذب گچ است نه هیدراسیون.

داغ بودن کلینکر هنگام آسیاب و تبدیل سنگ گچ به گچ در اثر تبخیر شدن ۲ ملکول آب سنگ گچ است که این گچ در مجاورت آب سفت می شود. با توجه به میزان کم گچ در مقایسه با حجم بتن توانایی سفت کردن بتن را ندارد و شبکه های سفت شده در اثر هم زدن بتن با بیل یا هر وسیله دیگر گسسته شده و گیرش از بین می رود .

گیرش کاذب گیرشی برگشت پذیر است .

(۲) گیرش آنی (برق آسا) Flash Set :

در اثر کمبود سنگ گچ در سیمان و واکنش سریع C3A با آب

عدم استاندارد بودن سیمان یا نرم بودن شدید ذرات سیمان

گیرش کاذب گیرشی برگشت پذیر نیست .



مراقبت از بتن (عمل آوری بتن)

ایجاد شرایط مناسب برای ادامه هیدراسیون سیمان

(۱) رطوبت کافی

برای بعمل آوردن بتن به رطوبتی حداقل معادل ۸۰٪ نیاز است و اگر این رطوبت در حد ۱۰۰٪ باشد، مناسب تر خواهد بود.

(۲) درجه حرارت مناسب

بهترین درجه حرارت برای نگهداری بتن ۱۳ درجه سانتیگراد می باشد

حساسیت بتن به درجه حرارت چندان زیاد نمی باشد

عواقب عدم مراقبت و یا مراقبت ناقص :

(۱) افت مقاومت فشاری و خمشی

(۲) ایجاد زمینه پودرشدگی سطحی بتن (سیمان سطح بتن به علت تبخیر آب سطحی وارد واکنش نمی شود)

(۳) افزایش میزان افت در بتن (بوجود آمدن ترک در سطح آن)

(۴) افزایش میزان خزش در بتن

نکات :

- هرچه هیدراسیون سریعتر در نتیجه عمل آوری و رسیدن به مقاومت مورد نظر بهتر
- دوره عمل آوری بین ۳ تا ۷ روز است .
- دمای بتن در عمل آوری عملاً باید بالای ۵ درجه باشد ولی حدود دما در عمل آوری بین ۱۰- تا ۴ درجه می تواند باشد .
- در هوای سرد مدت عمل آوری بیشتر است .
- 86 دمای محیط نباید زیاد پایین بیاید تا بتن خشک نشود .



خشک شدن بتن از سطح شروع شده و به عمق نفوذ می کند.
قسمت های میانی به علت از دست ندادن رطوبت زمان زیادی برای خشک شدن نیاز دارند
قسمتی از بتن که رطوبت آن در طول دوره مراقبت از ۸۰٪ کمتر شود، عملیات گیرش آن متوقف می شود.
مشکل اصلی سریع خشک شدن در بتن، در ۰/۵ الی ۱ سانتیمتر رخ می دهد.



مقاومت بتن به عوامل زیر بستگی دارد :

(۱) کیفیت دانه ها :

هرچه دانه ها کیفیت بهتری را دارا باشند مقاومت بتن بالاتر است. (دانه های سیلیسی بهتر از دانه های آهکی)

(۲) میزان دانه ها :

هرچه دانه های بیشتری در بتن مصرف شود، بتن توپر تر و مقاوم تر خواهد بود (به شرط پیوستگی دانه ها)

(۳) مقدار سیمان :

معمولا هرچه مقدار سیمان در بتن بیشتر باشد (تا یک حد مشخص) بتن مقاومت بالاتری خواهد داشت.

تذکر : نقش سیمان چسباندن سنگدانه ها می باشد، لذا سیمان اضافی باعث ایجاد فاصله بین دانه ها شده و ممکن است منجر به کاهش مقاومت بتن گردد.

(۴) نسبت آب به سیمان :

هرچه نسبت آب به سیمان کمتر در نظر گرفته شود، بتن ساخته شده مقاومت بالاتری خواهد داشت.

(۵) عمر بتن :

هرچه از شروع ساخت بتن، زمان بیشتری بگذرد، بتن مقاومت بیشتری خواهد داشت.

تذکر : مقاومت ۲۸ روزه بتن حدود ۹۰٪ الی ۹۵٪ مقاومت نهایی می باشد.

تذکر : یکی از عوامل مخرب در طول عمر بتن اسید کربنیک می باشد که باعث کاهش مقاومت بتن و خورده شدن میلگردها می گردد.



- خاصیت بتن سفت شده ، مقاومت فشاری آن است .
- مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن بر اساس نمونه آزمایشگاهی تعیین می شود.
- هر عاملی که هیدراسیون ذرات سیمان را کامل کند و کمترین فضای خالی لا به لای ژل سیمان را ایجاد کند باعث افزایش مقاومت بتن می شود.
- مقاومت فشاری بتن ۱۰-۸ برابر مقاومت کششی آن است .
- نمونه ها در شرایط استاندارد تهیه و نگهداری می شوند.
- بتن مناسب : بتنی است که شکست آن، با شکست دانه های بتن همراه باشد.
- قالب نمونه های بتنی بر دو نوع مکعبی و استوانه ای می باشند.

* جدول ضرایب تبدیل مقاومت نمونه ها به مقاومت نمونه استاندارد

مقادیر r_1	$a \times 2a$			۱۰۰*۲۰۰	۱۵۰*۳۰۰	۲۰۰*۴۰۰	۲۵۰*۵۰۰	۳۰۰*۶۰۰
	r_1			۱/۰۲	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۱
مقادیر r_2	مکعبی b			۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰
	r_2			۱/۰۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۹
مقادیر r_3	مقاومت فشاری نمونه مکعبی	< 25	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵
	r_3	۱/۲۵	۱/۲۰	۱/۱۷	۱/۱۴	۱/۱۳	۱/۱۱	۱/۱۰
	مقاومت فشاری نمونه استوانه ای	با توجه به ضریب	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰



مقاومت ساییدگی :

- کاربرد در جاده ها و کف های بتنی
- هرچه بتن محکم تر در نتیجه مقاومت ساییدگی
- مقاومت ساییدگی تا حدی به نوع دانه بندی بستگی دارد .

مقاومت یخ زدگی :

- وجود آب در حفرات بتن ← یخ زدگی ← توالی یخ زدگی ← خرد شدن بتن
- هر چه آب بندی بتن بهتر باشد ← مقاومت یخ زدگی بهتر خواهد بود .
- با ایجاد هوای عمده یا فضای خالی عمده در بتن ← مقاومت یخ زدگی ↑
- حباب های عمده موجود در بتن باید یکنواخت پراکنده شوند .



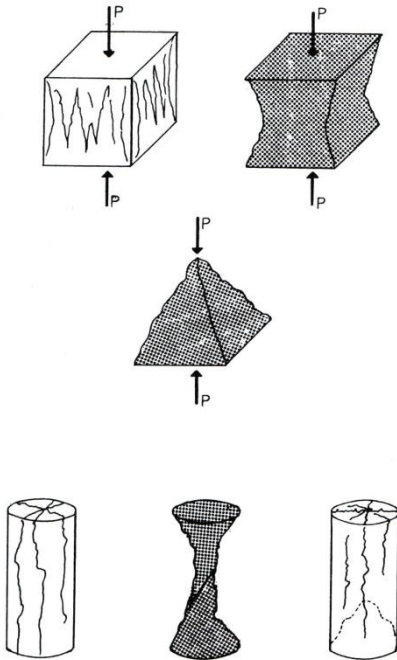
جک های بتن شکن



انواع جک های بتن شکن :

(۱) آنالوگ

(۲) دیجیتال





(۱) مقاومت کششی تحت کشش مستقیم (f'_t)

(۲) مقاومت کششی تحت کشش ناشی از خمش (f_r) (مدول گسیختگی یا ضریب گسیختگی)

تذکر : اصولاً مقاومت کششی بتن تحت کشش ناشی از خمش، از مقاومت کششی بتن تحت کشش مستقیم بیشتر است.

نکته : در محاسبات بتن آرمه، از ظرفیت کششی بتن به دلیل ناچیز بودن صرف نظر می شود اما در محاسبات خیز یا محاسبه ترک خوردگی یا تغییر مکان تیرهای بتن آرمه لحاظ می شود.

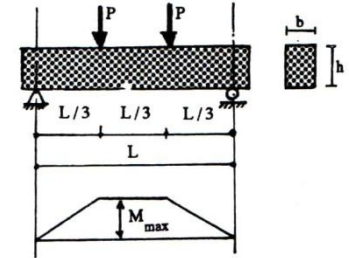
$$f'_t = (10\% - 15\%)f'_c$$

$$f_r = (1.6 - 1.85)\sqrt{f'_c} \rightarrow \text{kg/cm}^2$$

آزمایش شکافت (تست برزیلی)



$$M_{max} = \frac{PL}{3} \rightarrow f_r = \frac{M_{max} \frac{h}{2}}{I} = \frac{2PL}{bh^2}$$



جک خمشی تیر بتنی





۱) وزن مخصوص حقیقی

نسبت وزن بتن به حجم حقیقی آن (با کم کردن حجم خلل و فرج موجود در آن)

۲) وزن مخصوص ظاهری

نسبت وزن بتن به حجم ظاهری آن (حجم ظاهری که بتن اشغال کرده است)

بتن از نظر وزن مخصوص :

۱) بتن معمولی

بتن هایی که به صورت عادی با سیمان های معمولی پرتلند ساخته می شود

دارای وزن مخصوص برابر با ۲۲۰۰ الی ۲۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب (تفاوت، ناشی از جنس دانه ها و تراکم بتن می باشد)

۲) بتن سبک

به طور معمولی ساخته می شود ولی از دانه های سبک استفاده شده است. یا به صورت مصنوعی حجم بتن را افزایش می دهند مانند استفاده از ژل آلومینیوم که در اثر آن بتن جوش خورده و حجم آن افزایش می یابد.

وزن مخصوص بتن سبک $1/2$ تا $1/3$ وزن مخصوص بتن معمولی است.

کاربرد بیشتر در نماسازی، دیوارهای جداکننده، سقف کاذب و اصولاً جاهایی که مقاومت مطرح نباشد.

۳) بتن سنگین

استفاده از خرده های فولاد وچدن و یا سولفات باریم بجای سنگدانه ها

کاربرد برای جلوگیری از تشعشع اشعه X و γ و غیره بوده و اصولاً برای سازه های مربوط به تاسیسات اتمی استفاده می شود.

وزن مخصوص بتن سنگین حدود $1/5$ تا $2/5$ برابر وزن مخصوص بتن معمولی است.



این پدیده از ابتدای گیرش شروع می شود و در طول زمان سخت شدن ادامه می یابد (آبرفتگی بتن)
این پدیده به علت کاهش حجم در اثر از دست رفتن آب اضافی بتن ایجاد شده و با ایجاد تنش کششی در بتن و موجب ترک خوردگی سطحی بتن می شود.
اکثراً ظهور افت به صورت یک سری ترک های منظم به فاصله چندین متر بوده که هر چه بتن نامرغوب تر و نسبت آب به سیمان آن بیشتر باشد، فاصله این ترک ها نزدیک تر است.

برای کاهش افت :

- (۱) کاهش نسبت آب به سیمان
- (۲) افزایش مراقبت
- کرنش ناشی از افت در بتن در محدوده $0/0003$ تا $0/0007$ می باشد. که معمولاً ۱۵ الی ۳۵٪ افت در همان دو هفته اول رخ می دهد.

عوامل موثر در افت :

- (۱) میزان مصالح سنگی بکار رفته در بتن : هرچه مصالح سنگی بیشتر، میزان افت کمتر
- (۲) نوع مصالح سنگی : هرچه مصالح سنگی مرغوب تر، میزان افت کمتر
- (۳) نسبت آب به سیمان : هرچه نسبت آب به سیمان کمتر، میزان افت کمتر
- (۴) رطوبت محیط : هرچه رطوبت محیط بیشتر، میزان افت کمتر
- (۵) مراقبت از بتن : هرچه مراقبت بهتر، میزان افت کمتر



(۱) کم کردن عوامل تشدید کننده افت

(۲) استفاده از سیمان ضد افت

(۳) استفاده از درزهای مناسب :

جدا کردن بتن در فواصل مناسب توسط درزهای انقباض، در نتیجه ترک ناشی از افت در محل دلخواه رخ می دهد.

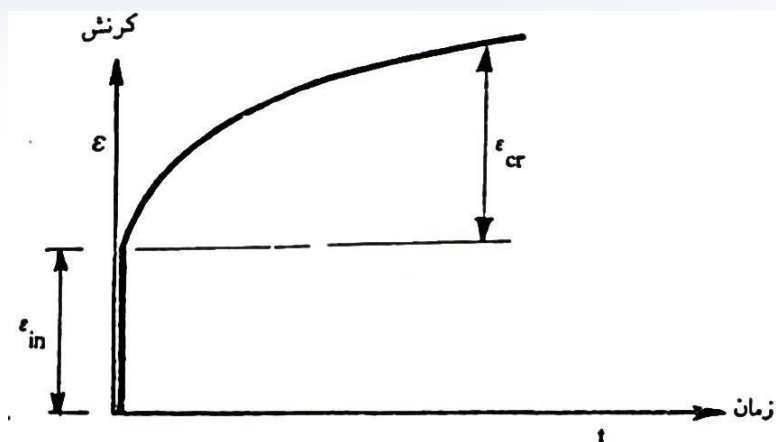
(۴) استفاده از آرماتور افت :

این آرماتورها برای خنثی کردن تنش های کششی ناشی از افت در بتن به کار گرفته می شود

- حداقل آرماتور افت و حرارت $0/002$ تا $0/0018$ سطح مقطع بتن است. آرماتورهای افت را می توان به صورت ساده استفاده نمود.



- خزش عبارت است از تغییر طول اجسام، تحت تنش ثابت، در طول زمان



انواع تغییر شکل :

- (۱) تغییر شکل آنی
 - (۲) تغییر شکل بلند مدت
- این کرنش معمولاً ۲ الی ۳ برابر کرنش اولیه می باشد.

عوامل موثر بر خزش :

- (۱) مقاومت فشاری بتن : هرچه مقاومت فشاری بتن بیشتر، خزش کمتر
- (۲) تنش وارده بر بتن : هرچه تنش وارده کمتر، خزش کمتر
- (۳) رطوبت محیط : هرچه رطوبت محیط بیشتر، خزش کمتر
- (۴) عمر بتن : هرچه بتن مسن تر و تحت بار قرار گیرد، خزش کمتر

راه های مقابله با خزش :

- (۱) کم کردن عوامل تشدید کننده خزش
- (۲) تعبیه آرماتورهایی که تنش ناشی از خزش را جبران کند
- (۳) افزایش رطوبت محیط اطراف بتن و مراقبت مناسب بتن

(۱) ساخت بتن :

بتن باید به صورتی ساخته شود که کلیه دانه ها و سیمان به طور یکنواخت با هم مخلوط شوند.

در اختلاط اجزا بتن از میکسر و یا از بچینگ استفاده شود.

(۲) حمل بتن :

الف) حمل باید به صورتی انجام شود که جدا شدن دانه ها اتفاق نیفتد.

ب) حمل باید به صورتی انجام شود که آب بتن از دست نرود.

حمل دستی : فقط برای کارهای کوچک

حمل با کمپرسی :

حداکثر زمان حمل ۴۵ دقیقه و عمده ترین مشکل جدا شدن دانه ها می باشد.

(توصیه : استفاده در مسیرهای صاف و هموار و کوتاه)

حمل با میکسر : حداکثر زمان حمل ۱/۵ ساعت

حمل با روش های خاص دیگر : مانند تسمه نقاله، باکت (بخصوص در کارهای

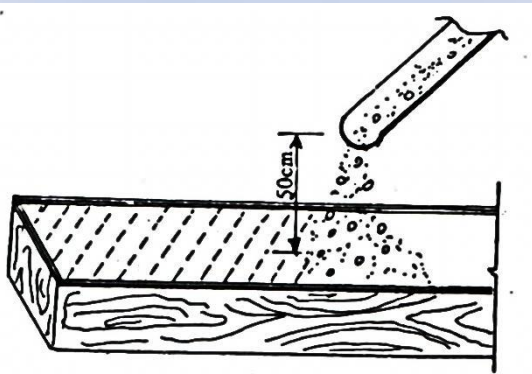
بزرگ)

(۳) ریختن بتن :

۳) ریختن بتن :

مهمترین مسئله در هنگام ریختن بتن، امکان جداسدن دانه ها می باشد.

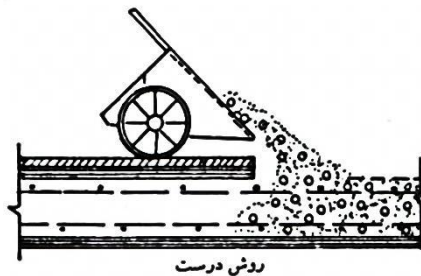
توصیه : فاصله قرار گیری بتن از محلی که بتن سرازیر می شود حتی المقدور کم بوده و از ۵۰ سانتیمتر تجاوز نکند.



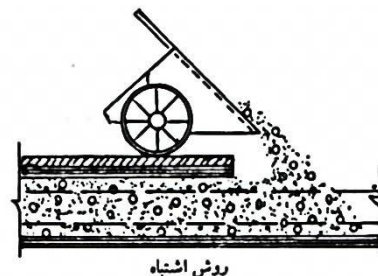
بتن ریزی در کف ها :

بتن نباید به صورت توده بزرگی خالی شود و سپس با حرکت افقی آن را جابجا کرد (جدایی دانه ها)

بتن تحت فشار وسیله تخلیه بتن قرار نگیرد (آب انداختن)



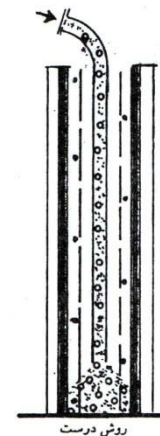
روش درست



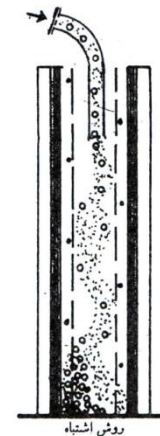
روش اشتباه

مشکل استفاده از پمپ : افزایش اجباری اسلامپ بتن به ۱۰ الی ۱۲

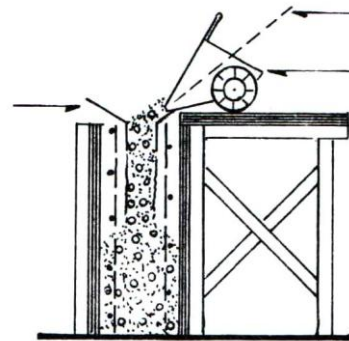
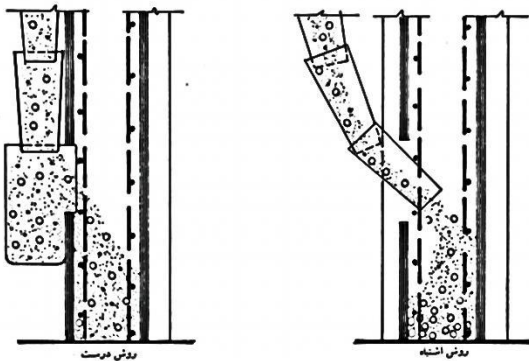
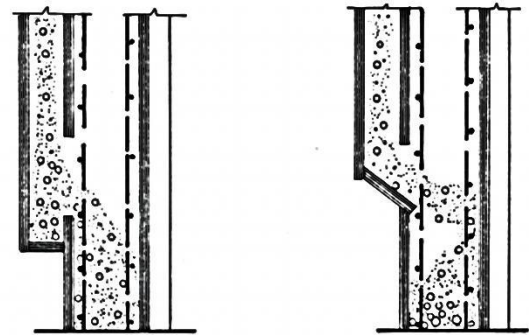
توصیه : استفاده از پمپ برای بتن ریزی در ارتفاع و محل های دشوار



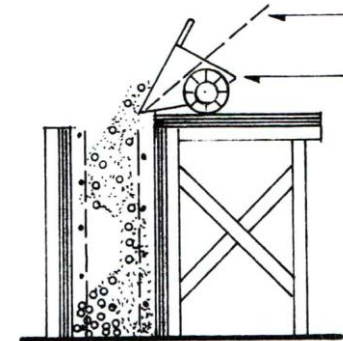
روش درست



روش اشتباه



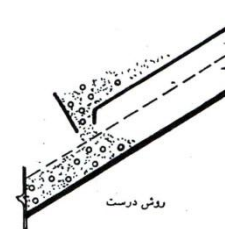
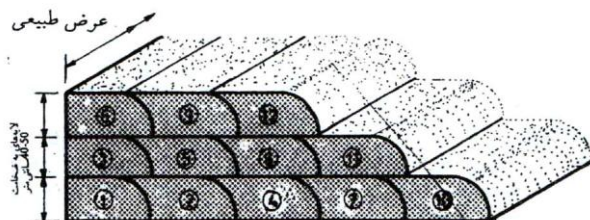
روش درست



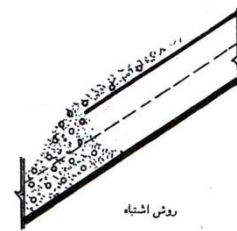
روش اشتباه

بتن ریزی حجیم : با بتن ریزی به صورت لایه ای از ایجاد اتصال سرد در بتن ریزی حجیم جلوگیری می شود.

بتن ریزی در شیب : بتن ریزی از پایین به طرف بالا انجام می شود تا وزن بتن بالا به تراکم پایین کمک کند.



روش درست



روش اشتباه



خستگی در بتن :

- شکست در اثر بارهای متناوب و کمتر از مقاومت قطعه در سازه های بتن آرمه، خستگی اکثرا در پلها اتفاق می افتد. اصولا بارهایی که کمتر از ۵۰٪ مقاومت قطعه باشند، از نظر خستگی تاثیری بر قطعه ندارند. هرچه بارهای وارده به مقاومت قطعه نزدیک تر باشد، خستگی در تعداد سیکل های کمتری از بارگذاری اتفاق می افتد.

آب بندی بتن :

- هر چه فضای خالی ژل کمترین باشد ، آب بندی بیشینه است .
انواع فضای خالی:
- ۱- مویینه : آب از آن رد می شود .
- ۲- بسته : آب از آن رد نمی شود .
- برای آنکه آب بندی مناسب داشته باشیم باید w/c را کاهش دهیم .
- هرچه آب بندی بهتر ، مقاومت بیشتر

دوام :

- اگر بتن خوب ساخته شود بتن با دوام خواهد بود .
- w/c کمتر ، مقاومت فشاری بیشتر ، آب بندی خوب ، کیفیت



مواد مضاف، مواد شیمیایی هستند که به مقدار جزئی (درصدی از وزن سیمان) به بتن اضافه می شوند تا بعضی از خواص مناسب و مطلوب را در بتن ایجاد کنند.

انواع مواد مضاف :

- (۱) تسریع کننده ها (زودگیرها)
- (۲) کندگیر کننده ها
- (۳) روان کننده ها
- (۴) مواد مضاف هوازا
- (۵) ضد یخ ها





تسریع کننده ها (Accelerating Admixtures)

شتاب دهنده ها با تند کردن روند آبرگیری سیمان موجب :

- کاهش زمان گیرش (زودگیری)
- افزایش آهنگ کسب مقاومت (زود سخت شدن)

معمولی ترین تسریع کننده کلرو کلسیم ($CaCl_2$) می باشد.

- به عنوان یک کاتالیزور به هیدراتاسیون C_3S و C_2S کمک می کند.
- با کاهش خاصیت قلیایی محلول، سرعت هیدراتاسیون سیلیکات ها را افزایش می دهد.
- مقاومت بتن را در مقابل فرسایش و سایش افزایش می دهد
- باعث کاهش مقاومت در برابر حمله سولفاتها
- باعث افزایش افت بتن به میزان ۱۰ الی ۱۵٪
- باعث خوردگی آرماتورها می شود

نکات مهم :

- (۱) با افزایش نرمی سیمان میزان تاثیر گذاری شتاب دهنده ها افزایش پیدا می کند.
- (۲) سیمان با مقدار C_3A بیشتر مانند نوع ۱ و ۲ در مقایسه با سیمان های مقدار کم C_3A نظیر نوع ۴ و ۵ به منظور کاهش زمان گیرش و افزایش مقاومت، به مقدار کمتری شتاب دهنده نیاز دارند.
- (۳) تاثیر شتاب دهنده ها در دماهای پایین (حدود ۵ درجه)، بیشتر از دماهای بالاست.



تسريع كنده ها (Accelerating Admixtures)

ملاحظات کارگاہی :

(۱) $CaCl_2$ باید به شکل مایع به مخلوط بتن افزوده شود و باید از افزودن آن به حالت پودری پرهیز کرد.

۲) حتی با در دست بودن اطلاعات کافی و معتبر از کاربرد یک شتاب دهنده بدلیل تاثیر شیمیایی سیمان و عوامل محیطی، بهترین روش برای تست تاثیر، در نمونه های آزمایشگاهی و آزمون های پیش از اجراست.

(۳) موارد غیر مجاز مصرف کلرو کلسیم :

الف) بتن پیش تنیده به دلیل امکان خطر خوردگی فولاد ب) قطعات بتنی دارای آلومینیوم مدفون

(ج) بتن ریزی در هوای گرم

نکات قابل توجہ :

(۱) بطور کلی شتاب دهنده ها را نباید به عنوان مواد ضد یخ بتن تلقی نمود

۲) زودگیر کننده ها پایه آلومیناتی و قلیایی روند کسب مقاومت را افزایش می دهند ولی مقاومت بلند مدت را کاهش می دهند.

۳) سیلیکات سدیم بر آهنگ کسب مقاومت کوتاه مدت (مقاومت زود رس) تاثیری نداشته ولی مقاومت های دراز مدت را تا ۴۰٪ کاهش می دهد.

۴) کلسیم کلراید تا ۰.۲٪ وزن سیمان، افزایش مقاومت در کوتاه مدت و بلند مدت. در مقادیر مصرف بیش از ۰.۴٪، مقاومت فشاری دراز مدت (یکسال به بالا) کاهش می‌یابد.

(۵) فرمات کلسیم افزایش مقاومت در کوتاه مدت و بلند مدت

۶) نیتريت كلسيم افزايش مقاومت در کوتاه مدت و بلند مدت



کندگیر کننده ها (Retarding Admixtures)

مکانیزم عملکرد کندگیر کننده ها :

- ۱) تجمع یون های کلسیم آزاد در اطراف مواد سیمانی هیدراته نشده و جلوگیری از گیرش تا زمان معین
- ۲) علاوه بر تشکیل غشا در اطراف سیمان و جلوگیری از آبگیری ذرات، دارای خاصیت پراکنده کننده ذرات و جلوگیری از تشکیل بتن خمیری

موارد استفاده از کندگیرها :

- ۱) بتن ریزی های حجیم
- ۲) جلوگیری از ایجاد تنش های حرارتی
- ۳) در هوای گرم برای ساده کردن نحوه مراقبت
- ۴) در هوای گرم برای جلوگیری از ایجاد اتصالات سرد

مواد تشکیل دهنده :

- ۱) شکر و مواد قندی
- ۲) سیریش
- ۳) ترکیبات اسید لیگنو سولفونیک
- ۴) نمک های اسید کربوکسیلیک
- ۵) برخی از نمک های اسید نفتالین سولفونیک با جرم مولکولی سنگین



روان کننده ها (Water Reducing Admixtures)

- این مواد بدون اینکه نیازی به افزایش آب باشد، اسلامپ (کارایی) بتن افزایش می یابد.
- می توان به جای استفاده از نسبت آب به سیمان بالا، از مواد مضاف روان کننده استفاده نمود.
- روان کننده ها را می توان با نام های پلاستی سائزرها و سوپر پلاستی سائزرها تهیه نمود.
- روان کننده ها به میزان جزئی مقاومت فشاری بتن را کاهش می دهند.

ضد یخ ها :

- در مواردی بکار می روند که امکان یخ زدن بتن تازه فراهم باشد.
- (۱) دمای انجماد آب را بسته به میزان مصرف آنها، پایین می آورند.
- (۲) تا حدی نقش تسریع کننده دارند.

- ضد یخ ها از یخ زدن بتن جلوگیری می کنند و انجام واکنش ها را کند کرده تا زمانی که دمای مناسب جهت فرآیند هیدراتاسیون بتن فراهم شود.
- ضد یخ ها باعث کاهش مقاومت نهایی بتن می شود.
- میزان مصرف ضد یخ، براساس توصیه کارخانه سازنده تعیین می شود.



مواد مضاف هوازا (Air Entraining Admixtures)

باعث ایجاد حباب های بسیار ریز هوا (ریزتر از 0.05 میلیمتر) در بتن می شود.
بتن هوادار معمولا در محدوده 0.4% الی 0.8% هوا دارد.

حباب های هوا در بتن :

(۱) حباب های غیر عمدی :

وجود این حباب ها در بتن اجتناب ناپذیر می باشد.

ویبره کردن بتن باعث کاهش میزان حباب های هوای غیر عمدی می شود

میزان حباب های هوای غیر عمدی در بتن 0.5% الی 0.3% می باشد.

(۲) حباب های عمدی :

با استفاده از مواد مضاف هوازا یا سیمان های هوازا در بتن ایجاد می شوند.

تذکر : ویبره بیش از حد باعث می شود بعد از خروج حباب های هوای غیر عمدی مقداری نیز حباب های هوای مفید نیز از بتن خارج شود.

مواد حباب زا عبارتند از :

(۱) چربی طبیعی جانوران

(۲) صمغ طبیعی درختان

این مواد به صورت ترکیبی با مواد شیمیایی (تثبیت کننده ها) به صورت پودر یا مایع استفاده می شوند.



محاسن استفاده از بتن هوادار

- (۱) افزایش قابلیت آب بندی
- (۲) افزایش مقاومت در برابر یخبندان
- تذکر:** هوادار بودن بتن تاثیری روی یخ زدن بتن تازه ندارد.
- (۳) کاهش امکان تورق
- باعث افزایش مقاومت در برابر استفاده از مواد یخ زدا (نمک ها) شده و امکان لایه لایه شدن بتن را کاهش می دهد.
- (۴) کاهش میزان جذب آب : در نتیجه کاهش امکان یخ زدگی و فرسایش
- (۵) افزایش مقاومت در مقابل حمله سولفات ها
- (۶) کاهش امکان جدا شدن دانه ها : باعث چسبندگی بهتر دانه ها
- (۷) افزایش مقاومت در مقابل شرایط بد جوی
- افزایش مقاومت در برابر تر و خشک شدن متوالی و نیز سرد و گرم شدن های متوالی
- (۸) کاهش امکان آب انداختن
- (۹) کاهش میزان افت و خزش
- (۱۰) افزایش میزان روانی بتن (افزایش کارایی)

معایب: کاهش مختصر مقاومت بتن



روش های مناسب مراقبت از بتن

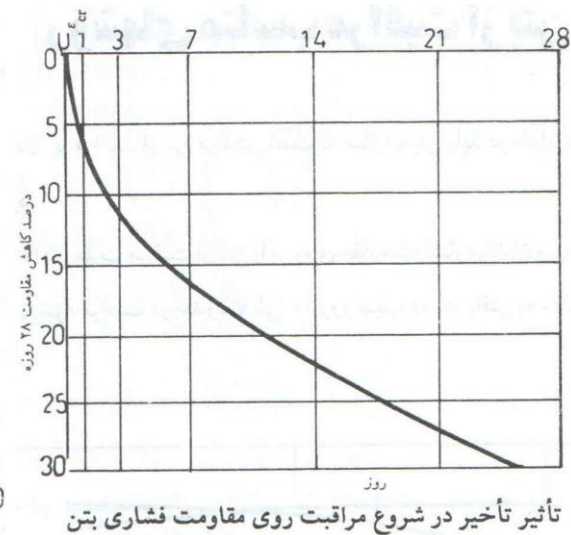
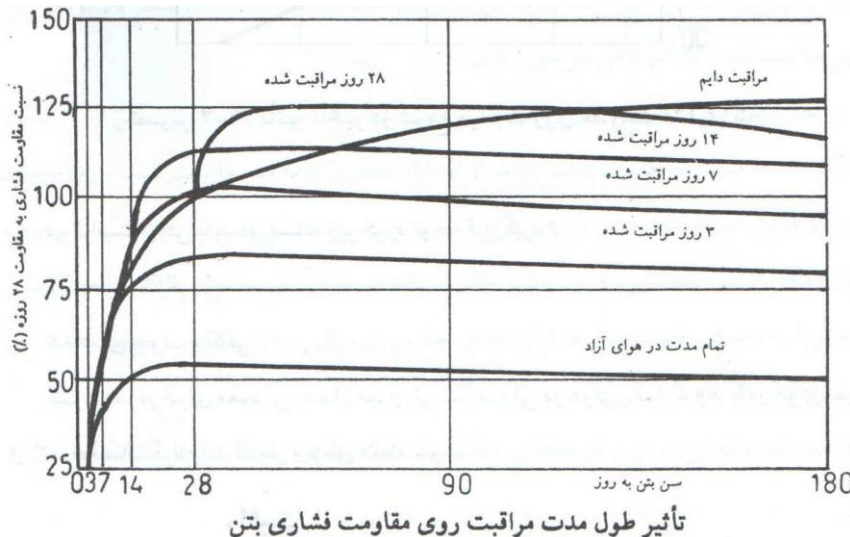
عمل آوردن یا مراقبت از بتن، مراقبتی است که سازنده بتن باید در طول ۷ الی ۱۰ روز اول از بتن به عمل آورد.

- افزایش مدت مراقبت باعث افزایش مقاومت بتن می شود.
- تاخیر بیشتر در شروع مراقبت سبب کاهش بیشتر در مقاومت بتن می شود.

در مراقبت دو مسئله اهمیت دارد :

(۱) رطوبت کافی و مناسب

(۲) دمای خوب و کافی (در هوای بسیار گرم و در هوای سردتر از ۴ درجه باید تدابیر ویژه ای اتخاذ کرد)





روش هایی که حضور آب را در کنار بتن تامین می کند



(۱) ایجاد برکه آب (مصرف آب زیاد، مشکلات اختلاف دما آب و بتن)
ایجاد یک لایه آب به ضخامت ۱۰ الی ۱۵ سانتیمتر

(۲) ایجاد مه (آب پاشی) (استفاده در دماهای بالا، مصرف آب بالا)
پاشیدن آب به صورت ریز و پودر شده



(۳) استفاده از پوشش های خیس (جلوگیری از تابش مستقیم)
استفاده از پوشش هایی مانند گونی، کرباس و موکت به صورت خیس

(۴) استفاده از کاغذهای نفوذناپذیر (هزینه بالا، قابل تعمیر)
این کاغذها معمولا از دو لایه کاغذ گرفت با یک لایه قیر تشکیل شده اند.

(۵) استفاده از پوشش های نایلونی

اشکال آن آسیب پذیر بودن و غیرقابل تعمیر بودن می باشد.



(۶) استفاده از مواد محافظ (هزینه بالا، برای کارهای کوچک و خاص)

موادی از جنس موم یا چربی یا چسب که معمولا با دستگاه هایی نظیر دستگاه رنگ
پاش روی سطح بتن پاشیده می شوند.

(۷) قالب های درجا نگهداشته شده



روش هایی که با ایجاد حرارت زیاد همراه با رطوبت کافی، گیرش بتن را تسریع می کنند.



دستگاه تولید بخار تحت فشار برای عمل آوری حرارتی

(۱) استفاده از جریان بخار آب

- عبور جریان از بخار از روی قطعه بتنی
- کاهش زمان مراقبت از ۷ روز به ۲ روز
- تبدیل دمای سطح بتن به ۸۰ الی ۱۰۰ درجه سانتی گراد
- استفاده در بتن های پیش ساخته

(۲) استفاده از بخار آب همراه با فشار

- تزریق بخار آب ۱۵۰ درجه سانتی گراد با فشار به قطعه بتنی درون محفظه
- افزایش گیرش بتن
- کسب مقاومت ۷ روزه در ۱ روز
- استفاده در کارگاه ها و کارخانه های ساخت قطعات پیش ساخته و پیش تنیده

تذکر: حرارت بالا به تنهایی از این نظر که تبخیر را شدید می کند مضر می باشد اما حسن این دو روش استفاده توام بخار و رطوبت با هم می باشد.



در هوای سرد مسئله تامین رطوبت منتفی است، لذا مسئله مهم دما و درجه حرارت است، چون در دمای زیر صفر بتن یخ زده و دیگر واکنش های آن تکمیل نمی شود.

مسائل بتن ریزی در هوای سرد

(۱) یخ زدن بتن

(۲) افزایش زمان گیرش و افزایش زمان مراقبت

روش های مراقبت بتن در سرما :

(۱) استفاده از لحاف های عایق (عایق های پشم شیشه ای)

(۲) پوشش های مجهز به وسایل گرمازا

(۳) استفاده از بخاری یا شعله





وجود درز به لحاظ پیش بینی ترک محتمل و اتخاذ تدابیر مناسب در آن موضع، اهمیت ویژه ای دارند.
انواع درز :

(۱) درزهای ساختمانی (۲) درزهای حرکتی

(۱) درزهای ساختمانی :
حذف‌اصل بین بتن جدید و قدیم
درز افقی : بین دو مرحله از بین ریزی، درز افقی ساختمانی ایجاد می کند.



طرح اختلاط بتن به روش آئین نامه ACI - 211

هدف استفاده از طرح اختلاط مناسب :

(۱) رسیدن به مقاومت مورد نظر

(۲) تامین دوام کافی

(۳) رسیدن به اسلامپ مورد نظر

در یک طرح مخلوط مناسب، تاثیر هر یک از عوامل مخرب محیطی در جای مناسب در نظر گرفته شده و تدابیر مناسب جهت تامین دوام کافی، اتخاذ خواهد گردید.

فرضیات :

(۱) مصالح مصرفی شن و ماسه باید در محدوده ASTM – C33 قرار گیرند.

(۲) می توان وزن مخصوص شن را ۲/۶۸ و وزن مخصوص ماسه را ۲/۶۴ فرض نمود. (در صورت نبود آزمایش بر روی مصالح)

دانسیته مصالح : نسبت وزن مخصوص (حقیقی یا ظاهری) دانه به وزن مخصوص آب

(۳) چگالی سیمان برابر ۳/۱۵ در نظر گرفته می شود. (در صورت نبود آزمایش بر روی سیمان)

(۴) می توان مدول نرمی ماسه را ۲/۸ فرض نمود. (در صورت نبود آزمایش)

(۵) وزن شن و ماسه بر اساس حالت اشباع با سطح خشک (SSD) تعیین می شود.

$$\begin{cases} \omega_{SSD,CA} = 0.5\% \\ \omega_{SSD,FA} = 0.7\% \end{cases}$$

(۶) ساخت نمونه های آزمایشی جهت اصلاح طرح اختلاط بتن.

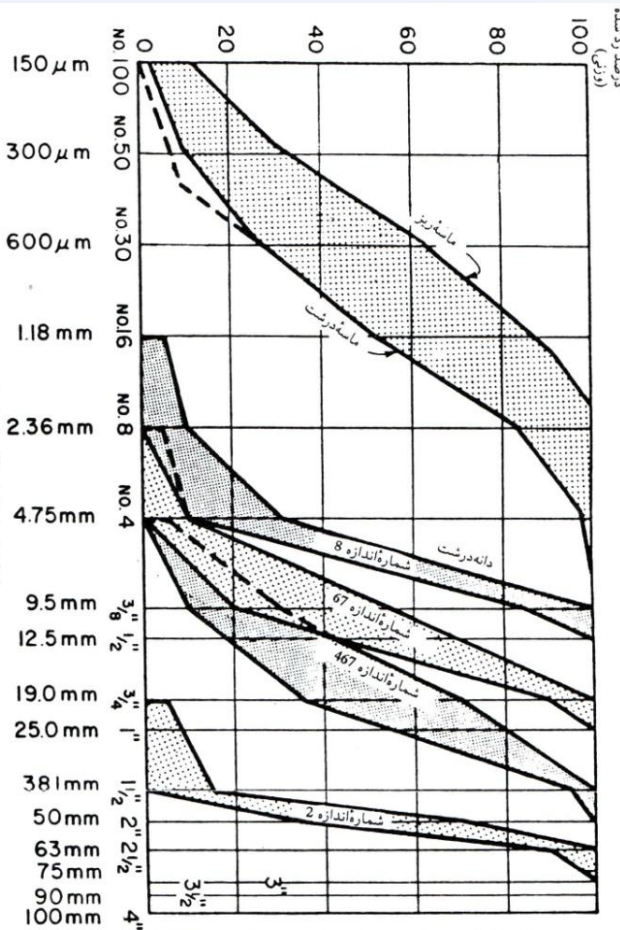


طرح اختلاط بتن به روش آیین نامه ACI - 211

ملزومات آیین نامه ASTM - C33 برای شن و ماسه مصرفی در بتن

ملزومات دانه بندی برای دانه های شنی مطابق ASTM - C - 33

شماره	اندازه اسمی (الکهای با سوراخهای مربعی)	درصد تجمعی وزنی عبور کرده از هر الک (با سوراخهای مربعی)	1/18 mm (No. 100)	2/36 mm (No. 40)	4/75 mm (No. 40)	9/5 mm (No. 20)	12/5 mm (No. 16)	19/0 mm (No. 10)	25/0 mm (No. 60)	37/5 mm (No. 40)	50 mm (No. 30)	63 mm (No. 25)	75 mm (No. 20)	90 mm (No. 16)	100 mm (No. 10)
1	37/5 - 90 mm (1 1/2 - 3 1/2 in.)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	37/5 - 63 mm (1 1/2 - 2 1/2 in.)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3	25/0 - 50 mm (1 - 2 in.)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
357	4/75 - 50 mm (No. 40 - 2 in.)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	19/0 - 37/5 mm (3/4 - 1 1/2 in.)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
467	4/75 - 25/0 mm (No. 40 - 1 in.)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	12/5 - 25/0 mm (1/2 - 1 in.)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
56	9/5 - 25/0 mm (3/8 - 1 in.)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
57	4/75 - 25/0 mm (No. 40 - 1 in.)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
6	9/5 - 19/0 mm (3/8 - 3/4 in.)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
67	4/75 - 19/0 mm (No. 40 - 3/4 in.)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
7	4/75 - 12/5 mm (No. 40 - 1/2 in.)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
8	2/36 - 9/5 mm (No. 40 - 3/8 in.)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100





طرح اختلاط بتن به روش آئین نامه ACI - 211

مرحله ۱: انتخاب اسلامپ

انتخاب اسلامپ بر اساس تجربه و کاربری عضو

مرحله ۲: انتخاب بزرگترین دانه (D_{max})

انتخاب اندازه بزرگترین دانه بر اساس تجربه و امکانات و شرایط

دانه بندی درشت تر در نتیجه اسکلت بندی بتن قوی تر و کاهش مصرف سیمان

مرحله ۳: تخمین مقدار آب لازم و میزان هوا (A, W)

نوع شرایط محیطی بسته به پیش بینی میزان حمله سولفات ها یا کلرها و تر و خشک شدن متوالی تعیین می گردند.

اسلامپ های پیشنهادی برای سازه های مختلف (ACI-211-89)

اسلامپ ، mm		نوع سازه
حداقل	حداکثر	
۲۵	۷۵	پی ها و شالوده دیوارهای بتن آرمه
۲۵	۷۵	پی ها و دیوارهای غیر مسلح
۲۵	۱۰۰	تیرها و دیوارهای بتن آرمه
۲۵	۱۰۰	ستونهای سازه
۲۵	۷۵	روسازی ها و دالها
۲۵	۷۵	بتن حجیم

مقادیر تقریبی آب و هوا بر اساس اسلامپ و بزرگترین بُعد دانه ها (ACI - 211 - 89)

اسلامپ ، میلیمتر								مقدار تقریبی آب برحسب kg/m^3 براساس بزرگترین بعد دانه ها
۱۵۰	۷۵	۵۰	۳۷٫۵	۲۵	۱۹	۱۲٫۵	۹٫۵	
بتن بدون حباب هوا								
۱۱۳	۱۳۰	۱۵۴	۱۶۶	۱۷۹	۱۹۰	۱۹۹	۲۰۷	۲۵ - ۵۰
۱۲۴	۱۴۵	۱۶۹	۱۸۱	۱۹۳	۲۰۵	۲۱۶	۲۲۸	۷۵ - ۱۰۰
—	۱۶۰	۱۷۸	۱۹۰	۲۰۲	۲۱۶	۲۲۸	۲۴۳	۱۵۰ - ۱۷۵
۰٫۲	۰٫۳	۰٫۵	۱	۱٫۵	۲	۲٫۵	۳	درصد تقریبی هوای غیر عمدی در بتن بدون حباب هوا
بتن هوادار								
۱۰۷	۱۲۲	۱۴۲	۱۵۰	۱۶۰	۱۶۸	۱۷۵	۱۸۱	۲۵ - ۵۰
۱۱۹	۱۳۳	۱۵۷	۱۶۵	۱۷۵	۱۸۴	۱۹۳	۲۰۲	۷۵ - ۱۰۰
—	۱۵۴	۱۶۶	۱۷۴	۱۸۴	۱۹۷	۲۰۵	۲۱۶	۱۵۰ - ۱۷۵
مقادیر متوسط درصد هوای پیشنهادی براساس شرایط محیطی :								
۱٫۰	۱٫۵	۲٫۰	۲٫۵	۳٫۰	۳٫۵	۴٫۰	۴٫۵	شرایط عادی
۳٫۰	۳٫۵	۴٫۰	۴٫۵	۴٫۵	۵٫۰	۵٫۵	۶٫۰	شرایط متوسط
۴٫۰	۴٫۵	۵٫۰	۵٫۵	۶٫۰	۶٫۰	۷٫۰	۷٫۵	شرایط شدید



طرح اختلاط بتن به روش آئین نامه ACI - 211

نسبت آب به سیمان براساس مقاومت فشاری بتن (ACI - 211 - 89)

نسبت آب به سیمان		مقاومت فشاری ۲۸ روزه، مگاپاسکال
بتن بدون حباب هوا	بتن هوادار	
۰/۴۲	—	۴۰
۰/۴۷	۰/۳۹	۳۵
۰/۵۴	۰/۴۵	۳۰
۰/۶۱	۰/۵۲	۲۵
۰/۶۹	۰/۶۰	۲۰
۰/۷۹	۰/۷۰	۱۵

مرحله ۴: انتخاب نسبت آب به سیمان (W/C)

الف) براساس مقاومت مورد نیاز

ب) براساس شرایط محیطی بتن (و یا براساس دوام مورد نظر)

تذکر: در بتن بدون هوا، درصد هوا نباید از ۲٪ تجاوز کند.

تذکر: برای سازه هایی که دائما یا متناوبا مرطوب بوده و در معرض یخ زدن و آب شدن قرار می گیرند، در چنین حالتی باید از بتن هوادار استفاده کرد.

حداکثر نسبت مجاز آب به سیمان در شرایط محیطی نامناسب (ACI - 211 - 89)

نوع سازه	سازه هایی که بطور پیوسته یا متناوب مرطوبند و تحت اثر سیکل های یخ زدن و آب شدن قرار دارند	سازه های در معرض آب دریا و یا سولفات ها
مقاطع ظریف (نظیر نرده ها، جان پناه ها، تیرچه ها و کارهای تزئینی) و مقاطعی با پوشش کمتر از ۵ میلیمتر روی آرماتورها	۰/۴۵	۰/۴۰
سایر سازه ها	۰/۵۰	۰/۴۵

تذکر: برای سازه هایی که در معرض آب دریا و یا سولفات ها، اگر از بتن ضد سولفات استفاده شود، می توان مقادیر مجاز نسبت به آب به سیمان را به میزان ۰/۰۵ افزایش داد.

تذکر: در مواردی که از دو جدول استفاده می شود باید کوچکترین مقدار انتخاب شود.



طرح اختلاط بتن به روش آئین نامه ACI - 211

مرحله ۵: محاسبه مقدار سیمان (C)

با تقسیم وزن آب بر حسب کیلوگرم در واحد حجم بر نسبت آب به سیمان

مرحله ۶: تخمین مقدار دانه های درشت (CA)

حجم دانه های درشت به صورت خشک و میله خورده در واحد حجم بتن، بر اساس بزرگترین اندازه اسمی دانه ها و مدول نرمی ماسه، تعیین می گردد.

حجم دانه های درشت در واحد حجم بتن (ACI - 211 - 89)

حجم دانه های خشک میله خورده در واحد حجم بتن براساس مقادیر مختلف مدول نرمی ماسه				بزرگترین اندازه اسمی دانه ها، میلیمتر
۳/۰۰	۲/۸۰	۲/۶۰	۲/۴۰	
۰/۴۴	۰/۴۶	۰/۴۸	۰/۵۰	۹/۵
۰/۵۳	۰/۵۵	۰/۵۷	۰/۵۹	۱۲/۵
۰/۶۰	۰/۶۲	۰/۶۴	۰/۶۶	۱۹
۰/۶۵	۰/۶۷	۰/۶۹	۰/۷۱	۲۵
۰/۶۹	۰/۷۱	۰/۷۳	۰/۷۵	۳۷/۵
۰/۷۲	۰/۷۴	۰/۷۶	۰/۷۸	۵۰
۰/۷۶	۰/۷۸	۰/۸۰	۰/۸۲	۷۵
۰/۸۱	۰/۸۳	۰/۸۵	۰/۸۷	۱۵۰

وزن شن = وزن مخصوص ظاهری شن خشک و میله خورده \times ضریب جدول

تذکر: وزن مخصوص ظاهری شن خشک و میله خورده، معمولاً در محدوده ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می باشد.

نکته: در مواردی که بتن با کارایی کمتر نیاز باشد می توان اعداد جدول را ۱۰٪ افزایش داد تا بتن توپر تری بدست آید. (متناسب با افزایش شن، مقدار ماسه کاهش پیدا می کند)

نکته: در مواردی که بتن با کارایی بیشتر نیاز باشد می توان اعداد جدول را ۱۰٪ کاهش داد تا مخلوط روان تری حاصل شود.



طرح اختلاط بتن به روش آئین نامه ACI - 211

مرحله ۷ : تعیین مقدار دانه های ریز (FA)

الف) روش وزنی

جمع وزن کلیه اجزا بتن در یک متر مکعب باید برابر با وزن مخصوص بتن تازه شود.

تذکر: استفاده از جدول برای یک طرح مقدماتی و فاقد اهمیت توصیه می شود.

روش محاسباتی بدست آوردن وزن مخصوص بتن تازه :

$$U = Agg + C + W$$

$$G_{Agg} = \frac{\gamma_{Agg}}{\gamma_w} = \frac{Agg}{\gamma_w V_{Agg}}$$

$$U = G_{Agg} \cdot V_{Agg} \cdot \gamma_w + C + W$$

$$U = G_{Agg} \gamma_w \left(1 - V_c - V_w - \frac{A}{100} \right) + C + W$$

چگالی متوسط دانه های درشت و ریز $if \quad G_a = \frac{1}{2} (G_{CA} + G_{FA})$

$$U = 10G_a(100 - A) + C \left(1 - \frac{G_a}{G_c} \right) - W(G_a - 1)$$

آب بتن تازه

$$FA = U - \underset{\text{شن}}{CA} - \underset{\text{سیمان}}{W} - \underset{\text{ماسه}}{C}$$

تخمین مقدماتی برای وزن مخصوص بتن تازه (ACI - 211- 89)

تخمینی مقدماتی برای وزن واحد حجم بتن، kg/m^3		بزرگترین اندازه اسمی دانه ها، میلیمتر
بتن هوادار	بتن بدون حباب هوا	
۲۲۰۰	۲۲۸۰	۹٫۵
۲۲۳۰	۲۳۱۰	۱۲٫۵
۲۲۷۵	۲۳۴۵	۱۹
۲۲۹۰	۲۳۸۰	۲۵
۲۳۵۰	۲۴۱۰	۳۷٫۵
۲۳۴۵	۲۴۴۵	۵۰
۲۴۰۵	۲۴۹۰	۷۵
۲۴۳۵	۲۵۳۰	۱۵۰



طرح اختلاط بتن به روش آئین نامه ACI - 211

(ب) روش حجم مطلق (روش حجمی)

جمع احجام کلیه اجزا موجود در بتن در یک متر مکعب از بتن تازه، برابر واحد شود.

$$\sum V_i = 1$$

$$V_{FA} = 1 - V_{CA} - V_C - V_W - \frac{A}{100}$$

$$FA = 10G_{FA}(100 - A) - G_{FA} \left(\frac{CA}{G_{CA}} + \frac{C}{G_C} + W \right)$$

مرحله ۸ : تصحیح به جهت رطوبت دانه ها

• تصحیح وزن شن و ماسه :

$$CA_{\omega} = CA(1 + \omega_{CA})$$

درصد رطوبت دانه ها نسبت به وزن خشک آنها اندازه گیری می شود.

$$FA_{\omega} = FA(1 + \omega_{FA})$$

• تصحیح مقدار آب :

تذکر : ممکن است به علت رطوبت بیشتر یا کمتر از حالت SSD دانه ها مقدار آب لازم تغییر نماید.

$$W_{Corrected} = W_{Previous} - [CA(\omega_{CA} - \omega_{SSD,CA}) + FA(\omega_{FA} - \omega_{SSD,FA})]$$



طرح اختلاط بتن به روش آئین نامه ACI - 211

مرحله ۹: ساخت نمونه آزمایشی و انجام تصمیمات لازم:

نکته: مقدار آب بر اساس رسیدن به اسلامپ مورد نظر تعیین می شود و ممکن است اندکی بالاتر یا پایین تر از مقدار محاسباتی باشد.

الف) آزمایش اسلامپ

به ازای هر ۱ سانتیمتر اختلاف اسلامپ نمونه با اسلامپ مورد نظر، در طرح بعدی مقدار آب لازم در مخلوط به میزان ۲ کیلوگرم بر متر مکعب بتن و در جهت مناسب اصلاح می شود.

ب) آزمایش وزن مخصوص

وزن مخصوص بتن تازه برابر است با نسبت وزن نمونه ساخته شده و ویبره شده به حجم آن.

ج) آزمایش تعیین درصد هوا

تذکر: انجام این آزمایش برای بتن هوادار الزامی بوده ولی در بتن بدون هوا، ضرورتی ندارد.

در صورت اختلاف، اصلاحات زیر صورت می پذیرد:

۱) درصد مواد مضاف تغییر داده می شود.

۲) به ازای هر ۱٪ اختلاف بین درصد هوای نمونه با درصد هوای مورد نظر، در طرح بعدی مقدار آب لازم در مخلوط، به میزان ۳ کیلوگرم بر متر مکعب بتن و در جهت مناسب اصلاح می شود.

$$A_{Expected} - A_{Specimen} = \Delta A$$

۳) اصلاح وزن مخصوص به علت تغییر در درصد هوا در طرح بعدی

$$U_{Corrected} = \frac{U_{Specimen}}{1 + \frac{\Delta A}{100}}$$



طرح اختلاط بتن به روش سریع آئین نامه 89 - 211 - ACI

مخلوط‌های بتنی برای کارهای کوچک (پیشنهادی 211 - ACI)

اوزان تقریبی اجزاء جامد، Kg/m^3					طرح مخلوط	بزرگترین بعد دانه‌ها (mm)
شن		ماسه		سیمان		
دانه‌های سرباره‌ای	دانه‌های شنی با سنگ شکسته	بتن بدون هوا	بتن هوادار			
۷۵۰	۸۶۰	۸۲۰	۷۷۰	۴۰۰	A	۱۲٫۵
۷۸۰	۹۰۰	۷۸۰	۷۴۰	۴۰۰	B	
۸۲۰	۹۳۰	۷۵۰	۷۰۰	۴۰۰	C	
۸۶۰	۹۹۰	۷۸۰	۷۲۰	۳۷۰	A	۲۰
۹۰۰	۱۰۲۰	۷۵۰	۶۹۰	۳۷۰	B	
۹۳۰	۱۰۶۰	۷۲۰	۶۶۰	۳۷۰	C	
۹۸۰	۱۱۲۰	۷۲۰	۶۶۰	۳۵۰	A	۲۵
۱۰۱۰	۱۱۵۰	۶۹۰	۶۲۰	۳۵۰	B	
۱۰۴۰	۱۱۸۰	۶۶۰	۵۹۰	۳۵۰	C	
۱۰۴۰	۱۲۰۰	۷۲۰	۶۶۰	۳۲۰	A	۴۰
۱۰۷۰	۱۲۳۰	۶۹۰	۶۲۰	۳۲۰	B	
۱۱۰۰	۱۲۶۰	۶۶۰	۵۹۰	۳۲۰	C	
۱۱۰۰	۱۲۶۰	۷۲۰	۶۴۰	۳۰۰	A	۵۰
۱۱۴۰	۱۳۰۰	۶۹۰	۶۱۰	۳۰۰	B	
۱۱۵۰	۱۳۳۰	۶۶۰	۵۸۰	۳۰۰	C	

تذکر: نباید از این روش برای کارهای بتنی که مقاومت بتن نقش تعیین کننده دارد، نظیر بتن ریزی تیر و ستون در سازه بتن آرمه (حتی در کارهای کوچک) استفاده کرد.

استفاده از این روش در موارد زیر:

الف) حجم بتن ریزی کم

ب) بتن ریزی از نظر سازه ای اهمیت قابل ملاحظه ای نداشته باشد.

• مراحل طرح اختلاط سریع:

(۱) انتخاب بزرگترین اندازه اسمی

(۲) انتخاب نوع مخلوط و تعیین اجزاء بتن

تذکر: اگر ماسه مصرفی ماسه مرطوب باشد، باید بر این مقادیر به میزان ۳۰ کیلوگرم و اگر ماسه کاملاً خیس باشد، به میزان ۶۰ کیلوگرم اضافه شود.

(۳) ساخت نمونه و اصلاح مخلوط

نکته: اگر احساس شود مخلوط ساخته شده کم ماسه یا پر ماسه است، در طرح اصلی به ترتیب از مخلوط A یا C استفاده می گردد.



مرحله ۱: انتخاب اسلامپ و تعریف درجه کارایی

انتخاب اسلامپ مناسب بر اساس تجربه و کاربرد.

- اسلامپ ۲۵ mm - ۰ (کارایی خیلی پایین) :
برای کف ها و جاده های بتنی که با ماشین های ویبره اتوماتیک مرتعش می شوند، مناسب است.
برای حد بالای آن ممکن است بتن با ماشین های ویبره کنترل شونده با دست، مرتعش شود.
- اسلامپ ۵۰ mm - ۲۵ (کارایی خیلی پایین) :
برای کف ها و جاده های بتنی که با ماشین ویبره کنترل شونده با دست مرتعش می شوند.
در حد بالایی این محدوده از اسلامپ، ممکن است بتن های ساخته شده از دانه های گرد یا نامنظم به صورت دستی مرتعش شوند.
- اسلامپ ۱۰۰ mm - ۵۰ (کارایی خیلی پایین) :
برای بتن مسلح معمولی با تراکم دستی و نیز برای مقاطع با آرماتوربندی زیاد و با ارتعاش، مناسب است.
در حد پایین این محدوده، دالهای مسطح با دانه های شکسته که با دست متراکم می شوند.
- اسلامپ ۱۸۰ mm - ۱۰۰ (کارایی خیلی پایین) :
برای مقاطعی با آرماتوربندی انبوه و متراکم (جنگل آرماتور) مناسب است
این محدوده از اسلامپ معمولاً برای ویبره کردن مناسب نیست.



طرح اختلاط بتن به روش آئین نامه BS

مرحله ۲: انتخاب ضریب کنترل و تعیین مقاومت فشاری متوسط

ضریب کنترل عددی است که به موارد زیر بستگی دارد:

(۱) شرایط کنترل ساخت (۲) شرایط اجرای بتن در کارگاه

$$\text{ضریب کنترل (i)} = \frac{\text{مقاومت فشاری حداقل}}{\text{مقاومت فشاری متوسط طراحی}}$$

- کنترل کیفیت بسیار خوب : $i = 0.75$

اندازه گیری دانه ها به صورت وزنی ، استفاده از مصالح دانه بندی شده ، اندازه گیری رطوبت نسبی دانه ها ، حضور ناظر مقیم دائمی

- کنترل کیفیت معمولی : $i = 0.60$

اندازه گیری دانه ها به صورت وزنی ، انتخاب مصالح فقط از دو دپو ، حدس میزان رطوبت دانه ها ، نظارت کارگاهی متناوب

- کنترل کیفیت ضعیف : $i = 0.40$

اندازه گیری دانه ها به صورت حجمی ، بدون نظارت کارگاهی

تذکر: در طرح مخلوط بتن به روش BS ، مقاومت فشاری بتن براساس نمونه مکعبی f'_{cu} سنجیده می شود.

حسن: استفاده از ضریب کنترل باعث می شود پیش بینی های لازم جهت کارگاه هایی که فاقد امکانات مناسب هستند در ساخت بتن لحاظ شود.

طرح اختلاط بتن به روش آئین نامه BS



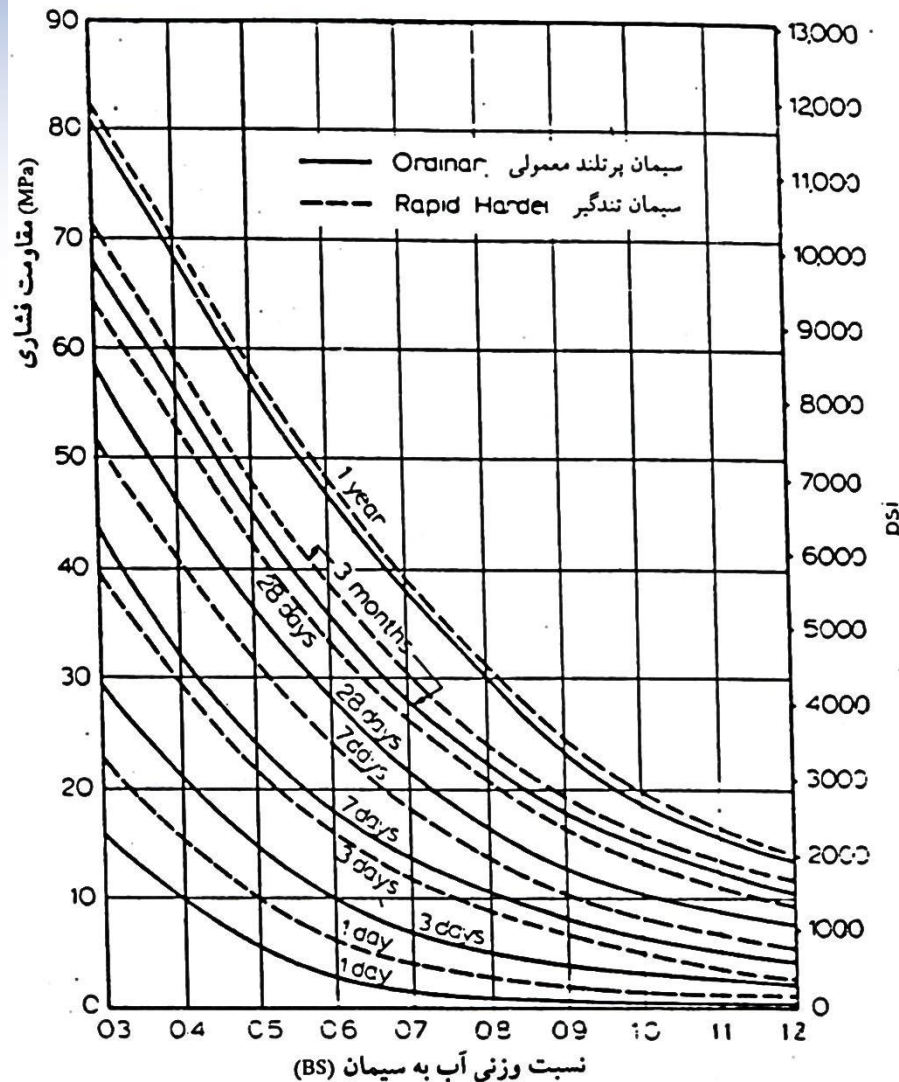
مرحله ۳: تعیین نسبت آب به سیمان

نسبت آب به سیمان بر اساس موارد زیر تعیین می شود.

(۱) مقاومت فشاری متوسط بتن

(۲) نوع سیمان مصرفی

(۳) مقاومت مورد انتظار در زمان مشخص





طرح اختلاط بتن به روش آئین نامه BS

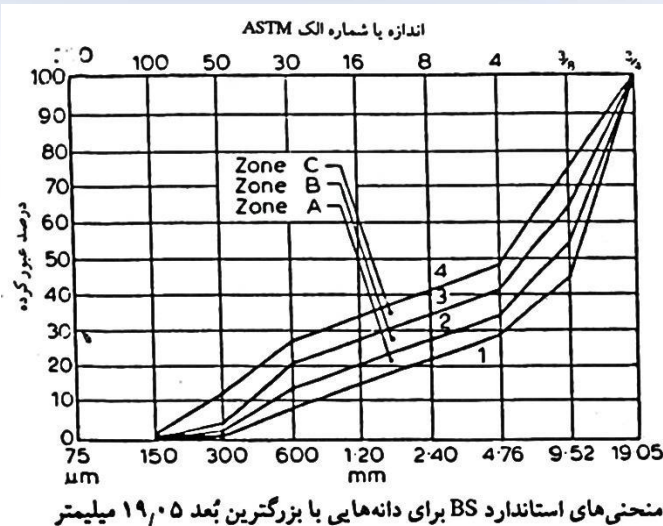
مرحله ۴: تنظیم دانه بندی و تعیین نسبت وزنی دانه ها

دانه بندی مصالح مصرفی باید منطبق بر یکی از منحنی های استاندارد BS باشد.

تذکر: شماره های بالاتر از منحنی های استاندارد BS نسبت به شماره های پایین تر، پر ماسه تر هستند.

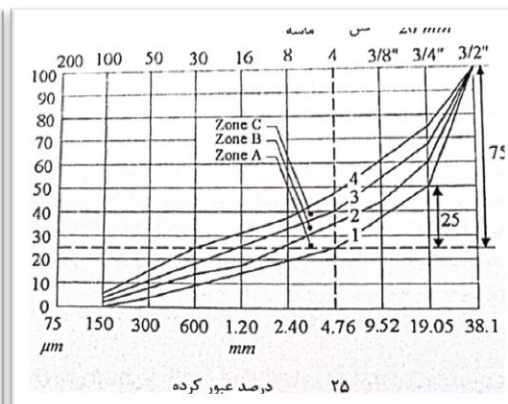
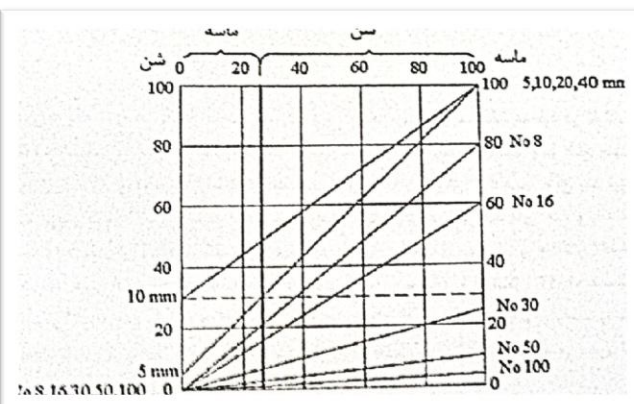
نکته: هرچه تعداد دیو ها بیشتر باشد، انطباق دقیق تری با منحنی های استاندارد ایجاد می گردد.

- از روی این منحنی ها نسبت وزنی ماسه به دانه ها $\frac{FA}{Agg}$ و همچنین نسبت ماسه به شن $\frac{FA}{CA}$ را بدست آورد.

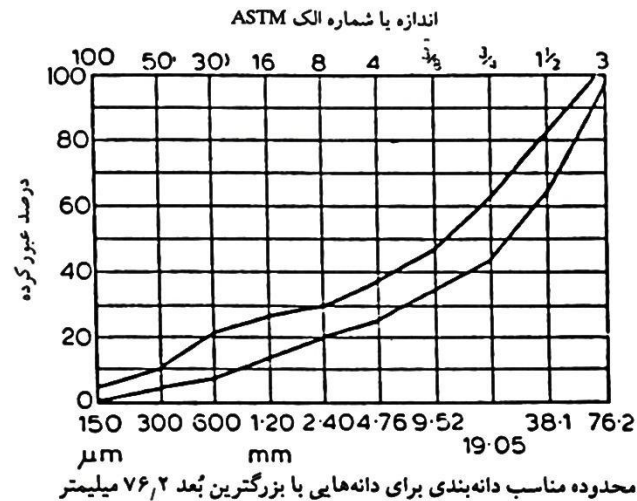
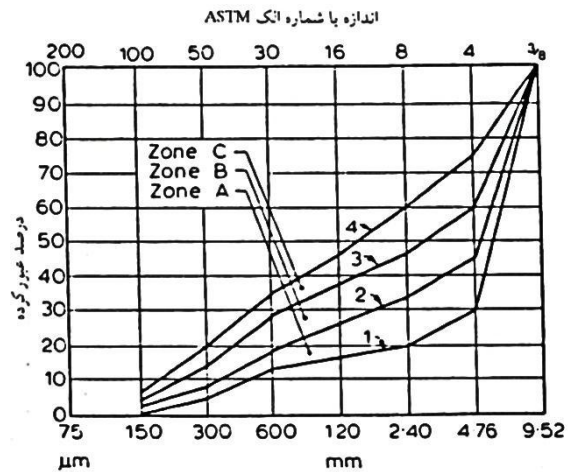
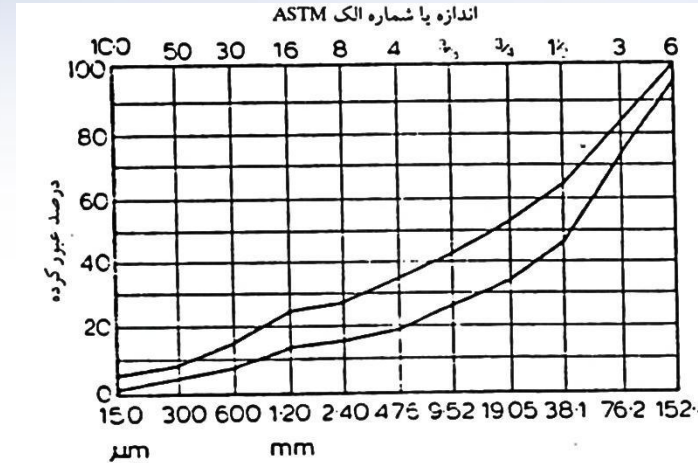
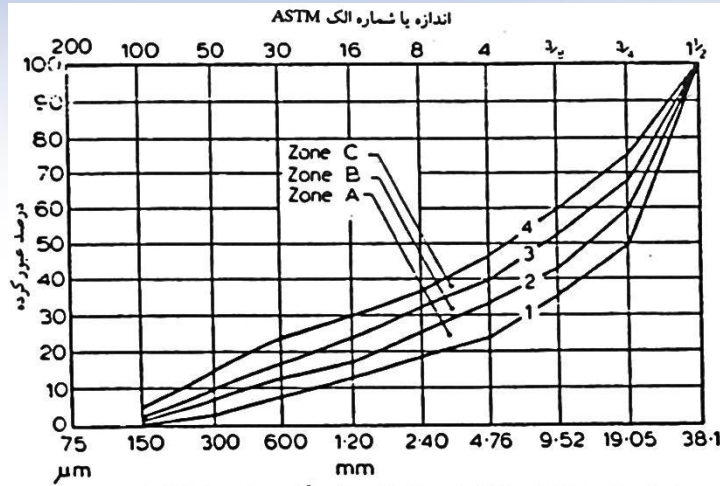


تعیین نسبت اختلاط دیو های مختلف:

جمع حاصلضرب مقدار انتخابی از هر دیو در درصد رد شده آن دیو از الک مورد نظر، باید مساوی با حاصلضرب جمع کلیه مقادیر انتخابی از دیو ها در درصد رد شده منحنی استاندارد از آن الک باشد.



طرح اختلاط بتن به روش آیین نامه BS



مرحله ۵: تعیین نسبت وزنی دانه ها به سیمان $\left(\frac{Agg}{C}\right)$

نسبت وزنی بر اساس موارد زیر تعیین می شود :

(۱) بزرگترین بعد دانه ها (۲) شکل دانه ها

درجه کارایی (۳) نوع منحنی استاندارد دانه بندی (۴)

نسبت وزنی دانه ها به سیمنان براساس درجه کارایی و برای دانه هایی با حداکثر بعد ۳۸/۱ میلیمتر (دانه های نامنظم)

درجه کارآیی																شماره منحنی استاندارد	
خیلی پائین				پائین				متوسط				بالا					
۴	۳	۲	۱	۴	۳	۲	۱	۴	۳	۲	۱	۴	۳	۲	۱		
۳,۲	۲,۳	۲,۵	۲,۷	۲,۵	۲,۶	۲,۸	۲,۹	۲,۹	۳,۲	۳,۳	۳,۴	۳,۲	۳,۵	۳,۹	۴,۰	۰,۳۵	نسبت وزنی آب سیمان
۳,۱	۳,۳	۳,۵	۳,۵	۳,۴	۳,۷	۳,۸	۳,۸	۳,۸	۴,۲	۴,۵	۴,۵	۴,۳	۴,۷	۵,۳	۵,۳	۰,۴۰	
۴,۰	۴,۳	۴,۴	۴,۱	۴,۳	۴,۶	۴,۷	۴,۶	۴,۸	۵,۳	۵,۶	۵,۶	۵,۳	۵,۹	۶,۵	۶,۵	۰,۴۵	
۴,۸	۵,۱	۵,۲	۴,۸	۵,۱	۵,۵	۵,۷	۵,۴	۵,۷	۶,۳	۶,۶	۶,۷	۶,۳	۷,۱	۷,۷	۷,۷	۰,۵۰	
۵,۵	۶,۰	۵,۹	x	۵,۸	۶,۳	۶,۵	۶,۲	۶,۶	۷,۲	۷,۶	۷,۶	۷,۳	۸,۱	—	—	۰,۵۵	
۶,۲	۶,۷	x	x	۶,۶	۷,۱	۷,۳	۷,۰	۷,۴	—	—	—	—	—			۰,۶۰	
۶,۹	۷,۳	x	x	۷,۲	۷,۸	۸,۱	۷,۸	۸,۱								۰,۶۵	
۷,۴	—	x	x	۷,۹	—	—	—	—								۰,۷۰	
۸,۰	—	x	x	—												۰,۷۵	
—	—	x	x													۰,۸۰	

$$G_{CA} = 2.5, G_{FA} = 2.6$$