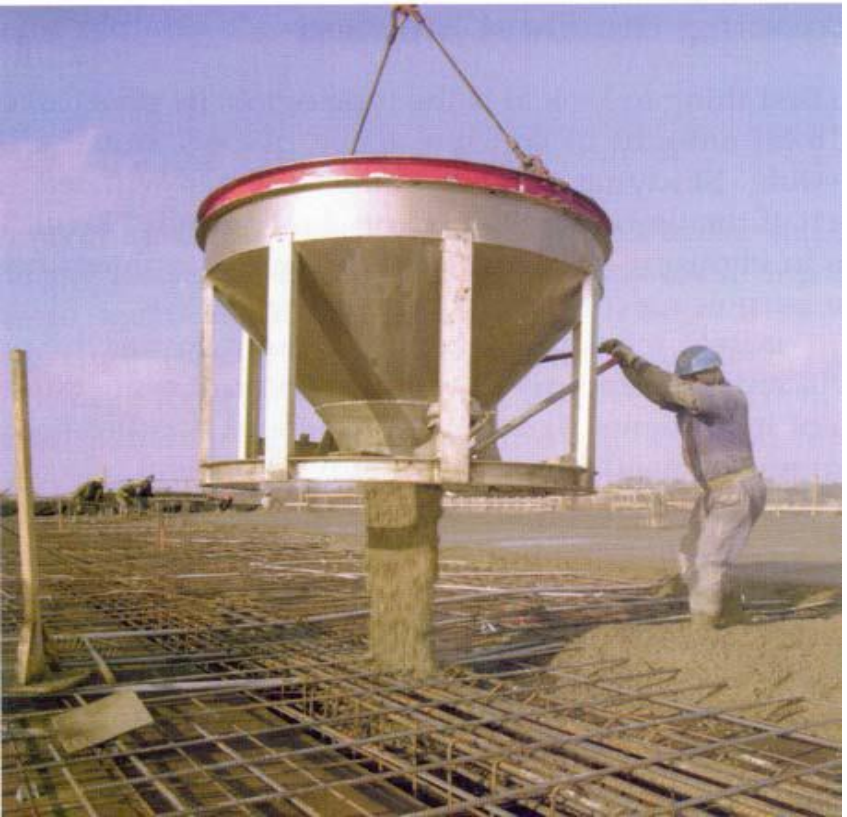


دوره آموزشی

تکنولوژی بتن

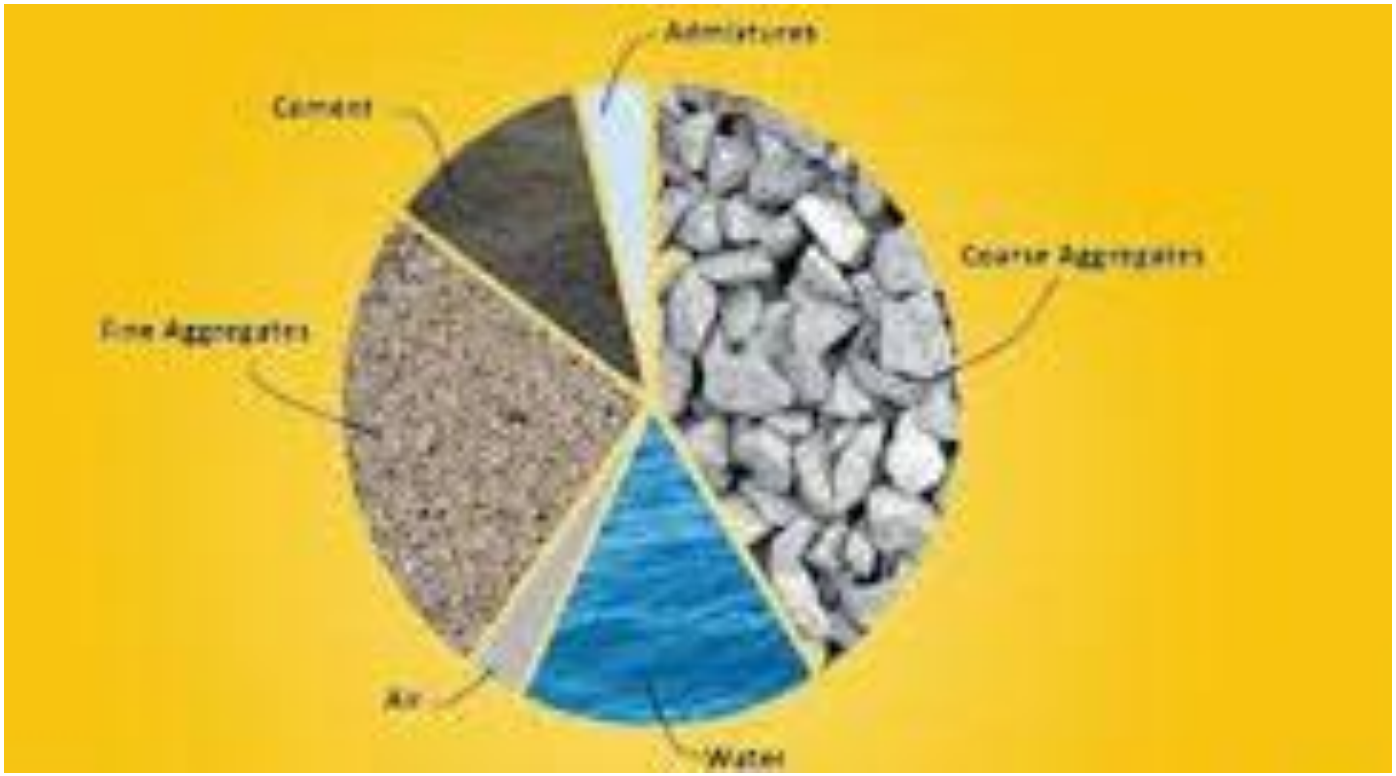
قسمت دوم

عضو هیات علمی دانشگاه آزاد مشهد

مدرس دوره:

غفوریان

مبانی طرح اختلاط بتن



تعریف طرح اختلاط بتن

تعیین *اقتصادی ترین* و *عملی ترین* ترکیب مصالح تشکیل دهنده بتن برای تولید بتنی با مشخصات زیر :

1- کارآیی قابل قبول بتن تازه (Workability)

2- مقاومت (Strength)

3- دوام (پایایی) (Durability)

«عوامل مؤثر در کارایی قابل قبول بتن»

کارایی بتن معادل انرژی لازم برای کارکردن و شکل دادن به بتن است بدون آنکه جداشدگی اتفاق بیافتد.

کارایی یک مشخصه اساسی و پایه بتن نیست. بسته به شرایط هر کارگاهی تعیین می شود.

عوامل موثر بر کارایی در طرح اختلاط بتن عبارتند از :

۱. نسبت آب به سیمان و میزان آب اختلاط
۲. شکل و نوع سنگدانه ها
۳. نسبت سنگدانه به سیمان
۴. افزودنی ها
۵. دما و زمان

طبقه‌بندی		اسلامپ (میلی‌متر)
S1	سفت	۱۰ تا ٤٠
S2	خمیری	٥٠ تا ۹٠
S3	روان	۱٠٠ تا ۱٥٠
S4	خیلی روان (سیال)	بزرگتر یا مساوی ۱٦٠

«عوامل مؤثر در مقاومت بتن»

۱. طبیعت مصالح سنگي (شکل ، تخلخل ، بافت‌سطحي)
۲. دانه‌بندي مصالح سنگي (اندازه و توزیع دانه‌ها)
۳. نوع سیمان
۴. نسبت آب به سیمان
۵. نحوه ساخت و تراکم بتن
۶. شرایط نگهداري و عمل‌آوري بتن
۷. سن بتن

«عوامل كاهش دوام (پايايي) بتن»

۱. يخ‌بندان‌هاي متناوب (دوره های یخ زدن و آب شدن)
۲. عوامل شيميايي خورنده (حمله سولفاتی)
۳. سايش و فرسايش
۴. سنگدانه‌هاي واكنش‌زا (واکنش قلیایی سنگدانه ها)
۵. خوردگي فولاد مدفون در بتن (حمله کلرایدی)

«افزایش دوام بتن در شرایط محیطی مختلف»

برای افزایش دوام (پایایی) بتن ، باید **نفوذپذیری** آن را با رعایت موارد زیر کاهش داد:

۱. استفاده از سیمان مناسب

۲. بهینه سازی عیار سیمان

۳. انتخاب صحیح و مناسب نسبت های اختلاط بتن

۴. استفاده از افزودنی های شیمیایی مانند روان کننده ها ، مواد حباب ساز و ...

۵. کاهش و محدود نمودن نسبت آب به مواد سیمانی (سیمان ، پوزولان ، مواد شبه سیمانی)

۶. تامین حداکثر تراکم با وسایل و روش های مناسب

۷. عمل آوری دقیق و کافی با روش های مناسب

محدوديتهاي مهم و مؤثر در تعيين نسبتهاي اختلاط

۱. حداكثر نسبت آب به سيمان
۲. حداقل مقدار سيمان
۳. حداكثر مقدار سيمان
۴. حداكثر يا حداقل وزن مخصوص (بتن سبک ، سازه هاي وزني)

«الزامات آبا درمورد نسبت آب به سیمان»

شرايط محيطي	حداكثر w/c	حداقل f'_c (مگاپاسكال)
1- بتن آب‌بند (درمعرض آب شيرين)	۰.۵	۲۵
2- بتن آب‌بند (در معرض آب شور يا آب دريا)	۰.۴۵	۲۵
3-بتن درمعرض يخ زدن و آب شدن در شرايط مرطوب ، تر و خشك شدن مكرر يا مواد شيميايي يخ‌زدا	۰.۴۵	۳۰
4- براي حفاظت دربرابر خوردگي در سازه‌هاي بتن‌آرمه‌اي كه در معرض كلريدهاي ناشي از مواد شيميايي يخ‌زدا ، نمك ، آب شور ، آب لب‌شور ، آب دريا ، يا ترشح مواد مزبور قرار دارند	۰.۴	۳۵

«توصيه‌هاي آبا براي مقدار حباب هوا در بتن»

حداکثر اندازه سنگدانه	شرايط محيطي شديد	شرايط محيطي متوسط
۹.۵	۷.۵	۶
۱۲.۵	۷	۵.۵
۱۹	۶	۵
۲۵	۶	۴.۵
۳۸	۵.۵	۴.۵

شرايط محيطي شديد:

بتن قبل از يخ‌زدن در تماس تقريباً مداوم با رطوبت قرار گيرد يا تحت اثر مواد شيميايي يخ‌زدا باشد.

مانند رويه‌هاي بتني ، عرشه‌هاي پل ، پياده‌روها و مخازن آب.

شرايط محيطي متوسط:

بتن قبل از يخ‌زدن در هواي سرد ، فقط گاهي در تماس با رطوبت قرار گيرد يا تحت اثر مواد شيميايي يخ‌زدا نباشد.

مانند بعضي از تيرها و ديوارهاي خارجي و نيز دالهايي كه در تماس مستقيم با خاك نباشند.

«حداکثر مقادیر سولفات و کلرید در بتن»

1- کل سولفات قابل حل در مخلوط بتن برحسب SO_3 ← 4 درصد وزن سیمان

2- کل سولفات موجود ← 5 درصد وزن سیمان

3- کلرید در بتن پیش‌تنیده ← 0/06 درصد وزن سیمان

4- کلرید در بتن‌آرمه‌اي که در زمان بهره‌برداري در معرض رطوبت و کلریدهاست ← حداکثر 0/15 درصد وزن سیمان

5- کلرید در بتن‌آرمه‌اي که در زمان بهره‌برداري در حالت خشك باشد یا از رطوبت محافظت شود ← 1 درصد وزن سیمان

6- کلرید در سایر سازه‌هاي بتن‌آرمه ← 0/3 درصد وزن سیمان

«برخي تدابير احتياطي در محيط‌هاي سولفاتي»

۱. مقاومت مناسب ، نفوذپذيري كم ، فقدان مواد آسيب‌پذير

۲. استفاده از سيمان پرتلند تيپ دو ، پنج يا سيمان‌هاي پرتلند آميخته مناسب نظير سيمان‌هاي پرتلند روباره‌اي ، سيمان‌هاي پرتلند پوزولانی(اعم از پوزولان های طبیعی یا مصنوعی)

۳. كاهش نسبت آب به سيمان با استفاده از مواد افزودني نظير روان‌كننده‌ها و فوق‌روان‌كننده‌ها

۴. بكار بردن مواد سيليسي ريزدانه فعال(تا هيدروكسيد كلسيم حاصل از هيدراتاسيون سيمان تا حد ممكن به سيليكات كلسيم تبديل شود)

۵. دقت بيشتر در انتخاب نوع سيمان در مناطقي كه علاوه‌بر سولفات آلوده به كلريد نيز هستند

«ضوابط طرح اختلاط بتن در محیط‌هاي كلرايدی»

شرایط	نوع سیمان انتخابی	حداقل مقدار مواد سیمانی kg/m^3	حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی	حداقل رده بتن (مقاومت مشخصه)
متوسط-A	سیمان پرتلند نوع (۱) و (۲) و یا به همراه مواد جایگزین سیمان*	۳۰۰	۰/۵	C۳۰
شدید- B	سیمان پرتلند نوع (۱) و (۲) و یا به همراه مواد جایگزین سیمان	۳۲۵	۰/۴۵	C۳۰
شدید- C	سیمان پرتلند نوع (۱) و (۲) و یا به همراه مواد جایگزین سیمان	۳۵۰	۰/۴۵	C۳۵
خیلی شدید-D	سیمان پرتلند نوع (۲) به همراه مواد جایگزین سیمان	۳۵۰	۰/۴	C۳۵
فوق‌العاده شدید-E	سیمان پرتلند نوع (۲) به همراه مواد جایگزین سیمان	۳۷۵	۰/۴	C۴۰

* مواد جایگزین سیمان شامل دوده سیلیس، روباره، خاکستر بادی و پزولانهای طبیعی یا مصنوعی هستند که باید مشخصات آنها و عملکرد آنها قبل از مصرف تایید شده باشد.

* حداکثر مواد سیمانی به ۴۲۵ کیلوگرم در متر مکعب محدود می‌گردد. در صورت لزوم استفاده از مواد سیمانی به مقدار بیش از حداکثر مقدار مجاز باید اقدامهای لازم به منظور جلوگیری از ترک‌خوردگی ناشی از خشک شدن و کاهش حرارت ایجاد شده در قطعات حجیم، اعمال گردد و کیفیت کار توسط مهندس ناظر تایید گردد.

«توصيه‌هاي بتن‌ريزي در مناطق ساحلي خليج‌فارس و درياي عمان»

۱. رعايت ضوابط بتن ريزي در هواي گرم
۲. اجتناب از مصرف سيمان زياد
۳. كاهش نسبت آب به سيمان
۴. حداقل عيار سيمان 350 كيلوگرم در متر مكعب
۵. حداكثر عيار سيمان 425كيلوگرم در متر مكعب
۶. حداكثر مقدار كلريد در آب مصرفي كمتر از 500 ppm
۷. حداكثر نسبت آب به مواد سيماني 0/4

«ضرورت ساخت مخلوط‌هاي آزمايشي»

- طرح اختلاط بتن به معناي دقيق آن امكان‌پذير نيست .
- طرح اختلاط بتن فقط يك حدس اوليه در خصوص تركيب بهينه‌ي اجزاء آن است

{ولی یک حدس هوشمندانه}

پس به منظور حصول يك مخلوط رضايت‌بخش بايد نسبت هاي بدست آمده از طرح اختلاط را با ساخت مخلوط‌هاي آزمايشي در آزمايشگاه كنترل كنيم.

«حالت‌هاي ممكن پس از ساخت و ارزيابي مخلوط‌هاي آزمايشي»

۱. تأييد نسبتهاي طرح‌شده و استفاده از آنها در مخلوط اصلي.

۲. اصلاح مختصر نسبت‌هاي حاصله از مخلوط آزمايشي و بكاربردن آن در مخلوط اصلي.

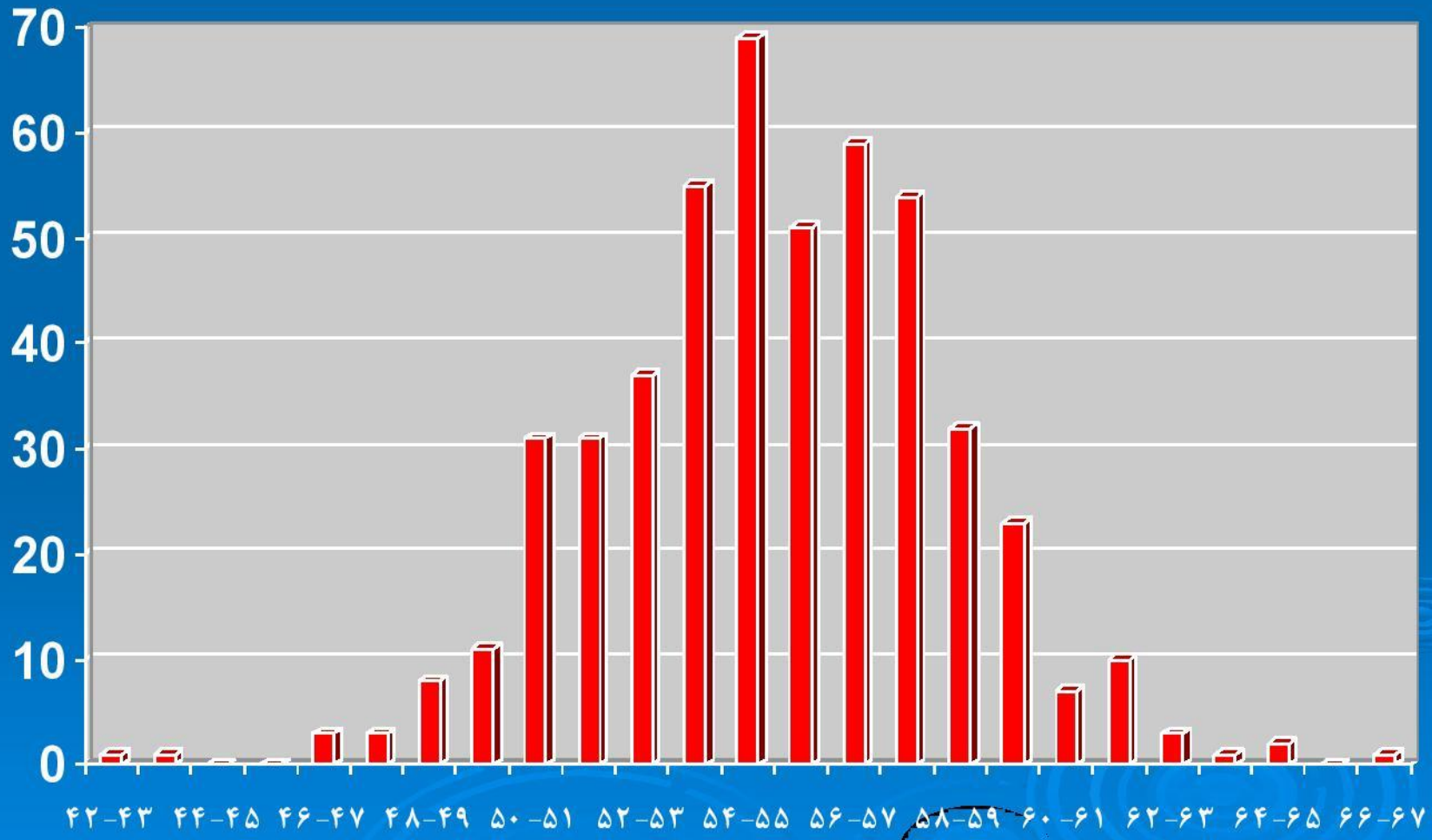
۳. انجام مخلوط‌هاي آزمايشي بيشتر با اعمال تغييرات اساسي در نسبتهاي اختلاط تا حصول به طرح نهايي.

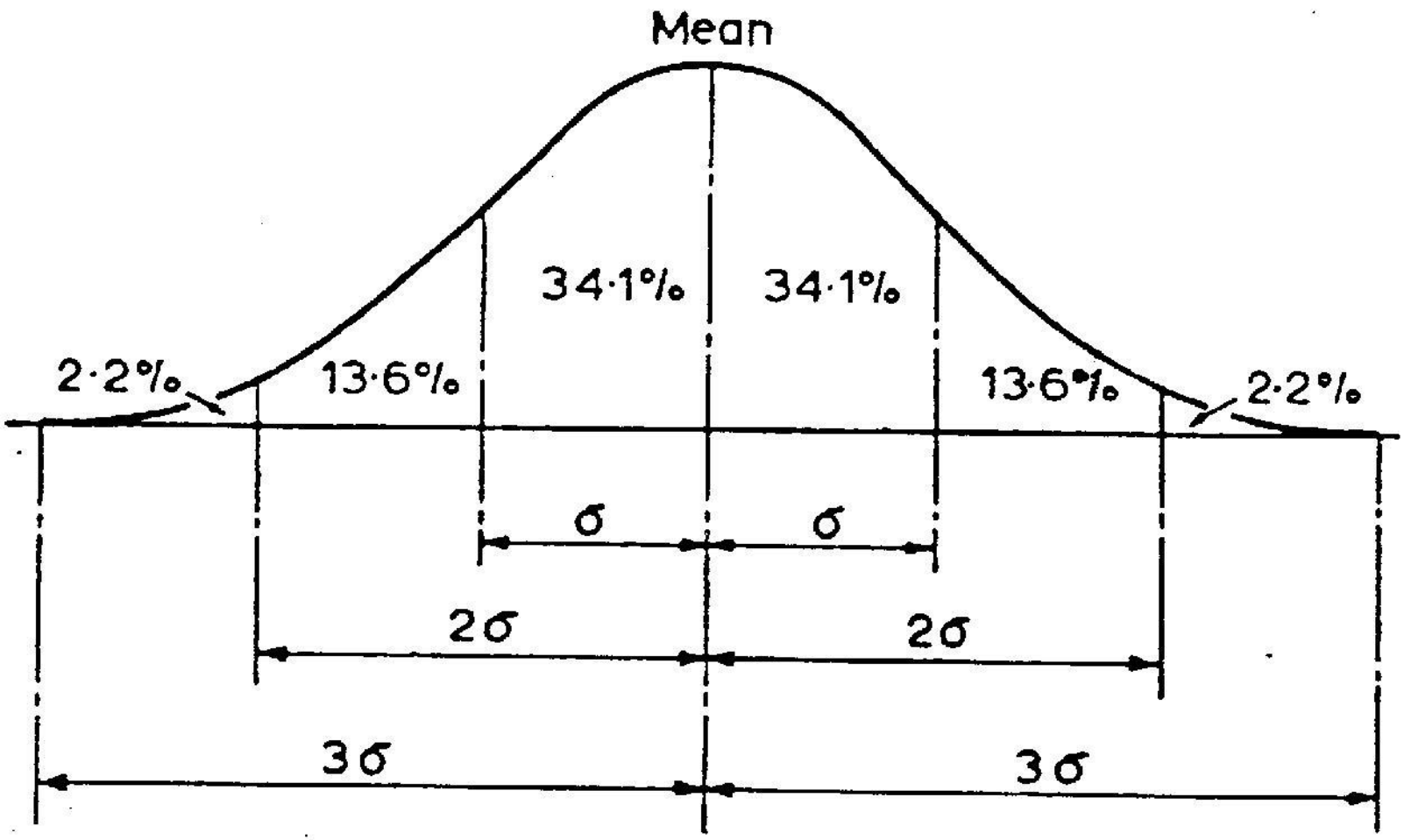
حاشیه مقاومت

فواصل مقاومت (MPa)	تعداد نمونه در فاصله مورد نظر
43-42	1
44-43	1
45-44	0
46-45	0
47-46	3
48-47	3
49-48	8
50-49	11
51-50	31
52-51	31
53-52	37
54-53	55
55-54	69

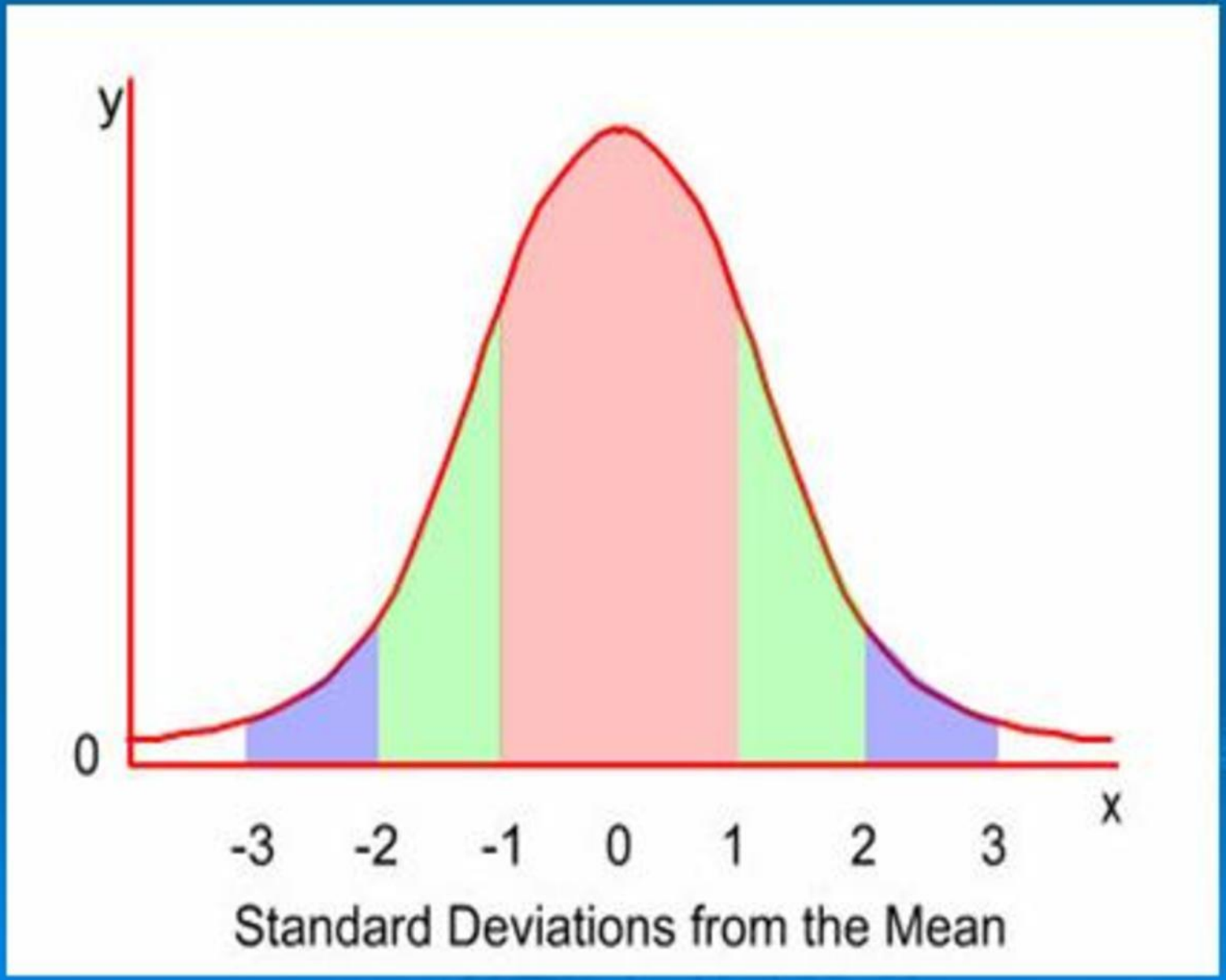
فواصل مقاومت (MPa)	تعداد نمونه در فاصله مورد نظر
56-55	51
57-56	59
58-57	54
59-58	32
60-59	23
61-60	7
62-61	10
63-62	3
64-63	1
65-64	2
66-65	0
67-66	1
Σ	493

هیستوگرام براي مقادیر مقاومت داده شده





منحنی توزیع نرمال ، درصد نمونه‌ها در فواصل انحراف از معیار برابر یک نشان داده شده‌اند.


y
0
x
-3
-2
-1
0
1
2
3
Standard Deviations from the Mean

مقاومت متوسط :

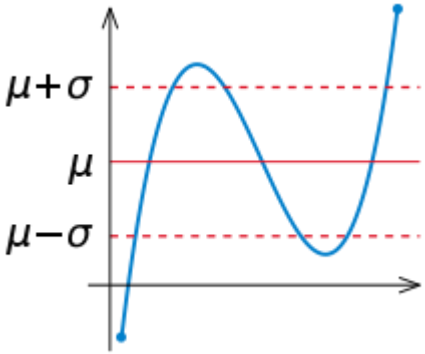
$$f_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} f_i}{n}$$

انحراف معیار :

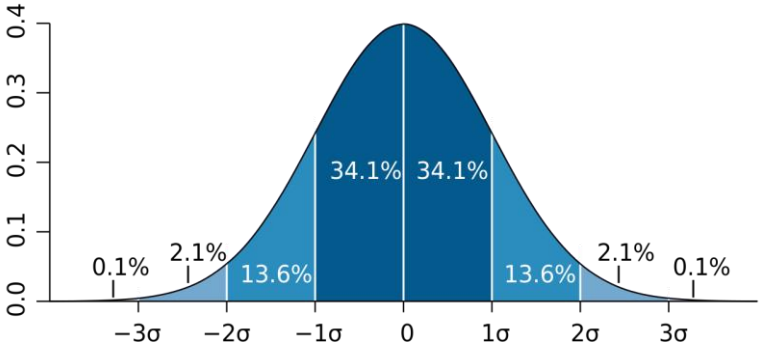
$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (f_i - f_m)^2}{n-1}}$$

یاد آوری :انحراف معیار (standard deviation) نماد (σ) یا S یکی از شاخص های پراکندگی است که نشان می‌دهد به‌طور میانگین داده‌ها چه مقدار از مقدار متوسط فاصله دارند. اگر انحراف معیار مجموعه‌ای از داده‌ها نزدیک به صفر باشد، نشانه آن است که داده‌ها نزدیک به میانگین هستند و پراکندگی اندکی دارند؛

انحراف معیار برای تعیین ضریب اطمینان در تحلیل‌های آماری نیز به کار می‌رود. در مطالعات علمی، معمولاً داده‌های با اختلاف بیشتر از دو انحراف معیار از مقدار میانگین به عنوان داده‌های پرت در نظر گرفته و از تحلیل، خارج می‌شوند.



معمولاً با افزایش تعداد داده‌ها توزیع آن‌ها به منحنی توزیع نرمال میل پیدا می‌کند. در توزیع نرمال، ۶۸٫۲٪ داده‌ها در فاصله کمتر از یک انحراف معیار نسبت به میانگین قرار دارند. این مقدار برای فاصله‌های دو و سه انحراف معیار، به ترتیب ۹۵٫۴٪ و ۹۹٫۷٪ است. به بیان دیگر، احتمال آن که اختلاف یک داده با میانگین، بیش از سه انحراف معیار باشد، تنها ۰٫۳٪ (تقریباً معادل ۱ در ۳۰۰) است.



«علت و منشأ تغییرات در مقاومت بتن»

۱. تغییرات در اجزاء بتن (کمیت و کیفیت مصالح مصرفي)

۲. تغییرات در روشهاي ساخت و اجراي بتن. **(مانند بتن ریزی با پمپ یا تاور-تغییر نوع قالبندی و...)**

۳. تغییرات در روند نمونه‌گیري و آزمایش بتن.

ضریب احتمال (k)	احتمال قرارگرفتن مقاومت در محدوده $f_m \pm ks$ (درصد)	احتمال داشتن مقاومت کمتر از $f_m - ks$ (ریسك - درصد)
۱	۶۸.۲	۱۵.۹
۱.۵	۸۶.۶	۶.۷
۱.۶۴	۹۰	۵
۱.۹۶	۹۵	۲.۵
۲	۹۵.۴	۲.۳
۲.۳۳	۹۸	۱
۲.۵	۹۸.۸	۰.۶
۳	۹۹.۸	۰.۱

نتیجه:

چون همواره این احتمال وجود دارد که نتایج تعدادي از آزمایش‌ها کمتر از مقاومت در نظر گرفته شده براي محاسبه سازه باشد ، لذا بر حسب **میزان ریسک** یا **دقت کار** باید طرح اختلاط براي مقاومتي **بیشتر** از مقاومت فوق صورت گیرد.

$$\Rightarrow f_m = f_c + ks$$

f_m: مقاومت متوسط

f_c: مقاومت مشخصه

ks: حاشیه مقاومت

- مقدار مشخص شده در نقشه ها و مبنای طراحی

رابطه f_m و f_c (پیشنهاد میزان ریسک):

$$\begin{cases} f_m = f_c + 1.34s + 1.5 \\ f_m = f_c + 2.33s - 4.0 \end{cases}$$

به دلیل تلفیق نتایج آماری با نتایج عملی آزمایشهای بشیار زیاد در دنیا رابطه fm
به صورت بالا تبدیل شده است.

ويژگي‌هاي لازم براي پرونده هاي نتايج آزمايشات مقاومت قبلي به منظور محاسبه انحراف معيار:

۱. مشابهت در مصالح مصرفی از نظر نوع و مشخصات فنی ، روش هاي كنترل كيفيت (نظارت) و ساير شرايط اجرايي با طرح جديد

۲. مقدار تفاوت كمتر از 5 مگاپاسكال در مقاومت فشاری مشخصه بتن در آنها و پروژه موجود

۳. شامل حداقل 30 آزمايش متوالي (يا دو گروه آزمايشات متوالي جمعاً داراي حداقل 30 آزمايش)

رابطه انحراف معيار ميانگين براي دو پرونده آزمايشات:

$$S = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

ضرائب اصلاح انحراف معيار درصورتي كه كارگاه توليد بتن داراي يك پرونـده آزمايشـي بـا ويژگـي‌هـاي شـماره 1 و 2 ولـي بـر اسـاس 15 تـا 29 آزمايش متوالي باشد:

تعداد آزمايشات	ضريب اصلاح انحراف معيار
15	1/16
20	1/08
25	1/03

$$R = 0.75 + (\frac{2}{n})^{0.5}$$

رابطه f_m و f_c (پیشنهاد میزان ریسك):

$$\begin{cases} f_m = f_c + 1.34s + 1.5 \\ f_m = f_c + 2.33s - 4.0 \end{cases}$$

تعیین انحراف معیار براساس سطح نظارت و کنترل کیفیت کارگاه

انحراف معیار بر اساس رتبه‌بندی کارگاه و مقاومت مشخصه بتن

رتبه‌بندی کارگاه	مقاومت مشخصه بتن (N/mm^2)				
	۱۶	۲۰	۲۵	۳۰ و ۳۵	۴۰ و بیشتر
الف	۲/۵	۳	۳/۵	۴	۴/۵
ب	۳/۵	۴	۴/۵	۵	۵/۵
ج	۴/۵	۵	۵/۵	۶	۶/۵

رتبه‌بندی کارگاه‌ها بر اساس وضعیت تولید بتن، نظارت و کنترل کیفیت

شرایط تولید و کنترل	وضعیت کنترل کیفیت		
	الف	ب	ج
توزین یا پیمانه کردن سیمان	وزنی	وزنی	حجمی
توزین یا پیمانه کردن سنگدانه	وزنی	حجمی	حجمی
کنترل دانه‌بندی سنگدانه	کنترل شده	کنترل شده	بدون کنترل
کنترل رطوبت سنگدانه	کنترل شده	کنترل شده	بدون کنترل
نظارت بر تولید	در سطح عالی	در سطح خوب	درسطح ضعیف
امکانات آزمایشگاهی	موجود است	موجود است	در سطح محدود
تداوم در آزمایش	مداوم	گاهی اوقات	در سطح محدود
نیروی متخصص تولید بتن	وجود دارد	وجود دارد	در سطح محدود

کارگاه فاقد نتایج آزمایشات قبلی و عدم دسترسی به هیچ اطلاعاتی :

آبا

- برای رده C۱۲ و پایین تر ⟶ $f_m = f_c + 6.0$
- برای رده C۱۶ ⟶ $f_m = f_c + 7.5$
- برای رده C۲۰ ⟶ $f_m = f_c + 8.5$
- برای رده C۲۵ ⟶ $f_m = f_c + 9.5$
- برای رده C۳۰ و C۳۵ ⟶ $f_m = f_c + 10.5$
- برای رده C۴۰ و بالاتر ⟶ $f_m = f_c + 11.0$

«ساير ديدگاه‌هاي آبا درمورد طرح اختلاط»

الف) مقاومت مشخصه (f_c) :

مقاومتي است كه حداكثر 5 درصد كليه مقاومت‌هاي اندازه‌گيري شده براي هر رده بتن مورد نظر ممكن است از آن كمتر باشند.

ب) روشهاي تعيين نسبتهاي اختلاط:

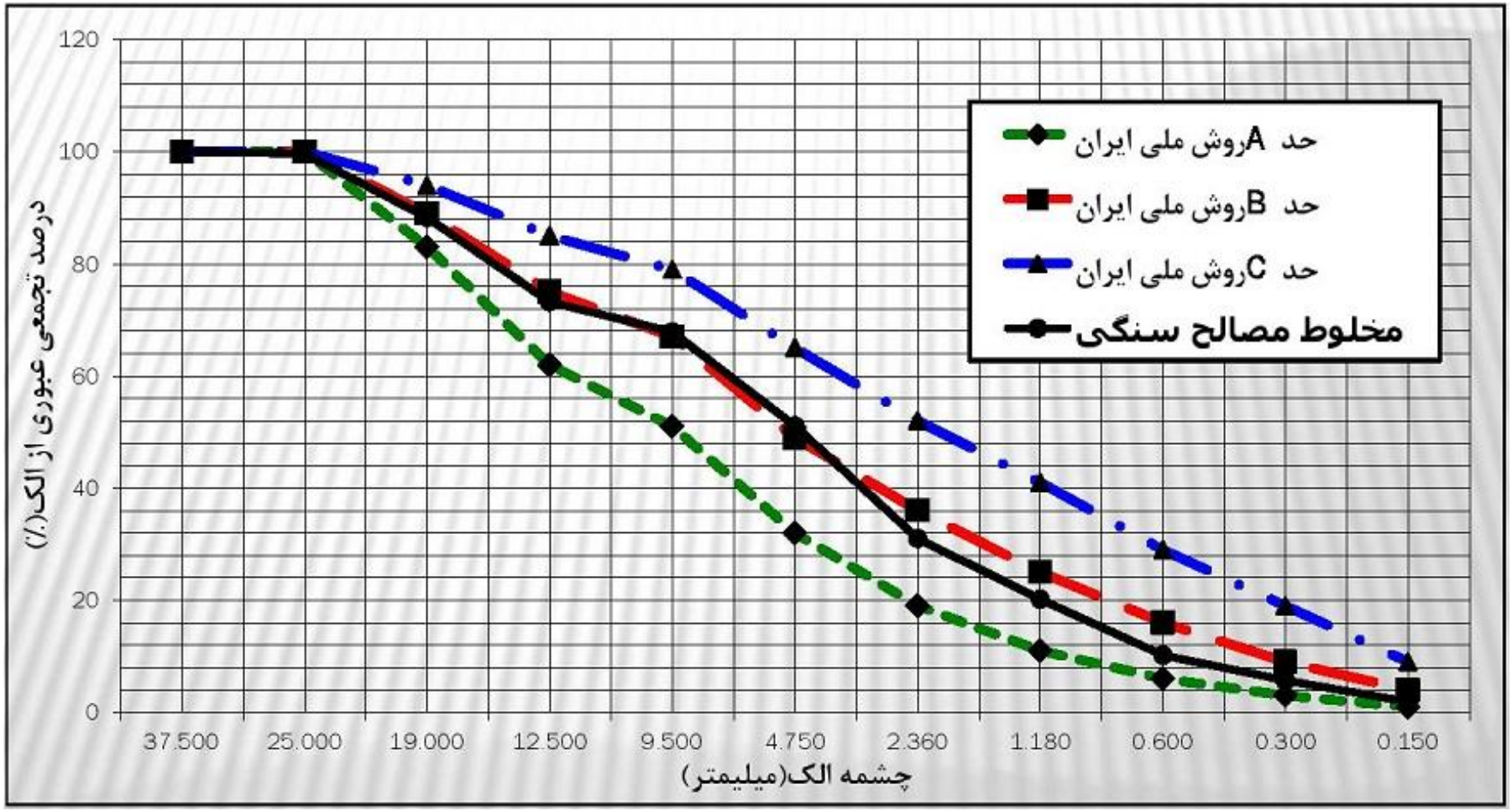
1- بتن هاي C۱۲ و پايين تر ← براساس تجارب قبلي و بدون مطالعه آزمايشگاهي.

2- بتن هاي C۲۵ و پايين تر ← استفاده از نسبتهاي اختلاط استاندارد ، مطابق دفترچه مشخصات فنی عمومی مشروط بر استاندارد بودن مصالح مصرفی .

3- بتن هاي C۳۰ و بالاتر ← براساس مطالعات آزمايشگاهي.

ج) نمونه هاي آزمايشي استاندارد ← استوانه به ابعاد 30*15 سانتي‌متر (براي نمونه هاي استوانه اي با ابعاد ديگر يا نمونه هاي مكعبي بايد مقاومتها به نمونه استاندارد فوق تبديل شوند. روابط مربوطه در آبا هست)

روش ملی طرح مخلوط بتن



فهرست مطالب

1) مقدمه

2) مبانی طرح

3) تعیین انحراف معیار و مقاومت فشاری متوسط لازم برای طرح

4) مراحل گام به گام روش ملی طرح مخلوط بتن

5) ساخت مخلوط آزمون و اصلاح طرح مخلوط اولیه

6) حل یک مثال

7) وجه تمایز نحوه طرح اختلاط بتن توانمند

۱- مقدمه

۱– مقدمه

– مناسب نبودن برخی از روش‌های طرح اختلاط معتبر با شرایط ایران از قبیل:

- X دانه‌بندی خاص
- X نوع سیمان موجود در ایران

– استفاده از روش آلمانی به عنوان مبنائی برای تدوین روش ملی.

- ✓ دانه بندی متغیر
- ✓ استفاده از روش حجم مطلق
- ✓ قابلیت استفاده از مواد حبابزا و پوزولانی در آن
- ✓ و ...

– وفق دادن روش آلمانی و ارائه طرح اختلاط ملی در سال ۸۵.

۲- مبانی اولیه

۲– مبانی اولیه

- حاشیه ایمنی مقاومت
- اندازه گیری روانی بتن
- تعریف آب آزاد بتن
- نوع سنگدانه ها
- دانه‌بندی سنگدانه‌ها
- نوع سیمان مصرفی
- شرایط عمل آوری و سن آزمایش
- دوام

۲– مبانی اولیه

حاشیه ایمنی مقاومت

به دلیل تغییرات در مقدار مقاومت بتن، ناشی از غیریکنواخت احتمالی در مصالح، اجزای بتن، ساختن، ریختن، تراکم، عمل آوری و ... مخلوط بتن باید طوری طراحی گردد که از مقاومت میانگین بیشتری نسبت به مقاومت موردنظر برخوردار باشد. در ادامه توضیحات کاملتر آمده است.

اندازه گیری روانی بتن

در روش طرح مخلوط ملی، برای سنجش روانی و طبقه بندی آن، از آزمایش اسلامپ استفاده شده است.

طبقه‌بندی		اسلامپ (میلی‌متر)
S1	سفت	۱۰ تا ٤٠
S2	خمیری	٥٠ تا ۹٠
S3	روان	۱٠٠ تا ۱٥٠
S4	خیلی روان (سیال)	بزرگتر یا مساوی ۱٦٠

۲– مبانی اولیه

مبنی طراحی

تعریف آب آزاد بتن

آب جذب شده توسط سنگدانه ها تا رسیدن به SSD+آب آزاد انجام هیدراسیون= کل آب مخلوط بتن

مقدار رطوبت سنگدانه ها کمتر از حالت اشباع با سطح خشک ← مقدار آب اختلاط بیشتر از آب آزاد

مقدار رطوبت سنگدانه ها بیشتر از حالت اشباع با سطح خشک ← مقدار آب اختلاط کمتر از آب آزاد

نوع سنگدانه‌ها (شکل ذرات و بافت سطحی)

شکل ذرات عامل موثر در کارایی مخلوط و بافت سطحی موثر در پیوستگی بین خمیر سیمان و سنگدانه ها و مقاومت بتن است. تاثیر شکل و بافت درشت دانه ها بیشتر از ریزدانه ها است.

در روش طرح ملی مخلوط، سنگدانه ها به دو نوع، گردگوشه و گوشه دار (تیزگوشه) تقسیم می شود.

شکل ظاهری سنگدانه ها

۲– مبانی اولیه

دانه بندی سنگدانه ها

در روش طرح مخلوط ملی، منحنی های ترکیب شن و ماسه با حداکثر اندازه سنگدانه ۹/۵، ۱۹، ۲۵ و ۳۷/۵ میلیمتر است، به گونه ای که با انتخاب درصد مناسب سنگدانه ریز و درشت استاندارد (استاندارد ملی ۳۰۲)، توزیع دانه ها مطابق محدوده منحنی های ارائه شده حاصل گردد.

نوع سیمان مصرفی

انواع مختلف سیمان و رده مقاومت آن در آهنگ کسب مقاومت بتن و خواص بتن اثر مستقیم دارد.

در روش طرح مخلوط ملی، نوع سیمان مصرفی، پرتلند با رده های مقاومتی ۳۲۵، ۴۲۵ و ۵۲۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع (مقاومت ملات استاندارد سیمان در ۲۸ روز) در نظر گرفته شده است.

۲– مبانی اولیه

شرایط عمل آوری و سن آزمایش

در بسیاری از مشخصات فنی، مقاومت مشخصه ۲۸ روزه، به عنوان معیار سنجش مقاومت می باشد.

در روش طرح مخلوط ملی، مقاومت آزمونه های استاندارد استوانه ای بتن (۳۰×۱۵) که تا سن ۲۸ روز در شرایط استاندارد عمل آوری شده اند، در نمودارها و منحنی ها در نظر گرفته شده است.

دوام

طرح مخلوط بتن بر اساس دوام، با محدود کردن نسبت آب به سیمان حداقل و یا حداکثر مقدار سیمان و انتخاب نوع سیمان و یا مواد افزودنی معدنی و شیمیایی، صورت می گیرد.

۳- تعیین انحراف معیار و مقاومت فشاری متوسط لازم برای طرح

۳- تعیین انحراف معیار و مقاومت فشاری متوسط لازم برای طرح

مقاومت فشاری متوسط لازم برای طرح مخلوط بتن

در آیین‌نامه بتن ایران، بزرگترین مقدار بدست آمده از دو رابطه زیر همان مقاومت هدف طرح خواهد بود.

$$f_{cm} = f_c + 1.34\,s + 1.5$$
$$f_{cm} = f_c + 2.33\,s - 4.0$$

که در آن:

f_{cm}= مقاومت فشاری هدف طرح برای نمونه استوانه ای بتنی بر حسب N/mm^2 در سن مقاومت مشخصه.

f_c = مقاومت فشاری مشخصه نمونه استوانه ای بتن بر حسب N/mm^2 در سن مقاومت مشخصه.

s= انحراف معیار (استاندارد) مقاومت فشاری نمونه استوانه ای بر حسب N/mm^2 در سن مقاومت مشخصه.

اگر مقاومت مشخصه مساوی یا کمتر از N/mm^2 ۲۰ می‌توان بجای ۴/۰ از مقدار ۳/۰ استفاده نمود.

در صنعت ساختمان و مهندسی بتن، مقاومت فشاری که از آزمایشگاه بدست می‌آید، می‌تواند به سه شکل تفسیر شود:

مقاومت فشاری هدف (Target Compressive Strength): این مقاومت بر اساس طراحی مخلوط بتنی تعیین می‌شود و مقداری است که طراحان می‌خواهند بتن پس از سخت شدن به آن برسد. این مقدار بیشتر جنبه هدف‌گذاری دارد و برای تضمین کیفیت بتن در نظر گرفته می‌شود.

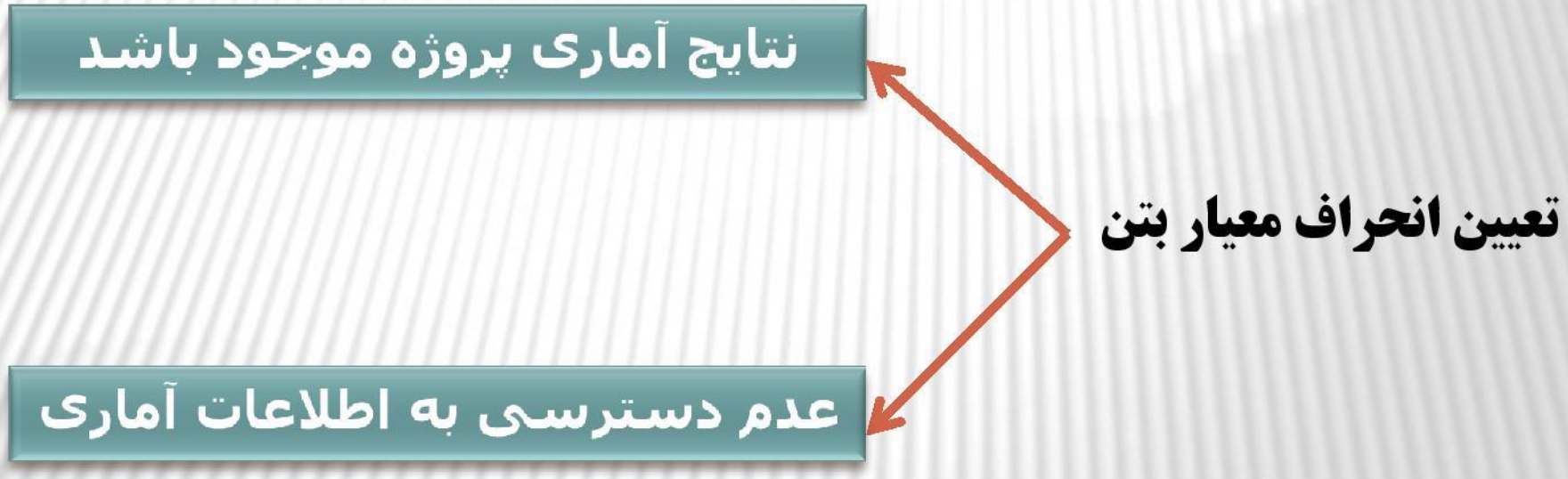
مقاومت فشاری مشخصه (Characteristic Compressive Strength): این مقاومت، که با fckf_{ck}fck نشان داده می‌شود، مقدار مقاومت فشاری است که با احتمال ۹۵% بتن تازه ساخت می‌تواند از آن بیشتر باشد. این عدد مبنای طراحی بارهای سازه‌ای است و بر اساس استانداردهایی مانند ASTM یا EN تعیین می‌شود.

مقاومت فشاری متوسط (Average Compressive Strength): این مقاومت میانگین مقاومت‌های فشاری است که از چندین نمونه بتنی در آزمایشگاه بدست آمده است. این مقدار برای ارزیابی کیفیت کلی بتن و مقایسه با مقاومت‌های مورد انتظار و طراحی شده استفاده می‌شود.

در مورد آزمایشاتی که برای مقایسه نتایج ۲۸ روزه انجام می‌شود، معمولاً به **مقاومت فشاری مشخصه** اشاره می‌کنند، زیرا این مقاومت به عنوان استانداردی برای ارزیابی عملکرد بتن در زمان مشخص (معمولاً ۲۸ روز) مورد استفاده قرار می‌گیرد و بر اساس آن می‌توان تصمیم‌گیری‌های مهندسی را انجام داد.

یک مثال عملی را بررسی کنیم تا تفاوت بین مقاومت فشاری هدف، مقاومت فشاری مشخصه، و مقاومت فشاری متوسط را بهتر درک کنیم:سناریوفرض کنید یک مهندس عمران مسئول طراحی مخلوط بتنی برای ستون‌های یک ساختمان بزرگ است. طبق استانداردهای مهندسی، مقاومت فشاری مورد نیاز برای ستون‌ها (kcf f ck مقاومت فشاری مشخصه) ۳۰ مگاپاسکال (MPa) تعیین شده است.مقاومت فشاری هدفمهندس ممکن است تصمیم بگیرد که برای حاشیه ایمنی و تضمین کیفیت، مقاومت فشاری هدف بتن را ۳۵ MPaتنظیم کند. این مقدار بالاتر از kcf f ck است تا اطمینان حاصل شود که بیشتر نمونه‌ها مقاومت مورد نظر را دارند، حتی اگر بعضی از نمونه‌ها کمی ضعیف‌تر باشند.مقاومت فشاری مشخصهkcf f ck یا مقاومت فشاری مشخصه برای این پروژه ۳۰ MPaاست. این بدین معناست که با اطمینان ۹۵%، مقاومت فشاری نمونه‌های تست شده در آزمایشگاه باید بیش از ۳۰ MPaباشد.مقاومت فشاری متوسطپس از ساخت و تست نمونه‌ها، فرض کنیم که مقاومت‌های فشاری ثبت شده برای نمونه‌های مختلف به ترتیب ۳۲, ۳۴, ۳۳, ۳۱, و ۳۵ MPaباشد. مقاومت فشاری متوسط این نمونه‌ها به صورت زیر محاسبه می‌شود:مقاومت فشاری متوسط=۳۲+۳۴+۳۳+۳۱+۳۵=۳۳ MPaمقاومت فشاری متوسط= ۵۳۲+۳۴+۳۳+۳۱+۳۵ =۳۳ MPaاین مقدار نشان‌دهنده میانگین کلی مقاومت فشاری بتن است و به مهندس اطلاع می‌دهد که مخلوط بتنی به طور کلی چگونه عمل کرده است.کاربرد در پروژهاین اطلاعات به مهندس کمک می‌کند تا تصمیم‌گیری‌های دقیق‌تری در مورد ادامه استفاده از این مخلوط بتنی برای بقیه ستون‌ها داشته باشد یا در صورت نیاز تغییراتی در ترکیب بتن ایجاد کند تا به مقاومت فشاری مورد نیاز و اطمینان بیشتری دست یابد.

۳- تعیین انحراف معیار و مقاومت فشاری متوسط لازم برای طرح



۳-۱- محاسبه انحراف معیار بر اساس نتایج آماری پروژه موجود یا پروژه‌های قبلی

اگر حداقل ۳۰ نتیجه متوالی مقاومت در پروژه موجود باشد:

$$\text{انحراف معیار } s = \sqrt{\frac{\sum (x - m)^2}{n - 1}}$$

که در آن :

x : مقاومت فشاری آزمونه

m : میانگین مقاومت فشاری آزمونه‌ها

n : تعداد آزمونه‌ها

اعمال ضریب اصلاحی اگر حداقل ۳۰ نتیجه متوالی مقاومت در پروژه موجود نباشد:

$$\text{ضریب اصلاحی انحراف معیار } R = \left[0.75 + \left(\frac{2}{n}\right)^{1/2}\right]$$

که در آن :

n : تعداد آزمونه‌ها

۳-۲- تعیین انحراف معیار در صورت عدم دسترسی به اطلاعات آماری

انحراف معیار بر اساس رتبه‌بندي کارگاه و مقاومت مشخصه بتن

رتبه‌بندی کارگاه	مقاومت مشخصه بتن (N/mm^2)				
	۱۶	۲۰	۲۵	۳۰ و ۳۵	۴۰ و بیشتر
الف	۲/۵	۳	۳/۵	۴	۴/۵
ب	۳/۵	۴	۴/۵	۵	۵/۵
ج	۴/۵	۵	۵/۵	۶	۶/۵

رتبه‌بندي کارگاه‌ها بر اساس وضعیت تولید بتن، نظارت و کنترل کیفیت

شرایط تولید و کنترل	وضعیت کنترل کیفیت		
	الف	ب	ج
توزین یا پیمانه کردن سیمان	وزنی	وزنی	حجمی
توزین یا پیمانه کردن سنگدانه	وزنی	حجمی	حجمی
کنترل دانه‌بندی سنگدانه	کنترل شده	کنترل شده	بدون کنترل
کنترل رطوبت سنگدانه	کنترل شده	کنترل شده	بدون کنترل
نظارت بر تولید	در سطح عالی	در سطح خوب	درسطح ضعیف
امکانات آزمایشگاهی	موجود است	موجود است	در سطح محدود
تداوم در آزمایش	مداوم	گاهی اوقات	در سطح محدود
نیروی متخصص تولید بتن	وجود دارد	وجود دارد	در سطح محدود

۳-۲- تعیین انحراف معیار در صورت عدم دسترسی به اطلاعات آماری

اگر نتوان انحراف معیار را بدست آورد یا حدس زد ونتوان به هیچ گونه اطلاعات خاصی دراین زمینه دست یافت

آنگاه:

$$f_{cm} = f_c + (SM)$$

f_c (N/mm²)	۱۶ و کمتر	۲۰	۲۵	۳۰و۳۵	۴۰ تا ۵۰
SM (N/mm²)	۷/۵	۸/۵	۹/۵	۱۰/۵	۱۱

٤- مراحل گام به گام روش ملی طرح مخلوط بتن

نمونه :

جدول ۱- اطلاعات و داده‌های مربوط به بتن آماده

مقاومت مشخصه مکعبی ۲۸ روزه f_c	MPa	۳۰
انحراف معیار بتن S	MPa	-
اسلامپ متوسط پس از ۵ دقیقه و ۶۰ دقیقه	mm	۱۴۰ و ۱۱۰
حداکثر مجاز نسبت آب به سیمان	W/C	-
حداقل سیمان مجاز	Kg/m^3	۳۲۵
حداکثر سیمان مجاز	Kg/m^3	۴۲۵
نمای لازم		متوسط

نسبت‌های اختلاط

مصالح مصرفی	مقدار (کیلوگرم در متر مکعب)
سیمان پرتلند نوع ۲	۴۱۵
شن به صورت SSD	۶۶۷
ماسه به صورت SSD	۱۰۰۱
آب آزاد	۱۹۹

مراحل گام به گام روش ملی طرح مخلوط بتن

√ **گام اول:** تعیین نسبت آب به سیمان

گام دوم: انتخاب محدوده منحنی مخلوط سنگدانه بتن

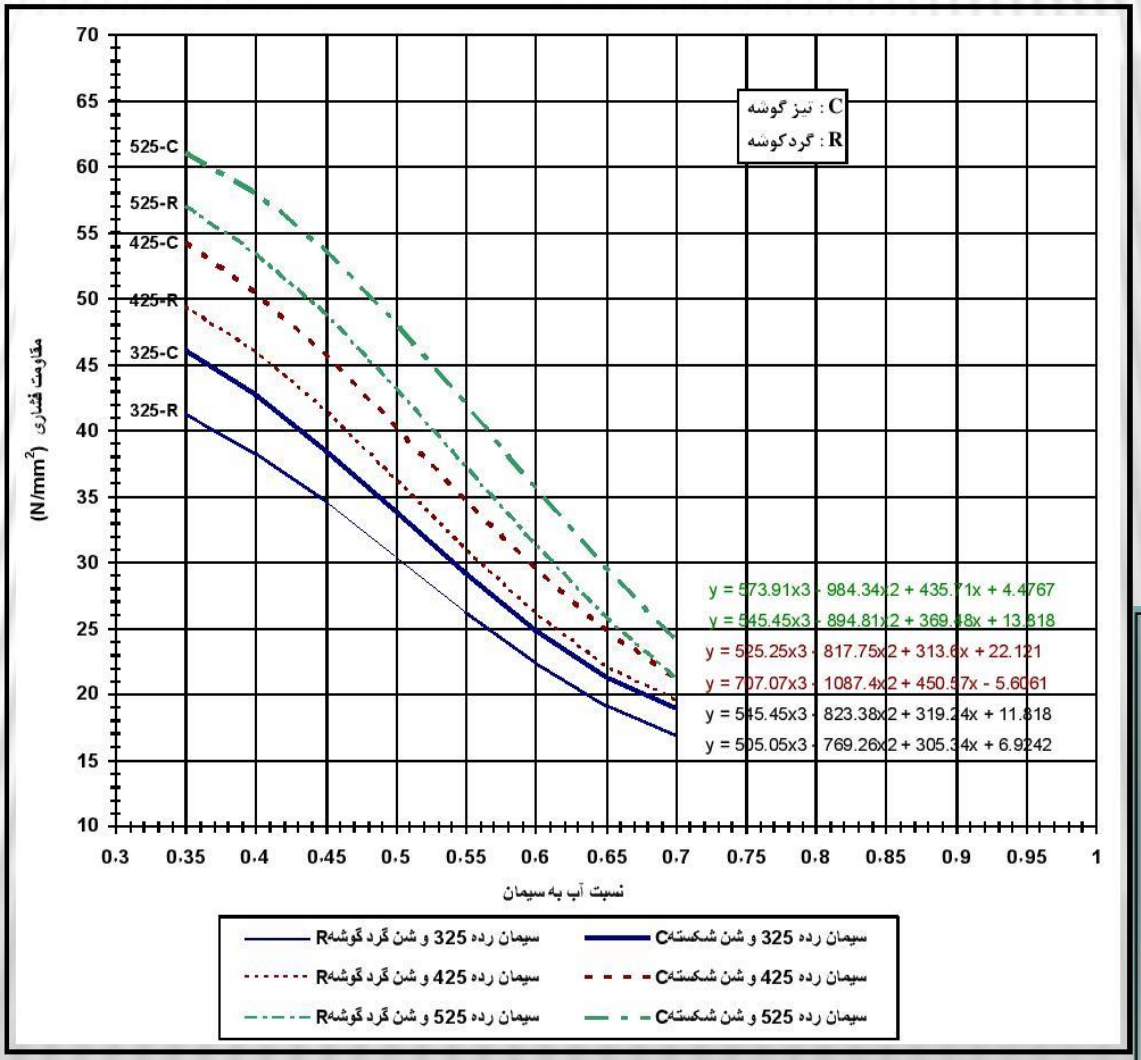
گام سوم: تعیین مقدار آب آزاد بتن

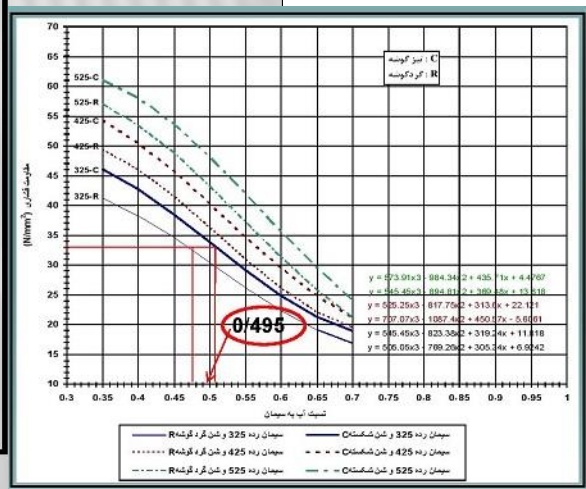
گام چهارم: تعیین مقدارسیمان در بتن

گام پنجم: تعیین مقدار سنگدانه بتن

گام اول: تعیین نسبت آب به سیمان (نسبت آب آزاد به مواد سیمانی)

رابطه نسبت آب به سیمان و مقاومت فشاری بدون مصرف روان‌کننده

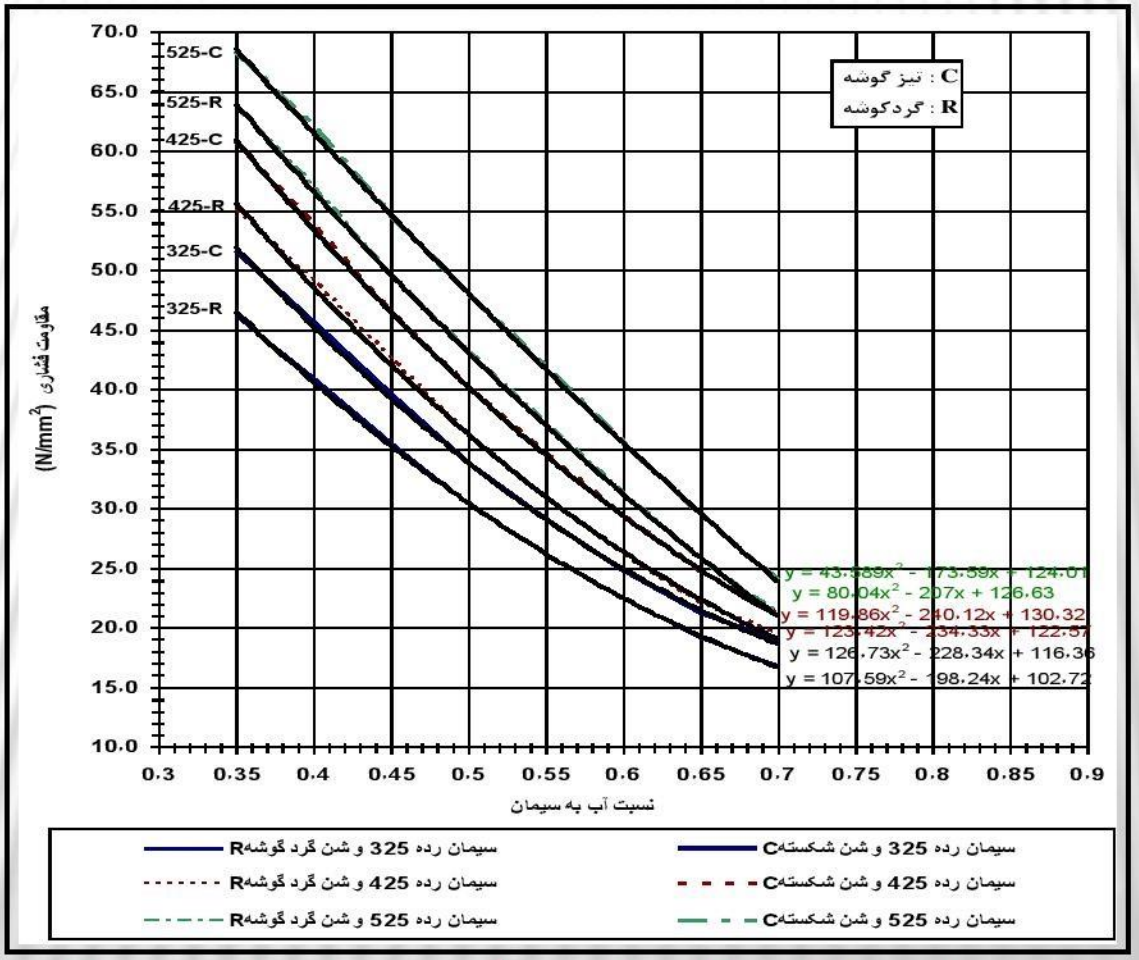




گام اول: تعیین نسبت آب به سیمان (نسبت آب آزاد به مواد سیمانی)

رابطه نسبت آب به سیمان و مقاومت فشاری با توجه به مصرف روان‌کننده

مقاومت فشاری در اثر مواد افزودنی نسبت به حالت قبل بیشتر است .



نکته ۱ : امکان رسیدن به مقاومت فشاری بالاتر با نسبت آب به سیمان برابر وجود دارد.

نکته ۲ : اختلاف دو سری منحنی ها، در نسبت آب به سیمان های پایین است.

گام اول: تعیین نسبت آب به سیمان (نسبت آب آزاد به مواد سیمانی)

ضرایب اصلاحی

1) اصلاحیه به خاطر استفاده مواد حباب‌ساز.
2) اصلاحیه درصد شکستگی سنگدانه‌ها.
3) ضریب اصلاحی بر اساس مقاومت ملات سیمان استاندارد.
4) ضریب اصلاحی به منظور اعمال سن مقاومت مشخصه.

گام اول: تعیین نسبت آب به سیمان (نسبت آب آزاد به مواد سیمانی)

اصلاحیه به خاطر استفاده مواد حباب ساز:

در صورت استفاده از مواد حباب‌زا و ایجاد حباب عمدی لازم است در ازای هر یک درصد حباب هوای عمدی، ۵ درصد از نسبت آب به سیمان باید کاست، زیرا بتن حبابدار از مقاومت کمتری برخوردار می‌شود.

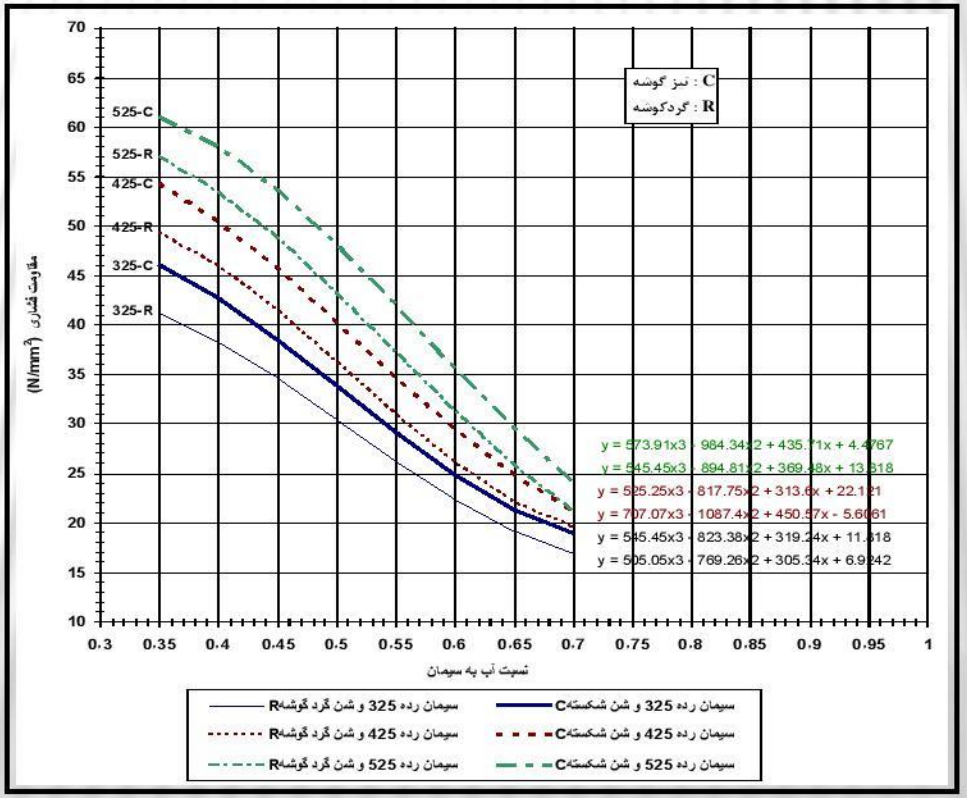
مثال:

اگر ۳ درصد هوای عمدی در بتن ایجاد شود باید ۱۵ درصد از نسبت آب به سیمان کم نمود. یعنی اگر نسبت آب به سیمان اولیه برابر ۰/۵ باشد پس از کسر ۱۵ درصد، مقدار آن ۰/۴۲۵ می‌گردد.

گام اول: تعیین نسبت آب به سیمان (نسبت آب آزاد به مواد سیمانی)

اصلاحیه درصد شکستگی سنگدانه‌ها:

می‌توان از **درون‌یابی** بین منحنی‌های مربوط به سنگدانه گردگوشه (R) و تیز گوشه (C) استفاده نمود. درصد شکستگی متوسط سنگدانه‌های درشت را می‌توان با مشاهده حدس زد و مورد استفاده قرار داد و یا بر اساس آزمایش بدست آورد.



گام اول: تعیین نسبت آب به سیمان (نسبت آب آزاد به مواد سیمانی)

ضریب اصلاحی بر اساس مقاومت ملات سیمان استاندارد:

اگر مقاومت فشاری ۲۸ روزه ملات ماسه سیمان استاندارد که طبق روش استاندارد ملی ایران به شماره ۳۹۳ کمتر از kg/cm^2 ۳۲۵ باشد:

$$\alpha = \text{(مقاومت فشاری ملات ماسه سیمان استاندارد 28 روزه)} \div 325$$

ضریب α در مقدار آب به سیمان بدست آمده از سیمان رده ۳۲۵ ضرب می شود.

نوع سیمان پرتلند	حداقل مقاومت فشاری ملات ۲۸ روزه استاندارد	نوع سیمان آمیخته	حداقل مقاومت فشاری ملات ۲۸ روزه استاندارد
پرتلند ۳۲۵-۱	۳۲۵	پرتلند پوزولانی	۳۰۰
پرتلند ۴۲۵-۱	۴۲۵	پرتلند پوزولانی ویژه	۲۷۵
پرتلند ۵۲۵-۱	۵۲۵	پرتلند سرباره‌ای	۳۲۰
پرتلند نوع ۲	۳۱۵	پرتلند سرباره‌ای ضد سولفات	۳۰۰
پرتلند نوع ۵	۲۷۰	پرتلند آهکی	۳۳۰
پرتلند سفید	۳۱۵		

گام اول: تعیین نسبت آب به سیمان (نسبت آب آزاد به مواد سیمانی)

ضریب اصلاحی به منظور اعمال سن مقاومت مشخصه:

اگر مقاومت فشاری ۲۸ روزه ملات ماسه سیمان استاندارد که طبق روش استاندارد ملی ایران به شماره ۳۹۳ کمتر از $325 kg/cm^2$ باشد:

نوع سیمان	۲۸ روزه	۴۲ روزه	۵۶ روزه	۹۰ روزه
پرتلند نوع ۱	۱/۰۰	۱/۰۵	۱/۱	۱/۲
پرتلند نوع ۲	۰/۹۷	۱/۰۵	۱/۱	۱/۲
پرتلند نوع ۵	۰/۸۵	۰/۹۵	۱/۰۵	۱/۲
پرتلند پوزولانی	۰/۹۲	۰/۹۷	۱/۰۵	۱/۲
پرتلند پوزولانی ویژه	۰/۸۵	۰/۹۲	۱/۰۵	۱/۲
پرتلند سرباره ای	۱/۰۰	۱/۰۵	۱/۱	۱/۲
پرتلند سرباره ای ضد سولفات	۰/۹۲	۰/۹۷	۱/۰۵	۱/۲
پرتلند سفید	۰/۹۵	۱/۰۰	۱/۰۵	۱/۲

مراحل گام به گام روش ملی طرح مخلوط بتن

√ گام اول: تعیین نسبت آب به سیمان

گام دوم: انتخاب محدوده منحنی مخلوط سنگدانه بتن √

گام سوم: تعیین مقدار آب آزاد بتن

گام چهارم: تعیین مقدارسیمان در بتن

گام پنجم: تعیین مقدار سنگدانه بتن

گام دوم: انتخاب محدوده منحنی مخلوط سنگدانه بتن

اهمیت دانه بندی را می توان به این صورت مطرح کرد که مقدار خمیر سیمان در بتن، تابع فضای خالی بین سنگدانه ها و کل مساحت سنگدانه ها می باشد، زیرا منافذ بین سنگدانه ها توسط خمیر سیمان اشغال می گردد و سطح سنگدانه ها باید با خمیر سیمان اندود شود.

به طور نظری می توان برای هر حداکثر اندازه سنگدانه، یک منحنی دانه بندی با حداقل فضای منافذ بدست می آید.

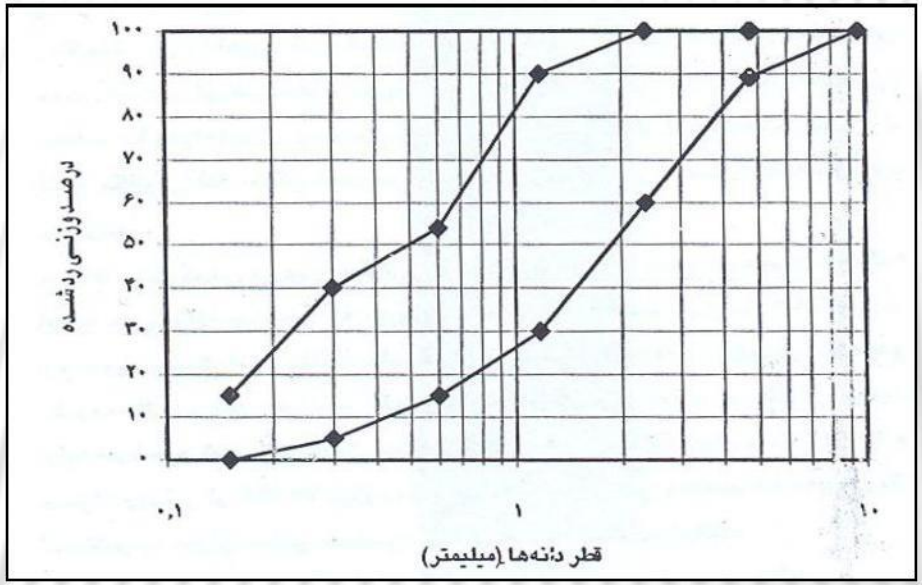
مقاومت بتن ها با نسبت یکسان آب به سیمان، بویژه در مقادیر کم آن، با کاهش اندازه حداکثر سنگدانه، معمولا افزایش می یابد.

از طرف دیگر، افزایش اندازه حداکثر سنگدانه، مقدار آب موردنیاز مخلوط را برای کارایی مشخص کاهش می دهد و در نتیجه مقاومت بتن افزایش می یابد.

در نتیجه افزایش اندازه سنگدانه دو اثر متضاد دارد.

گام دوم: انتخاب محدوده منحنی مخلوط سنگدانه بتن

دانه‌بندی شن و ماسه بصورت مجزا در محدوده استاندارد نشریه 302 قرار گیرد.



در روش ملی محدوده مطلوب منحنی مخلوط سنگدانه‌های بتن بر اساس:

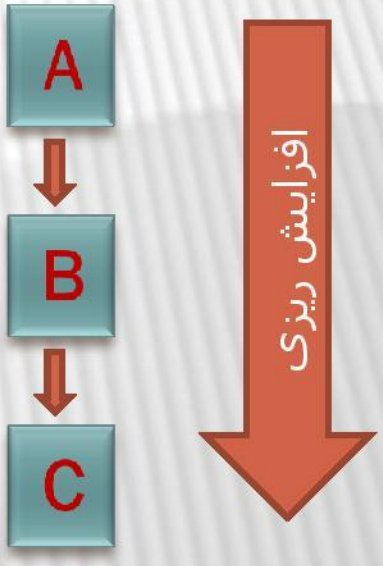
رابطه فولر ـ تامسون

$$P = \left(\frac{d}{D}\right)^{n} \times 100\%$$

گام دوم: انتخاب محدوده منحنی مخلوط سنگدانه بتن

منحنی‌های مطلوب مخلوط سنگدانه بتن

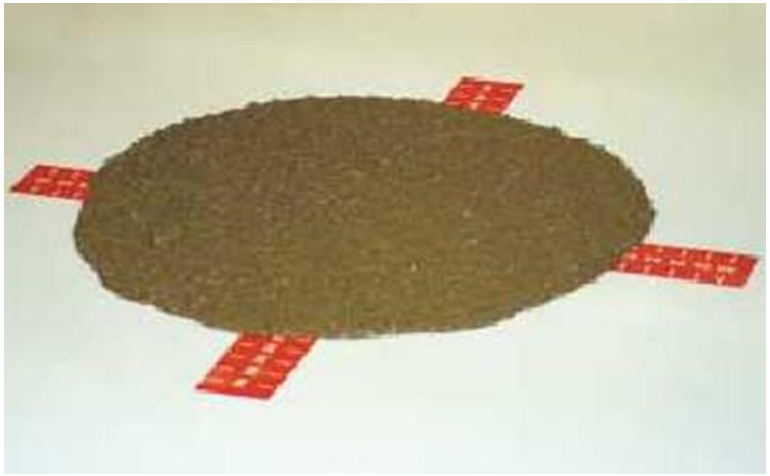
الک (م.م)	حداکثر اندازه															
	۳۷/۵ میلی متر			۲۵ میلی متر			۱۹ میلی متر			۱۲/۵ میلی متر			۹/۵ میلی متر			
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
۳۷/۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	
۲۵	۷۵	۸۵	۹۱	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	
۱۹	۶۲	۷۶	۸۶	۸۳	۸۹	۹۴	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	
۱۲/۵	۴۷	۶۴	۷۷	۶۲	۷۵	۸۵	۷۵	۸۴	۹۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	
۹/۵	۳۹	۵۷	۷۲	۵۱	۶۷	۷۹	۶۲	۷۵	۸۴	۸۳	۸۹	۹۳	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	
۶/۳۵	۲۹	۴۸	۶۵	۳۹	۵۶	۷۱	۴۷	۶۳	۷۶	۶۲	۷۵	۸۴	۷۵	۸۴	۹۰	
۴/۷۵	۲۴	۴۲	۶۰	۳۲	۴۹	۶۵	۳۸	۵۵	۷۰	۵۱	۶۶	۷۷	۶۱	۷۴	۸۳	
۲/۳۸	۱۴	۳۰	۴۸	۱۹	۳۶	۵۲	۲۳	۴۰	۵۶	۳۱	۴۷	۶۲	۳۷	۵۳	۶۶	
۱/۱۹	۹	۲۱	۳۷	۱۱	۲۵	۴۱	۱۴	۲۸	۴۳	۱۸	۳۳	۴۸	۲۲	۳۷	۵۱	
۰/۶	۵	۱۴	۲۷	۶	۱۶	۲۹	۸	۱۸	۳۱	۱۰	۲۱	۳۵	۱۲	۲۴	۳۷	
۰/۳	۲	۸	۱۷	۳	۹	۱۹	۴	۱۱	۲۰	۵	۱۳	۲۲	۶	۱۴	۲۴	
۰/۱۵	۱	۴	۸	۱	۴	۹	۲	۵	۱۰	۲	۵	۱۱	۲	۶	۱۲	



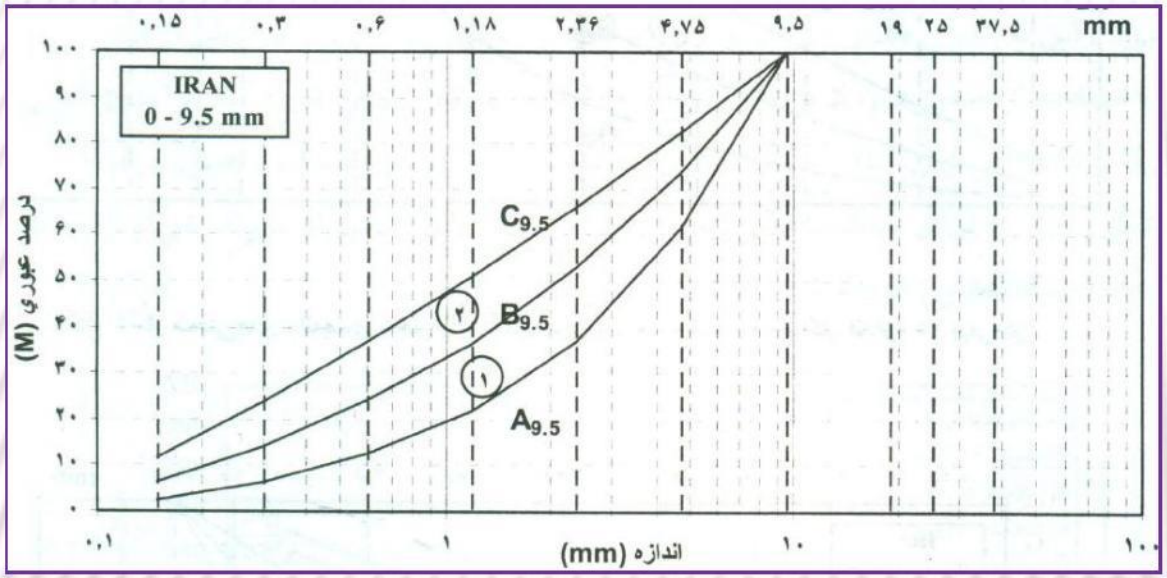
ممدوده بین A و B) معمولا برای بتن های معمولی ساختمان‌ها.

نزدیکتر به B) بتن های پمپی ترمی و نمای مطلوب.

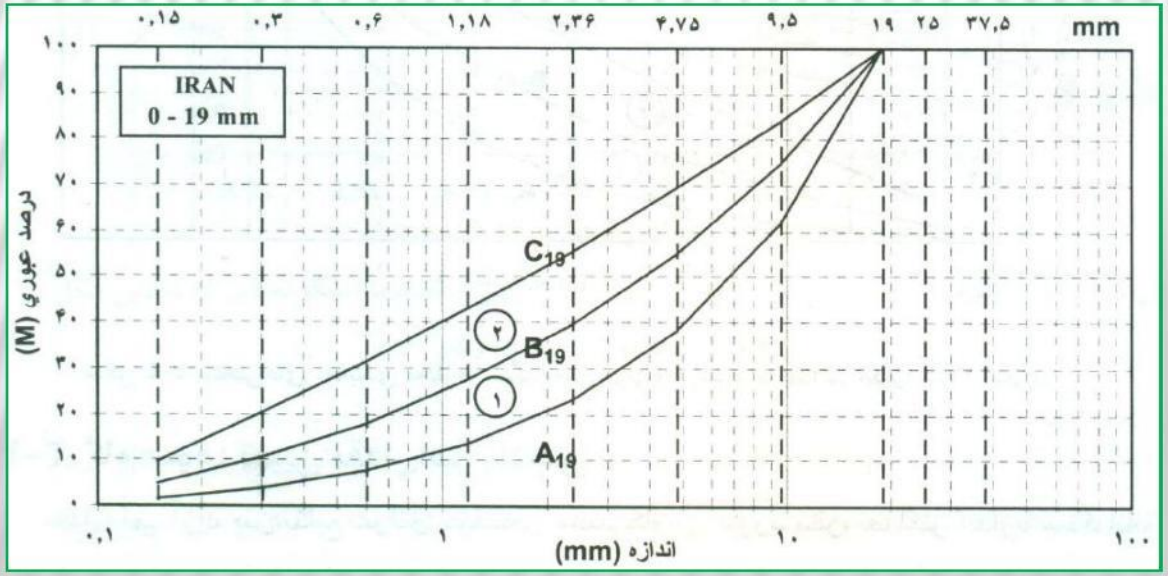
ممدوده بین B و C) بتن های خودتراکم و بتن ترمی با کارآیی بسیار زیاد، بافت بسیار ریز و نمای بسیار مطلوب.



گام دوم: انتخاب محدوده منحنی مخلوط سنگدانه بتن

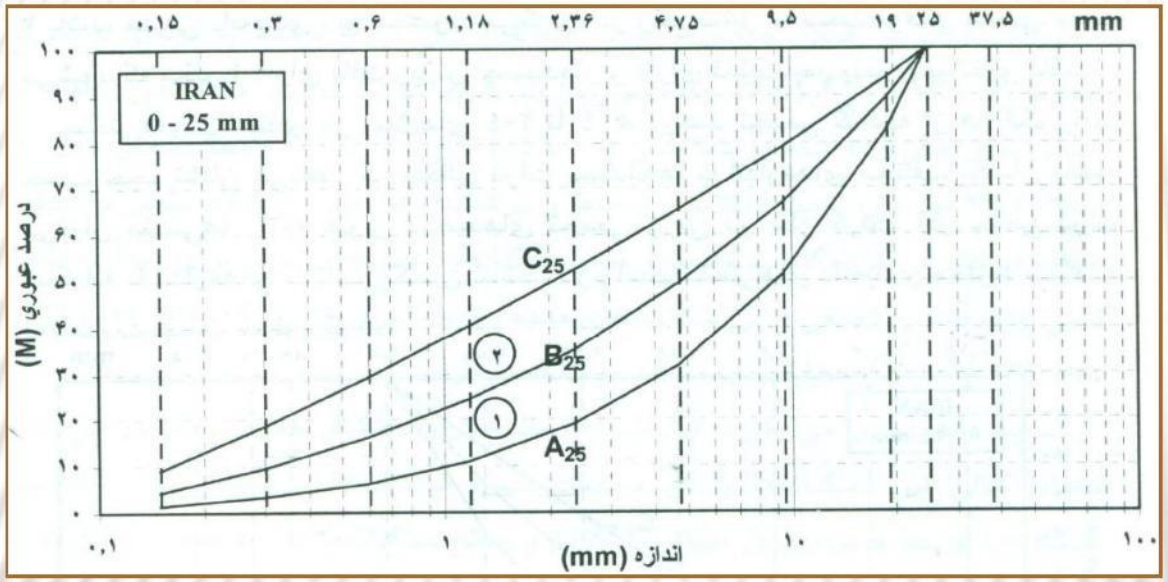


منحنی دانه بندی مخلوط سنگدانه ریز و درشت با حداکثر اندازه 9.5 میلیمتر

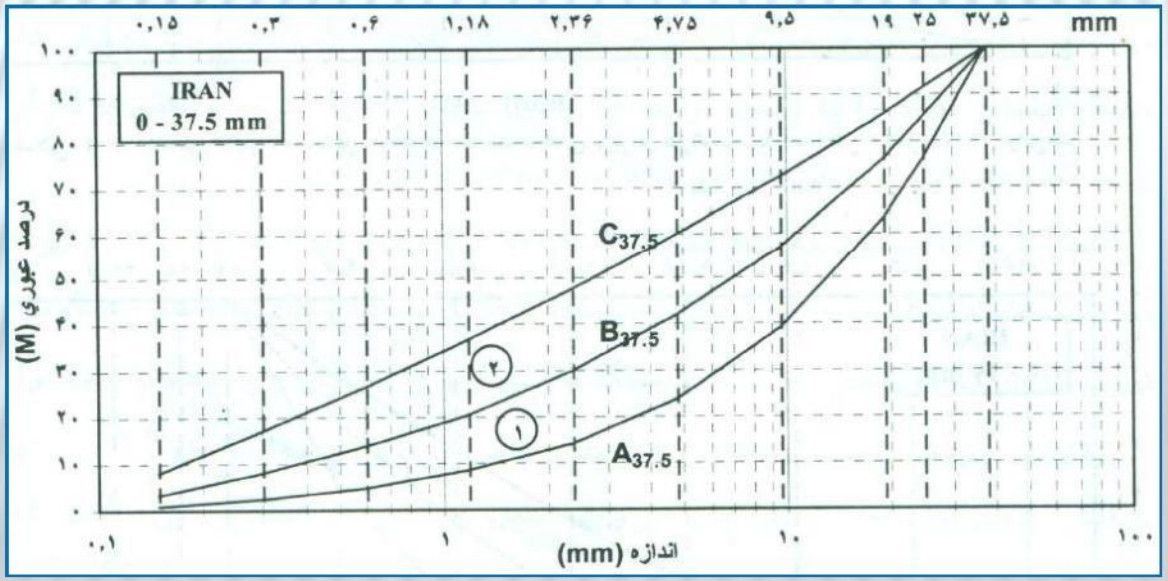


منحنی دانه بندی مخلوط سنگدانه ریز و درشت با حداکثر اندازه 19 میلیمتر

گام دوم: انتخاب محدوده منحنی مخلوط سنگدانه بتن



منحنی دانه بندی مخلوط سنگدانه ریز و درشت با حداکثر اندازه 25 میلیمتر



منحنی دانه بندی مخلوط سنگدانه ریز و درشت با حداکثر اندازه 37.5میلیمتر

گام دوم: انتخاب محدوده منحنی مخلوط سنگدانه بتن

- تعیین سهم سنگدانه‌ها برای دستیابی به منحنی دانه‌بندی مورد نظر در محدوده مطلوب.
- تعیین مدول نرمی (ریزی) مخلوط سنگدانه بتن.
- تعیین چگالی متوسط مخلوط سنگدانه‌های اشباع با سطح خشک بتن.
- تعیین درصد شکستگی (تیزگوشگی) متوسط و معادل درصد شکستگی سنگدانه‌های درشت بتن برای تعیین مقدار آب بتن.

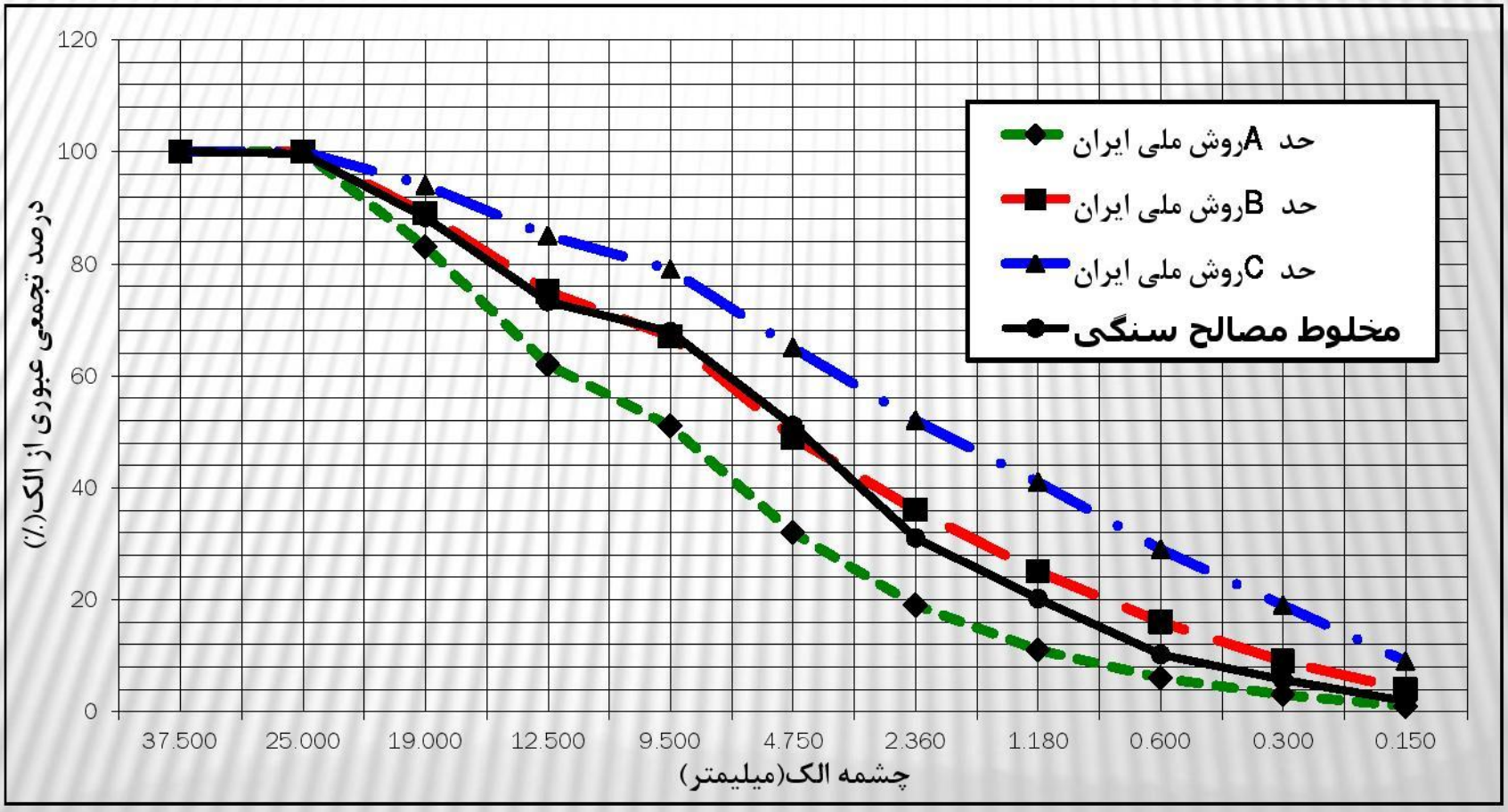
گام دوم: انتخاب محدوده منحنی مخلوط سنگدانه بتن

تعیین سهم سنگدانه‌ها برای دستیابی به منحنی دانه‌بندی مورد نظر در محدوده مطلوب:

در بعضی موارد چندین نوع سنگدانه با دانه‌بندی‌های مختلف موجود هستند که باید ترکیب شده و دانه‌بندی مطلوب حاصل گردد. از روش محاسباتی به صورت آزمون و خطا برای محاسبه نسبت‌های سنگدانه‌های موجود استفاده می‌شود.

برای هر یک از انواع سنگدانه، سهمی به صورت اعشاری منظور نمود (مانند X، Y، Zو...). که در مقادیر درصد گذشته تجمعی از هر الک برای همان سنگدانه ضرب نموده و نتایج حاصله برای هر الک را با هم جمع کنیم.

گام دوم: انتخاب محدوده منحنی مخلوط سنگدانه بتن



گام دوم: انتخاب محدوده منحنی مخلوط سنگدانه بتن

تعیین مدول نرمی (ریزی) مخلوط سنگدانه بتن:

تعریف مدول نرمی (ریزی) مخلوط سنگدانه بتن در روش ملی، مجموع درصدهای تجمعی مانده بر روی الک‌های ۳۷/۵، ۱۹، ۹/۵، ۴/۷۵، ۲/۳۸، ۱/۱۹، ۰/۶، ۰/۳، و ۰/۱۵ میلی متر تقسیم‌بر ۱۰۰ می‌باشد.

جدول مدول نرمی برای منحنی‌های مطلوب مخلوط سنگدانه بتن با حداکثر اندازه‌های مختلف

حداکثر اندازه منحنی	۳۷/۵ میلی متر			۲۵ میلی متر			۱۹ میلی متر			۱۲/۵ میلی متر			۹/۵ میلی متر		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
مدول نرمی مخلوط سنگدانه	۶/۴۵	۵/۴۸	۴/۴۵	۵/۹۴	۵/۰۵	۴/۱۲	۵/۴۹	۴/۶۸	۳/۸۶	۵/۰۰	۴/۲۶	۳/۵۲	۴/۶۰	۳/۹۲	۳/۲۷

مدول نرمی کمتر ← سنگدانه ریزتر

گام دوم: انتخاب محدوده منحنی مخلوط سنگدانه بتن

تعیین چگالی متوسط مخلوط سنگدانه‌های اشباع با سطح خشک بتن:

برای محاسبه مقدار کل سنگدانه در طرح مخلوط با استفاده از رابطه حجم مطلق، لازم است وزن مخصوص (چگالی) متوسط سنگدانه‌های مصرفی بدست آید. برای محاسبه چگالی متوسط رابطه زیر بکار گرفته می‌شود.

$$\rho_{A_{SSD}} = \frac{1}{\frac{p_1}{\rho_{A_1}} + \frac{p_2}{\rho_{A_2}} + \ldots + \frac{p_n}{\rho_{A_n}}}$$

که در آن:

$\rho_{A_{SSD}}$: چگالی متوسط ذرات سنگدانه‌ها به صورت اشباع با سطح خشک

p_1 تا p_n: سهم وزنی هر یک از سنگدانه‌ها در کل مخلوط سنگدانه بتن به صورت اعشاری و

ρ_{A_1} تا ρ_{A_n}: چگالی اشباع با سطح خشک هر یک از سنگدانه‌ها می‌باشد.

گام دوم: انتخاب محدوده منحنی مخلوط سنگدانه بتن

تعیین درصد شکستگی (تیزگوشگی) متوسط و معادل درصد شکستگی سنگدانه‌های درشت بتن برای تعیین مقدار آب بتن:

$$a_{nG} = \frac{P_1.a_{n1} + P_2.a_{n2} + P_3 a_{n3}}{P_1 + P_2 + P_3}$$

درصد شکستگی متوسط

که در آن:

a_{nG} = درصد شکستگی متوسط شن‌ها

a_{ni} = درصد شکستگی هر یک از شن‌ها

P_i = سهم هر یک از شن‌ها

گام دوم: انتخاب محدوده منحنی مخلوط سنگدانه بتن

تعیین درصد شکستگی (تیزگوشگی) متوسط و معادل درصد شکستگی سنگدانه‌های درشت بتن برای تعیین مقدار آب بتن:

معادل درصد شکستگی

$$a_{ne} = \frac{P_G.a_{nG} + 2P_s.a_{ns}}{P_G + 2P_s}$$

که در آن:

a_{ne} = معادل درصد شکستگی متوسط مخلوط سنگدانه‌های بتن

a_{nG} = درصد شکستگی متوسط شن‌ها

a_{ns} = درصد شکستگی تقریبی ماسه

P_G = مجموع سهم شن‌ها

P_S = سهم ماسه

معادل درصد شکستگی متوسط مخلوط سنگدانه‌های بتن برای تعیین مقدار آب آزاد بتن بکار می‌رود.

درصد شکستگی تقریبی ماسه صرفاً به صورت نظری باید حدس زده شود.

مراحل گام به گام روش ملی طرح مخلوط بتن

√ گام اول: تعیین نسبت آب به سیمان

گام دوم: انتخاب محدوده منحنی مخلوط سنگدانه بتن √

√ گام سوم: تعیین مقدار آب آزاد بتن

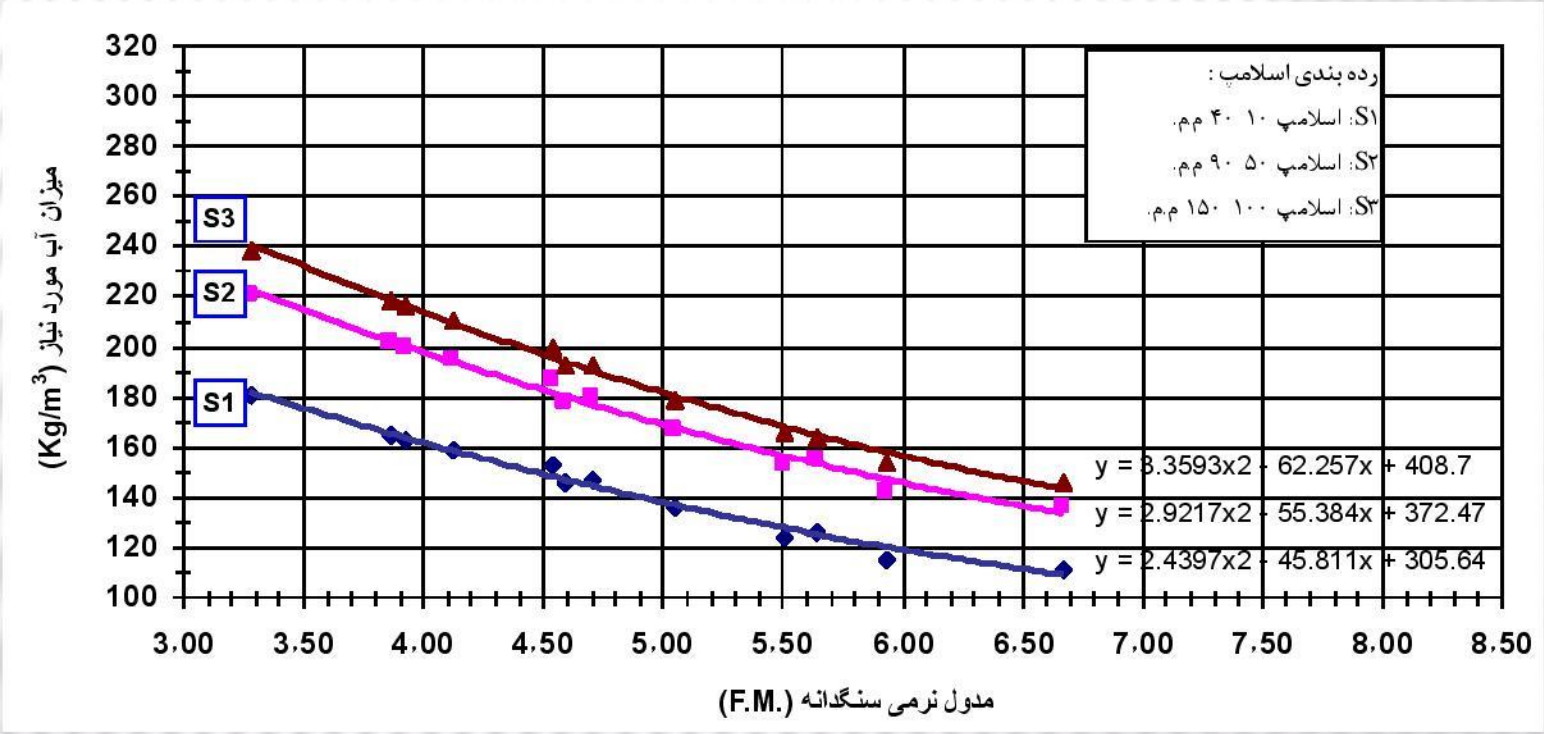
گام چهارم: تعیین مقدارسیمان در بتن

گام پنجم: تعیین مقدار سنگدانه بتن

گام سوم: تعیین مقدار آب آزاد بتن

رابطه مقدار آب آزاد بتن و مدول نرمی سنگدانه هنگامی که به آب کم نیاز است

(سنگدانه های گرد گوشه با بافت سطحی کاملا صیقلی)

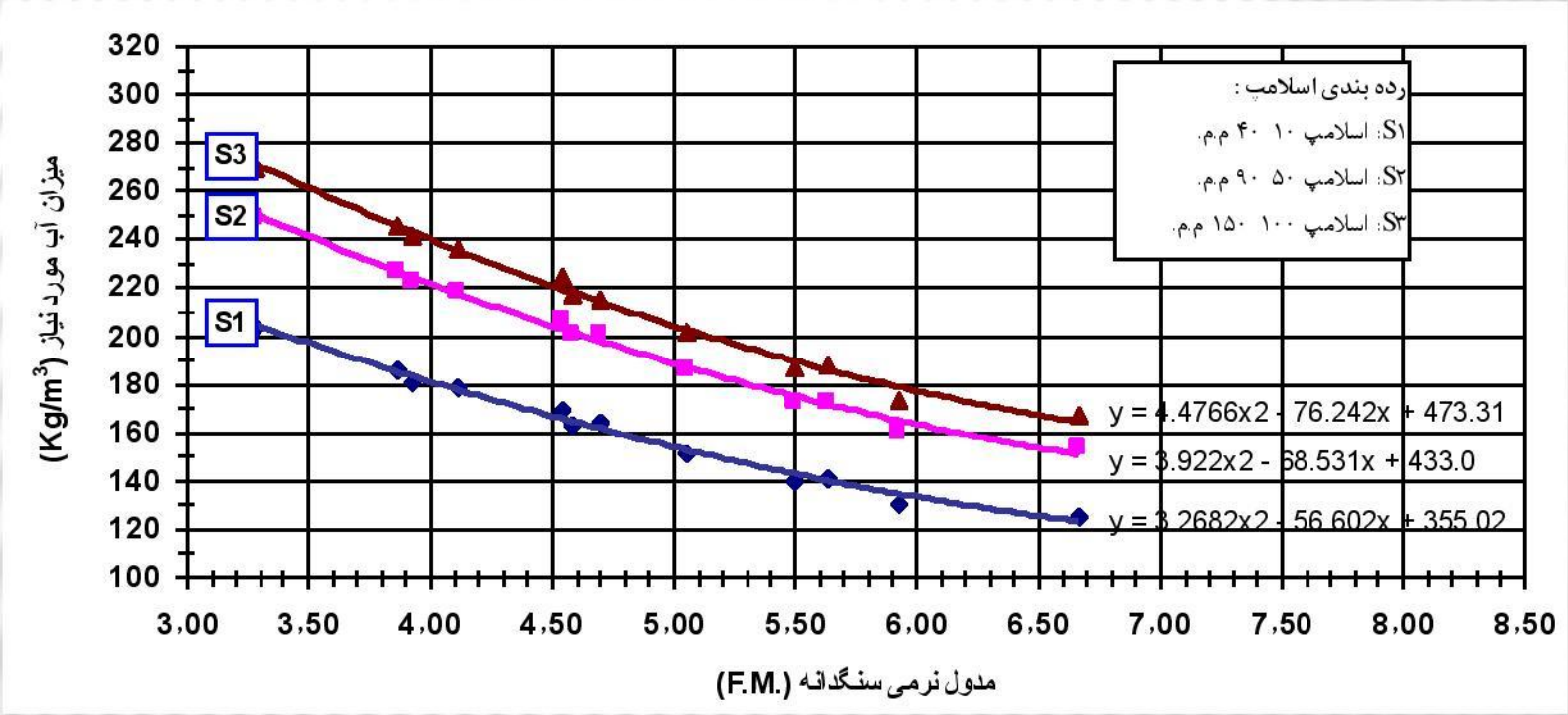


مقدار آب آزاد در بتن، تابع عوامل متعددی مانند کارایی موردنظر، حداکثر اندازه سنگدانه، دانه بندی و نوع سنگدانه های مصرفی از نظر بافت و شکل است.

گام سوم: تعیین مقدار آب آزاد بتن

رابطه مقدار آب آزاد بتن و مدول نرمی سنگدانه هنگامی که به آب زیاد نیاز است

(سنگدانه های شکسته و با بافت سطحی زبر)



در صورتی که کارآیی در رده *S4* باشد می‌توان حداکثر ۵ درصد به آب آزاد متناظر با کارآیی رده *S3* اضافه نمود.

گام سوم: تعیین مقدار آب آزاد بتن

اصلاح مقدار آب آزاد بتن

۱- اصلاح مقدار آب آزاد بتن با توجه به معادل درصد شکستگی متوسط سنگدانه‌های بتن با روش درونیابی.

۲- منحنی‌های ارائه شده برای عیار سیمان kg/m^3 ۳۵۰ تهیه شده است. در صورتی که عیار سیمان بتن به میزان kg/m^3 ۱۰ در هر جهت تغییر نماید،مقدار آب آزاد مورد نیاز به میزان ۱/۵ تا ۲ کیلوگرم باید در همان جهت تغییر کند (اعمال این تغییرات مستلزم محاسبه عیار سیمان بتن است که در مرحله بعد انجام می‌شود و اصلاح مورد نظر فقط برای یک نوبت انجام می گردد و تکرار نمی شود).

۳- به ازاء هر ۱ کیلوگرم دوده سیلیسی در بتن می‌توان ۱-۰/۷۵ کیلوگرم به آب مورد نیاز بتن افزود.

۴- برای پوزولان های طبیعی وسرباره عملاً مقدار آب را تغییر نمی‌دهیم.

گام سوم: تعیین مقدار آب آزاد بتن

اصلاح مقدار آب آزاد بتن

۵- به ازای هر یک درصد حباب هوای عمدی موجود در بتن عملاً در حدود ۲/۵ درصد از آب مورد نیاز کاسته می‌شود.

۶- با مصرف روان‌کننده‌های معمولی می‌توان مقدار آب آزاد بتن را بین ۵ تا ۱۲ درصد (بسته به نوع ماده و میزان مصرف آن ها) کاهش داد. اگر از فوق‌روان‌کننده‌ها استفاده شود می‌توان با توجه به نوع ماده و میزان مصرف آن بین ۱۲ تا ۳۵ درصد از آب آزاد بتن کاست، بدون این که روانی آن ها دچار کاهش گردد.

۷- مقدار آب موردنیاز برای رساندن رطوبت سنگدانه ها از حالت خشک یا مرطوب به حالت اشباع با سطح خشک باید نسبت به آب آزاد اصلاح شود.

مراحل گام به گام روش ملی طرح مخلوط بتن

√ گام اول: تعیین نسبت آب به سیمان

گام دوم: انتخاب محدوده منحنی مخلوط سنگدانه بتن √

√ گام سوم: تعیین مقدار آب آزاد بتن

√ گام چهارم: تعیین مقدارسیمان در بتن

گام پنجم: تعیین مقدار سنگدانه بتن

گام چهارم: تعیین مقدارسیمان در بتن

نسبت آب به سیمان در گام اول بدست آمد آنگاه داریم:

$$C = \frac{W_f}{\left(\frac{W_f}{C}\right)}$$

که در آن $\frac{W_f}{C}$ نسبت آب به سیمان ، W_f آب آزاد و C مقدار سیمان است.

در صورتی که مقدار مواد سیمانی کمتر یا بیشتر از $350 kg/m^3$ باشد، لازم است در مقدار آب آزاد اصلاحاتی را بعمل آورد و مجدداً مقدار مواد سیمانی را تعیین کرد. این تصحیح فقط یکبار انجام می شود و نیازی به تکرار این عمل نیست.

درصورتیکه از مواد افزودنی معدنی جایگزین سیمان (دوده سیلیسی یا خاکستر بادی) استفاده می شود، باید مقدار آب موردنیاز و مواد سیمانی با فاکتور k محاسبه گردد.

مراحل گام به گام روش ملی طرح مخلوط بتن

- √ گام اول: تعیین نسبت آب به سیمان
- گام دوم: انتخاب محدوده منحنی مخلوط سنگدانه بتن √
- √ گام سوم: تعیین مقدار آب آزاد بتن
- √ گام چهارم: تعیین مقدارسیمان در بتن
- √ گام پنجم: تعیین مقدار سنگدانه بتن

گام پنجم: تعیین مقدار سنگدانه بتن

با استفاده از رابطه حجم مطلق:

$$A_{SSD} = \rho_{A_{SSD}} \left(1000 - \frac{c}{\rho_c} - \frac{w_f}{\rho_w} - \frac{D}{\rho_D} - V_a \right)$$

A_{SSD} = جرم کل سنگدانه‌های اشباع با سطح خشک بر حسب kg/m^3

c = جرم سیمان بر حسب kg/m^3

w_f = جرم آب آزاد بر حسب kg/m^3

D = جرم مواد جایگزین سیمان بر حسب kg/m^3

V_a = حجم هوای موجود دربتن (عمدی و ناخواسته) بر حسب dm^3

ρ_{ASSD} = وزن مخصوص متوسط سنگدانه‌های اشباع با سطح خشک بر حسب g/cm^3

ρ_c = جرم مخصوص سیمان بر حسب g/cm^3

ρ_w = جرم مخصوص آب بر حسب g/cm^3 که معادل ۱ منظور می‌شود

ρ_D = جرم مخصوص افزودنی معدنی بر حسب g/cm^3

گام پنجم: تعیین مقدار سنگدانه بتن

برای استفاده از رابطه حجم مطلق باید چگالی ذرات سیمان، چگالی مواد افزودنی پودری یا شیمیایی و چگالی متوسط سنگدانه‌های اشباع با سطح خشک را داشت.

نوع سیمان	محدوده چگالی فرضی	نوع ماده پودری معدنی	محدوده چگالی فرضی
پرتلند نوع ۱ (انواع رده‌ها)	۳/۱۰–۳/۰۵	پودر پوزولان طبیعی (توف)	۲/۶۰–۲/۵۰
پرتلند نوع ۲	۳/۱۵–۳/۱۰	پودر سرباره کوره آهنگدازی	۲/۸۰–۲/۷۰
پرتلند نوع ۳	۳/۱۰–۳/۰۵	پودر سرباره کوره فولاد سازی	۳/۲۰–۲/۸
پرتلند نوع ۴	۳/۲۰–۳/۱۵	پودر سرباره کوره مسگدازی	۴/۰۰–۳/۸۰
پرتلند نوع ۵	۳/۲۵–۳/۲۰	دوده سیلیسی	۲/۳۰–۲/۲۰
پرتلند سفید	۳/۰۵–۳/۰۰	خاکستر بادی	۲/۴۰–۲/۲۰
پرتلند پوزولانی	۳/۱۰–۳/۰۵	پودر سنگهای آهکی	۲/۷۰–۲/۵۰
پرتلند پوزولانی ویژه	۳/۰۵–۳/۰۰	پودر سنگهای سیلیسی (کوارتزی)	۲/۶۵–۲/۵۰
پرتلند سرباره‌ای	۳/۰۵–۳/۰۰	متاکائولن	۲/۴–۲/۲
پرتلند سرباره‌ای ضد سولفات	۳/۰۰–۲/۹۵	خاکستر پوسته برنج	۲/۴–۲/۲
پرتلند آهکی	۳/۱۰–۳/۰۵		

گام پنجم: تعیین مقدار سنگدانه بتن

پس از تعیین مقدار کل سنگدانه اشباع با سطح خشک بتن، با توجه به سهم هر یک از سنگدانه‌ها (x، y، z و...) در مخلوط سنگدانه، مقدار هر سنگدانه به صورت اشباع با سطح خشک بدست می‌آید (A_{SSDi}).

در جدول زیر، مقدار درصد هوای ناخواسته موجود در بتن براساس حداکثر اندازه سنگدانه، به عنوان راهنما ارائه شده است.

حداکثر اندازه سنگدانه (mm)	۹/۵	۱۲/۵	۱۹	۲۵	۳۸
درصد هوای ناخواسته	۳-۱/۵	۲/۵-۱/۲۵	۲-۱	۱/۵-۰/۷۵	۱-۰/۵

۵- ساخت مخلوط آزمون و اصلاح طرح مخلوط اولیه

۵– ساخت مخلوط آزمون و اصلاح طرح مخلوط اولیه

- **عدم دستیابی به روانی مورد نظر:** اگر روانی مورد نظر حاصل نگردد ساده‌ترین راه حل تغییر مقدار آب آزاد طرح اولیه می‌باشد.

$$\text{تغییر آب آزاد بتن} = N\,(S_\alpha - S_o)$$

که در آن S_α مقدار روانی فرض شده و S_o روانی بدست آمده بر حسب mm می‌باشد و N بین ۰/۱ تا ۰/۳ خواهد بود.

- **آب اندافتگی بتن:** برای کاهش آب انداختن اقداماتی مانند کاهش کارآیی، کاهش حداکثر اندازه سنگدانه، افزایش ریزی در بافت دانه‌بندی (کاهش مدول نرمی مخلوط سنگدانه)، افزایش سیمان یا مواد چسباننده، بکارگیری سنگدانه شکسته، کاهش نسبت آب به سیمان و افزایش مواد پودری می‌تواند مؤثر واقع شود.

۵– ساخت مخلوط آزمون و اصلاح طرح مخلوط اولیه

- **جداشدگی در بتن:** اگر جداشدگی در بتن مشاهده شود می‌توان با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه، افزایش ریزی بافت دانه‌بندی، افزایش سیمان یا مواد چسباننده، افزایش مواد پودری، کاهش کارآیی و یا کاهش نسبت آب به سیمان و یا ترکیبی از موارد فوق آن را مهار نمود.

- **خشن بودن بتن:** اگر بافت دانه‌بندی درشت به نظر آید می‌توان با تغییر در منحنی دانه‌بندی، سهم سنگدانه ریز (ماسه) را بیشتر نمود و یا از ماسه‌های ریزتری استفاده کرد.

- **اختلاف مقاومت فشاری مورد نظر و بدست آمده:** تغییر نسبت آب به سیمان

٦- حل یک مثال

صورت مسئله

مثال: طرح مخلوط اولیه بتنی برای ساخت تیر، ستون، دال و دیوار یک ساختمان بتنی مسلح مورد نیاز است. مقادیر سیمان، آب آزاد، آب کل، سنگدانه درشت و ریز خشک و اشباع با سطح خشک و وزن یک متر مکعب بتن متراکم تازه را با توجه به اطلاعات زیر بدست آورید. ضمناً بتن بوسیله تراک میکسر حمل و به کمک پمپ و لوله به درون قطعات منتقل و ریخته می شود. بتن در یک کارخانه بتن آماده ساخته می شود که از نظر رتبه بندی در رده "ب" قرار دارد.

جدول ۱- اطلاعات و داده‌های مربوط به بتن آماده

مقاومت مشخصه مکعبی ۲۸ روزه f_c	MPa	۳۰
انحراف معیار بتن S	MPa	-
اسلامپ متوسط پس از ۵ دقیقه و ۶۰ دقیقه	mm	۱۴۰ و ۱۱۰
حداکثر مجاز نسبت آب به سیمان	W/C	-
حداقل سیمان مجاز	Kg/m^3	۳۲۵
حداکثر سیمان مجاز	Kg/m^3	۴۲۵
نمای لازم		متوسط

صورت مسئله

جدول ۲- اطلاعات و داده‌های مربوط به سیمان

نوع سیمان	چگالی ذرات سیمان	مقاومت فشاری ملات استاندارد
پرتلند۲	۳/۱۵	-

جدول ۳- اطلاعات و داده های مربوط به سنگدانه‌ها

	شن	ماسه
چگالی ذرات *SSD*	۲/۶۰۰	۲/۵۰۰
درصد ظرفیت جذب آب	۲/۶	۳/۲
شکل	نیمه شکسته	گردگوشه
درصد شکستگی	۵۰	-
درصد پولکی	۱۷	-
درصد کشیدگی	۱۹	-

جدول ۴- دانه‌بندی سنگدانه

الک	۲۵	۱۹	۱۲/۵	۹/۵	۴/۷۵	۲/۳۸	۱/۱۹	۰/۶	۰/۳	۰/۱۵
شن	۱۰۰	۹۰	۵۰	۱۵	۲	۰				
ماسه	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۰	۶۵	۴۰	۲۵	۱۵	۷

راه حل:

گام اول: تعیین مقاومت فشاری متوسط لازم

مقاومت مشخصه به صورت مکعبی داده شده است. چون این مقدار بیش از ۲۵*MPa* می‌باشد کافی است طبق تفسیر آبا ۵*MPa* از آن کم نماییم تا مقاومت مشخصه استوانه‌ای حاصل گردد.

$$f_{cm} = ۲۵ + ۱/۳۴ \times ۴/۵ + ۱/۵ = ۳۲/۵ \ Mpa$$

$$f_{cm} = ۲۵ + ۲/۳۳ \times ۴/۵ - ۴ = ۳۱/۵ \ Mpa$$

مقاومت هدف بزرگترین مقدار حاصله از روابط

انحراف معیار بر اساس رتبه‌بندی کارگاه و مقاومت مشخصه بتن

رتبه‌بندی کارگاه	مقاومت مشخصه بتن (N/mm^2)				
	۱۶	۲۰	۲۵	۳۰ و ۳۵	۴۰ و بیشتر
الف	۲/۵	۳	۳/۵	۴	۴/۵
ب	۳/۵	۴	۴/۵	۵	۵/۵
ج	۴/۵	۵	۵/۵	۶	۶/۵

راه حل:

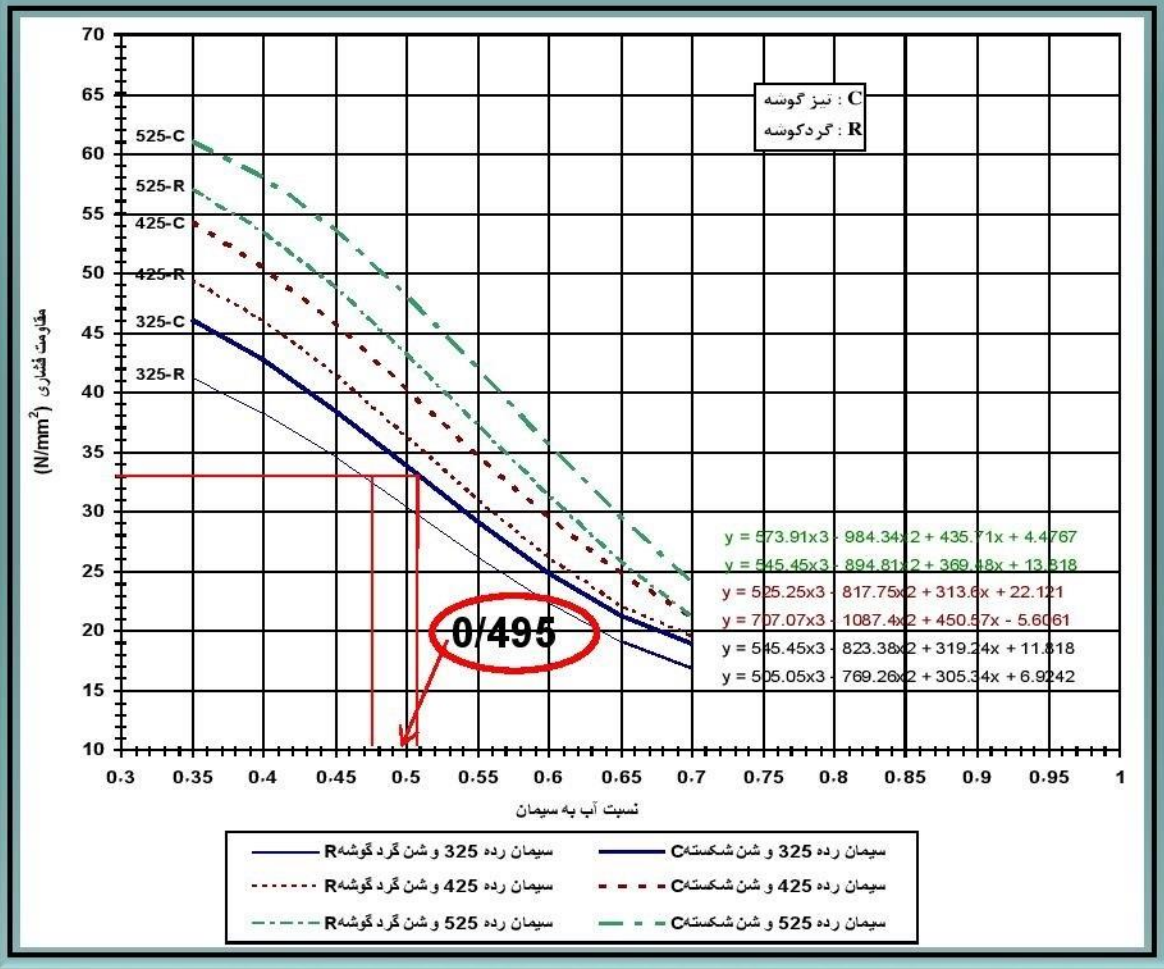
گام ۲: تعیین نسبت آب به سیمان

عدم مصرف روان کننده و شن موجود دارای ۵۰ درصد شکستگی است:

میانگین‌گیری

$0.495=(0.48+0.51)/2$

متوسط نتایج دو نمودار



رابطه نسبت آب به سیمان و مقاومت فشاری بدون مصرف روان کننده

راه حل:

گام ۲: تعیین نسبت آب به سیمان

با توجه به این که مقاومت فشاری ملات ماسه سیمان استاندارد ۲۸ روزه سیمان پرتلند نوع ۲ داده نشده است:

$$\frac{W}{C} = ۰/۴۹۵ \times \frac{۳۱۵}{۳۲۵} = ۰/۴۸$$

ضریب اصلاحی مقاومت ملات استاندارد

نوع سیمان پرتلند	حداقل مقاومت فشاری ملات ۲۸ روزه استاندارد	نوع سیمان آمیخته	حداقل مقاومت فشاری ملات ۲۸ روزه استاندارد
پرتلند ۳۲۵-۱	۳۲۵	پرتلند پوزولانی	۳۰۰
پرتلند ۴۲۵-۱	۴۲۵	پرتلند پوزولانی ویژه	۲۷۵
پرتلند ۵۲۵-۱	۵۲۵	پرتلند سرباره‌ای	۳۲۰
پرتلند نوع ۲	۳۱۵	پرتلند سرباره‌ای ضد سولفات	۳۰۰
پرتلند نوع ۵	۲۷۰	پرتلند آهکی	۳۳۰
پرتلند سفید	۳۱۵		

جدول ۴– دانه‌بندی سنگدانه

الک	۲۵	۱۹	۱۲/۵	۹/۵	۴/۷۵	۲/۳۸	۱/۱۹	۰/۶	۰/۳	۰/۱۵
شن	۱۰۰	۹۰	۵۰	۱۵	۲	۰				
ماسه	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۰	۶۵	۴۰	۲۵	۱۵	۷

راه حل:

گام ۳: تعیین سهم سنگدانه‌ها با توجه به دانه‌بندی مطلوب

مشخص است که حداکثر اندازه اسمی مخلوط سنگدانه ۱۹ میلی‌متر می‌باشد زیرا بیش از ۹۰ درصد آن از الک ۱۹ میلی‌متر می گذرد. بنابر این با توجه به پمپی بودن بتن سعی می‌شود منحنی دانه‌بندی بین A_{19} و B_{19} و نزدیکتر به B_{19} باشد.

الک (م.م)	حداکثر اندازه																	
	۳۷/۵ میلی متر			۲۵ میلی متر			۱۹ میلی متر			۱۲/۵ میلی متر			۹/۵ میلی متر					
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C			
۳۷/۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰			
۲۵	۷۵	۸۵	۹۱	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰			
۱۹	۶۲	۷۶	۸۶	۸۳	۸۹	۹۴	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰			
۱۲/۵	۴۷	۶۴	۷۷	۶۲	۷۵	۸۵	۷۵	۸۴	۹۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰			
۹/۵	۳۹	۵۷	۷۲	۵۱	۶۷	۷۹	۶۲	۷۵	۸۴	۸۳	۸۹	۹۳	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰			
۶/۳۵	۲۹	۴۸	۶۵	۳۹	۵۶	۷۱	۴۷	۶۳	۷۶	۶۲	۷۵	۸۴	۷۵	۸۴	۹۰			
۴/۷۵	۲۴	۴۲	۶۰	۳۲	۴۹	۶۵	۳۸	۵۵	۷۰	۵۱	۶۶	۷۷	۶۱	۷۴	۸۳			
۲/۳۸	۱۴	۳۰	۴۸	۱۹	۳۶	۵۲	۲۳	۴۰	۵۶	۳۱	۴۷	۶۲	۳۷	۵۳	۶۶			
۱/۱۹	۹	۲۱	۳۷	۱۱	۲۵	۴۱	۱۴	۲۸	۴۳	۱۸	۳۳	۴۸	۲۲	۳۷	۵۱			
۰/۶	۵	۱۴	۲۷	۶	۱۶	۲۹	۸	۱۸	۳۱	۱۰	۲۱	۳۵	۱۲	۲۴	۳۷			
۰/۳	۲	۸	۱۷	۳	۹	۱۹	۴	۱۱	۲۰	۵	۱۳	۲۲	۶	۱۴	۲۴			
۰/۱۵	۱	۴	۸	۱	۴	۹	۲	۵	۱۰	۲	۵	۱۱	۲	۶	۱۲			

توجه : اگر مثلا 5% درصد رد شده از الک 19 بود حداکثر اندازه سنگدانه 25 م م می گردید

منحنی‌های مطلوب مخلوط سنگدانه بتن

راه حل:

جدول ۴- دانه‌بندی سنگدانه

الک	۲۵	۱۹	۱۲/۵	۹/۵	۴/۷۵	۲/۳۸	۱/۱۹	۰/۶	۰/۳	۰/۱۵
شن	۱۰۰	۹۰	۵۰	۱۵	۲	۰				
ماسه	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۰	۶۵	۴۰	۲۵	۱۵	۷

گام ۳: تعیین سهم سنگدانه ها با توجه به دانه بندی مطلوب

روش آزمون و خطا

الک	۲۵	۱۹	۱۲/۵	۹/۵	۴/۷۵	۲/۳۸	۱/۱۹	۰/۶	۰/۳	۰/۱۵
۵۰ درصد شن	۵۰	۴۵	۲۵	۷/۵	۱	۰				
۵۰ درصد ماسه	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۴۵	۳۲/۵	۲۰	۱۲/۵	۷/۵	۳/۵
مخلوط سنگدانه ۵۰-۵۰	۱۰۰	۹۵	۷۵	۵۷/۵	۴۵	۳۲/۵	۲۰	۱۲/۵	۷/۵	۳/۵
منحنی B_{19}	۱۰۰	۱۰۰	۸۴	۷۵	۵۵	۴۰	۲۸	۱۸	۱۱	۵
منحنی A_{19}	۱۰۰	۱۰۰	۷۵	۶۲	۳۸	۲۳	۱۴	۸	۴	۲
۴۰ درصد شن	۴۰	۳۶	۲۰	۶	۰/۸	۰				
۶۰ درصد ماسه	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۵۴	۳۹	۲۴	۱۵	۹	۴
مخلوط سنگدانه ۴۰-۶۰	۱۰۰	۹۶	۸۰	۶۶	۵۵	۳۹	۲۴	۱۵	۹	۴
۴۵ درصد شن	۴۵	۴۰/۵	۲۲/۵	۶/۸	۰/۹	۰				
۵۵ درصد ماسه	۵۵	۵۵	۵۵	۵۵	۴۹/۵	۳۵/۸	۲۲	۱۳/۸	۸/۳	۳/۹
مخلوط سنگدانه ۴۵-۵۵	۱۰۰	۹۵/۵	۷۷/۵	۶۲	۵۰/۵	۳۶	۲۲	۱۴	۸/۵	۴

راه حل:

گام ۴: تعیین مدول نرمی مخلوط سنگدانه

جدول مدول نرمی برای منحنی‌های مطلوب مخلوط سنگدانه بتن با حداکثر اندازه‌های مختلف

حداکثر اندازه منحنی	۳۷/۵ میلی متر			۲۵ میلی متر			۱۹ میلی متر			۱۲/۵ میلی متر			۹/۵ میلی متر		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
مدول نرمی مخلوط سنگدانه	۶/۴۵	۵/۴۸	۴/۴۵	۵/۹۴	۵/۰۵	۴/۱۲	۵/۴۹	۴/۶۸	۳/۸۶	۵/۰۰	۴/۲۶	۳/۵۲	۴/۶۰	۳/۹۲	۳/۲۷

مدول نرمی کمتر ← سنگدانه ریزتر

مدول نرمی با توجه به درصد تجمعی مانده روی الک‌های مختلف (به جز ۱۲/۵ میلی متر) بدست می‌آید.

$$F.M. = \frac{۴ + ۳۴ + ۴۵ + ۶۱ + ۷۶ + ۸۵ + ۹۱ + ۹۶}{۱۰۰} = ۴/۹۲$$

۴۰ درصد شن	۴۰	۳۶	۲۰	۶	۰/۸	-				
۶۰ درصد ماسه	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۵۴	۳۹	۲۴	۱۵	۹	۴
مخلوط سنگدانه ۴۰-۶۰	۱۰۰	۹۶	۸۰	۶۶	۵۵	۳۹	۲۴	۱۵	۹	۴

مدول نرمی برای $A_{۱۹}$ برابر ۵/۴۹ و برای $B_{۱۹}$ برابر ۴/۶۸ می‌باشد که مطلوب به نظر می‌رسد.

گام ۵: تعیین چگالی متوسط اشباع با سطح خشک مخلوط سنگدانه

$$\rho_{A_{SSD}} = \frac{۱}{\frac{۰/۴۰}{۲/۶۰۰} + \frac{۰/۶۰}{۲/۵۰۰}} = ۲/۵۳۹ \approx ۲/۵۴$$

$$\rho_{A_{SSD}} = \frac{1}{\frac{p_1}{\rho_{A_1}} + \frac{p_2}{\rho_{A_2}} + \ldots + \frac{p_n}{\rho_{A_n}}}$$

که در آن:

$\rho_{A_{SSD}}$: چگالی متوسط ذرات سنگدانه‌ها به صورت اشباع با سطح خشک

p_1 تا p_n: سهم وزنی هر یک از سنگدانه‌ها در کل مخلوط سنگدانه بتن به صورت اعشاری و

ρ_{A_1} تا ρ_{A_n}: چگالی اشباع با سطح خشک هر یک از سنگدانه‌ها می‌باشد.

راه حل:

$$a_{nG} = \frac{P_1.a_{n1} + P_2.a_{n2} + P_3 a_{n3}}{P_1 + P_2 + P_3}$$

درصد شکستگی متوسط

که در آن:

a_{nG} = درصد شکستگی متوسط شن‌ها

a_{ni} = درصد شکستگی هر یک از شن‌ها

P_i = سهم هر یک از شن‌ها

گام ۶: تعیین مقدار آب آزاد بتن

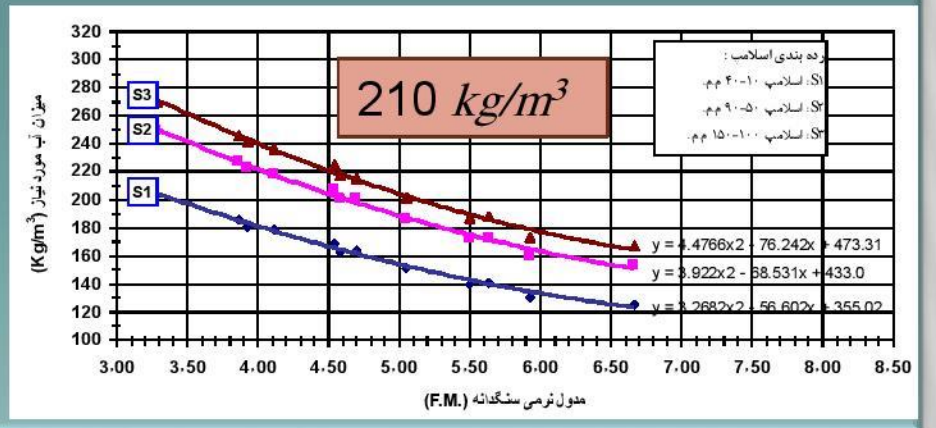
ابتدا با توجه به سهم شن و ماسه، مقدار متوسط درصد شکستگی معادل را بدست می‌آوریم.

$$a_{ng} = \frac{۰/۴ \times ۵۰ + ۲ \times ۰/۶ \times ۰}{۰/۴ + ۲ \times ۰/۶} = \frac{۲۰}{۱/۶} = ۱۲/۵$$

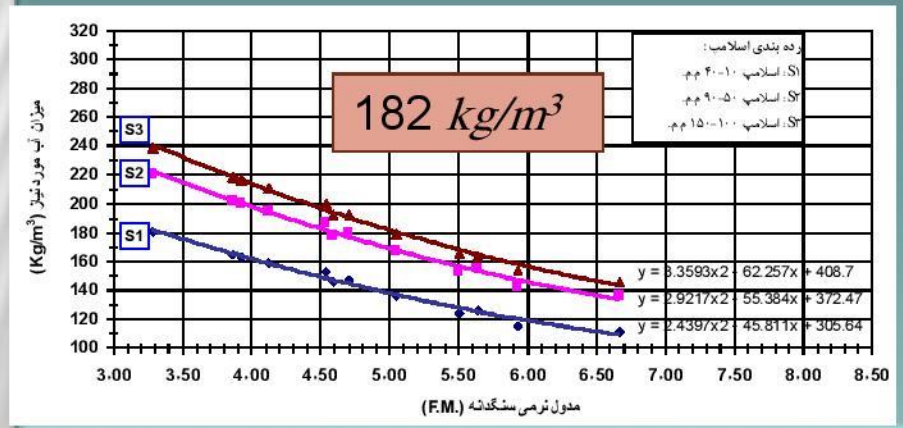
	طبقه‌بندی	اسلامپ (میلی‌متر)
S1	سفت	۱۰ تا ۴۰
S2	خمیری	۵۰ تا ۹۰
S3	روان	۱۰۰ تا ۱۵۰
S4	خیلی روان (سیال)	بزرگتر یا مساوی ۱۶۰

با توجه به مدول ریزی ۴/۹۲ و روانی مورد نظر (رده S_3)

رابطه مقدار آب آزاد بتن و مدول نرمی سنگدانه هنگامی که به آب زیاد نیاز است (به دلیل تیزگوشگی سنگدانه‌ها)



رابطه مقدار آب آزاد بتن و مدول نرمی سنگدانه هنگامی که به آب کم نیاز است (به دلیل گردگوشگی سنگدانه‌ها)



راه حل:

گام ۶: تعیین مقدار آب آزاد بتن

مقدار آب با توجه به درصد شکستگی معادل حدود ۱۸۵ بدست می‌آید.

$$۱۸۵ = ۱۸۲ + ۰/۱۲۵ \times (۲۱۰ - ۱۸۲)$$

چون اسلامپ پس از یک ساعت در محدوده رده S_3 خواسته شده است بنابر این مقدار آب را در حدود ۱۹۰ کیلو در نظر می‌گیریم.

$$W_f = 190kg / m^3$$

راه حل:

گام ۷: تعیین عیار سیمان

$$C = \frac{W_f}{\left(\frac{W_f}{C}\right)}$$

$$C = \frac{۱۹۰}{۰/۴۸} = ۳۹۶ \; Kg/m^3$$

از آنجائیکه مقدار سیمان از ۳۵۰ کیلو بیشتر می‌باشد، لازم است اصلاحی بر روی آب انجام شود. برای اصلاح آب، مقدار ۹ کیلو به آب اضافه می شود و مقدار آب ۱۹۹ می‌شود. پس سیمان مصرفی حدود ۴۱۵ کیلوگرم خواهد بود.

$$C = ۴۱۵ \; Kg/m^3$$

OK

A_{SSD} = جرم کل سنگدانه‌های اشباع با سطح خشک بر حسب kg/m^3

c = جرم سیمان بر حسب kg/m^3

w_f = جرم آب آزاد بر حسب kg/m^3

D = جرم مواد جایگزین سیمان بر حسب kg/m^3

V_a = حجم هوای موجود دربتن (عمدی و ناخواسته) بر حسب dm^3

ρ_{ASSD} = وزن مخصوص متوسط سنگدانه‌های اشباع با سطح خشک بر حسب g/cm^3

ρ_c = جرم مخصوص سیمان بر حسب g/cm^3

ρ_w = جرم مخصوص آب بر حسب g/cm^3 که معادل ۱ منظور می‌شود

ρ_D = جرم مخصوص افزودنی معدنی بر حسب g/cm^3

راه حل:

گام ۸: تعیین مقدار سنگدانه اشباع با سطح خشک

مقدار هوای بتن در این بتن در حدود ۱/۲۵ درصد فرض می‌شود و با توجه به چگالی متوسط سنگدانه و چگالی سیمان داریم:

$$A_{SSD} = \rho_{A_{SSD}} \left(1000 - \frac{c}{\rho_c} - \frac{w_f}{\rho_w} - \frac{D}{\rho_D} - V_a \right)$$

در جدول زیر، مقدار درصد هوای ناخواسته موجود در بتن براساس مداکثر اندازه سنگدانه، به عنوان راهنما ارائه شده است.

حداکثر اندازه سنگدانه (mm)	۹/۵	۱۲/۵	۱۹	۲۵	۳۸
درصد هوای ناخواسته	۳-۱/۵	۲/۵-۱/۲۵	۲-۱	۱/۵-۰/۷۵	۱-۰/۵

$$A_{SSD} = ۲/۵۴ (۱۰۰۰ - \frac{۴۱۵}{۳/۱۵} - \frac{۱۹۹}{۱} - ۱۲/۵) = ۱۶۶۸ \ Kg/m^3$$

با توجه به سهم هر یک از سنگدانه‌ها (۴۰ درصد شن و ۶۰ درصد ماسه) داریم:

$$G_{SSD} = ۶۶۷ \ Kg/m^3$$

$$S_{SSD} = ۱۰۰۱ \ Kg/m^3$$

راه حل:

نسبت‌های اختلاط

مصالح مصرفی	مقدار (کیلوگرم در متر مکعب)
سیمان پرتلند نوع ۲	۴۱۵
شن به صورت SSD	۶۶۷
ماسه به صورت SSD	۱۰۰۱
آب آزاد	۱۹۹

وزن یک متر مکعب بتن تازه با ۱ درصد هوا در این مثال برابر است با:

$$\rho_B = ۴۱۵+۱۹۹+۱۶۶۸= ۲۲۸۲\ kg/m^3$$

در پایان باید گفت به دلیل رعایت اسلامپ در گذشت زمان و نیاز به روانی مطلوب پس از یک ساعت مقدار آب بیشتری مورد مصرف قرار گرفت که این امر مقدار سیمان را افزایش داد. بهتر است با مصرف روان کننده این امر را تأمین کرده و مقدار سیمان را کاهش داد.

۷- وجه تمایز نحوه طرح اختلاط بتن توانمند

۷– وجه تمایز نحوه طرح اختلاط بتن توانمند

- بتن پمپی
- بتن ترمی
- بتن پاشیدنی (شاتکریت)
- بتن حباب‌دار
- بتن الیافی
- بتن خود تراکم

بتن پمپی

- حداکثر اندازه سنگدانه نباید بیشتر از یک سوم قطر داخلی لوله.
- شاخص کارایی توصیه شده: اسلامپ ۴۰ تا ۱۰۰ میلیمتر، ضریب تراکم ۰/۹ تا ۰/۹۵، ویبی ۳ تا ۵ ثانیه
- مجموع ذرات کوچکتر از ۰/۳ میلی متر در بتن (شامل ماسه، مواد ریزدانه، سیمان و مواد پودری معدنی) کمتر از ۴۲۵ و بیشتر از kg/m^3 ۵۲۵ نباشد.
- سنگدانه‌های ریز، گردگوشه با مدول نرمی ۲/۴ تا ۳. سنگدانه‌های درشت گردگوشه یا تیزگوشه.
- وجود ذرات ریز چسبنده مانند سیمان و دوده سیلیسی ضروری. دقت شود افزایش بیش از حد آنها پمپ کردن را مشکل می‌کند.
- ذرات ریز غیرچسبنده مانند ماسه‌های ریز و پودر سنگ، کمک بزرگی به پمپ کردن بتن می‌نماید.

بتن ترمی

- حداکثر اندازه سنگدانه نباید بیشتر از یک هشتم قطر داخلی لوله و بهتر است به ۲۵ میلی‌متر محدود شود.
- اسلامپ بتن نباید کمتر از ۱۷۰ میلی متر باشد یا بتن خود تراکم.
- میزان سیمان مصرفی در حدود ۳۶۰ تا ۴۵۰ kg/m^3 و مجموع ذرات کوچکتراز ۰/۳ میلی‌متر در حدود ۵۲۵ تا ۶۲۵ kg/m^3
- سنگدانه‌های ریز گردگوشه. سنگدانه درشت تیزگوشه یا نیمه‌شکسته.
- مصرف ذرات ریز چسبنده ضروری است، اما افراط در مصرف آنها می‌تواند به روانی بتن لطمه بزند. وجود ماسه‌های ریز و پودر سنگ در این بتن‌ها توصیه می‌شود تا جداشدگی کنترل گردد.
- استفاده از مواد فوق‌روان‌کننده کندگیر و اصلاح کننده لزجت (VMA).
- نسبت آب به سیمان بتن ترمی سازه‌ای محدود به ۰/۴۵.

بتن پاشیدنی (شاتکریت)

- حداکثر اندازه سنگدانه در دو رده $12/5mm$ و $9/5mm$ مطابق استاندارد ملی ایران ۱۲۸۲۰
- عیار سیمان بین $350kg/m^3$ و $550\ kg/m^3$ محدود شود.
- مجموع ذرات کوچکتر از ۰/۳ میلی‌متر بین ۵۲۵ و $625\ kg/m^3$ باشد.
- سنگدانه ریز گردگوشه یا تیزگوشه و سنگدانه درشت تیزگوشه یا نیمه‌شکسته توصیه می‌شود.
- وجود ذرات چسبنده کافی مانند سیمان و مواد پودری معدنی چسبناک بسیار ضروری است. هم چنین وجود ماسه‌های ریز و پودر سنگ بسیار مفید می‌باشد.
- معمولاً مواد زودگیرکننده در بتن پاشیدنی مصرف می‌شود. ضمن این که از مواد روان کننده نیز می تواند استفاده گردد.
- نسبت آب به سیمان بتن پاشیدنی سازه‌ای در حدود ۰/۳۵ تا ۰/۵۰ است.

بتن حباب‌دار – بتن الیافی

- همانگونه که اشاره شد در طرح اختلاط بتن حباب‌دار در مقاومت و روانی تغییراتی ایجاد می گردد.
- طرح مخلوط بتن‌های الیافی تفاوت چندانی با بتن معمولی ندارد.
- بتن‌هایی که با الیاف پلیمری یا سلولزی و یا شیشه‌ای ساخته می‌شود دارای حجم الیافی معمولاً بین ۰/۱ تا ۰/۳ درصد حجم بتن می‌باشد.
- بتن‌های حاوی الیاف فولادی، حجم الیاف بین ۰/۵ تا ۱ درصد می‌باشد.
- مقدار آب لازم برای ایجاد روانی در بتن مورد نظر (اما بدون الیاف) تفاوت خاصی با بتن معمولی ندارد؛ اما روانی بتن حاوی الیاف به مراتب کمتر از همان بتن ولی بدون الیاف می‌باشد.

بتن خود تراکم

- استفاده از فوق روان‌کننده‌های قوی.
- دانه بندی مناسب: ذرات ریز مانند پودر سنگ (خاک‌سنگ) سرباره و برخی پوزولان‌های طبیعی و مصنوعی (دوده سیلیسی، خاکستر پوسته برنج، متاکائولن و خاکستر بادی) و حتی ماسه‌های بسیار ریز با اندازه کوچکتر از ۰/۱۵ میلی‌متر و حتی کوچکتر از ۰/۳ میلی‌متر به قدر کافی بکار رود و بافت دانه‌بندی ریزتر شود.
- برای بالا بردن گرانروی از مواد اصلاح کننده گرانروی *VMA*.
- مقدار مناسب سیمان بین ۳۰۰ تا ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب خواهد بود. مجموع سیمان و مواد افزودنی پودری و هم چنین پودر سنگ بین ۴۰۰ تا ۶۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب است.
- حداکثر اندازه سنگدانه بهتر است از ۲۰ میلی‌متر تجاوز نکند.

پایان