روش ملی طرح مخلوط بتن

دانشکده فنی

دکتر محمد شکرچی زاده

فهرست مطالب

۱. مقدمه

۲. مبانی طرح

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

۴. مراحل گام به گام روش ملی طرح مخلوط بتن

۵. ساخت مخلوط آزمون و اصلاح طرح مخلوط اولیه

۶. حل یک مثال

۷. وجه تمایز نحوه طرح اختلاط بتن توانمند

مقدمه

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

- دانه بندی خاص
- 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، منجر به تهیه روش طرح ملی مخلوط بتن گردید.

مبانی اولیه

- حاشیه ایمنی مقاومت
- تعریف روانی بتن
- تعریف آب آزاد بتن
- نوع و دانه بندی سنگدانه‌ها
- نوع سیمان مصرفی
- سن مقاومت مشخصه و شکل نمونه بتن

۳- 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:

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

$$f_{cm} = f_c + 2.33s - 4$$

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* $20\ N/mm^2$ *می‌توان بجای ۴ از مقدار ۳ استفاده نمود.*

☑ تعیین انحراف معیار بتن تحت شرایطی انجام می گیرد که ن تایج آماری پروژه موجود باشد و یا به اطلاعات آماری پروژه دسترسی نداشته باشیم.

٤- تعیین انحراف معیار لازم برای طرح

٤-١- 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

٤-٢- تعیین انحراف معیار در صورت عدم دسترسی به اطلاعات آماری

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

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

گام اول: تعیین نسبت آب به سیمان

گام دوم: انتخاب محدوده منحنی مخلوط سنگدانه بتن

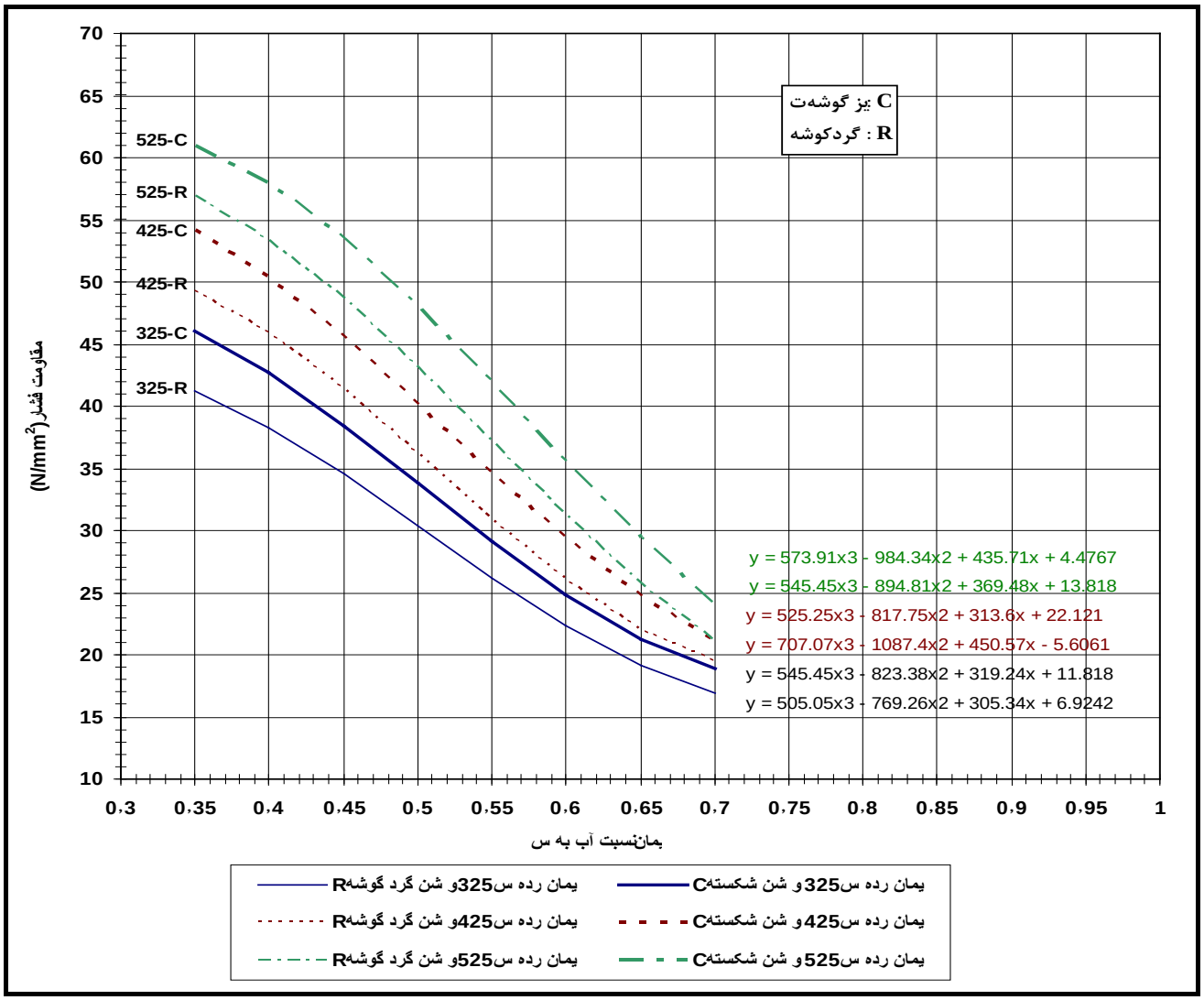
گام سوم: تعیین مقدار آب آزاد بتن

گام چهارم: تعیین مقدارسیمان در بتن

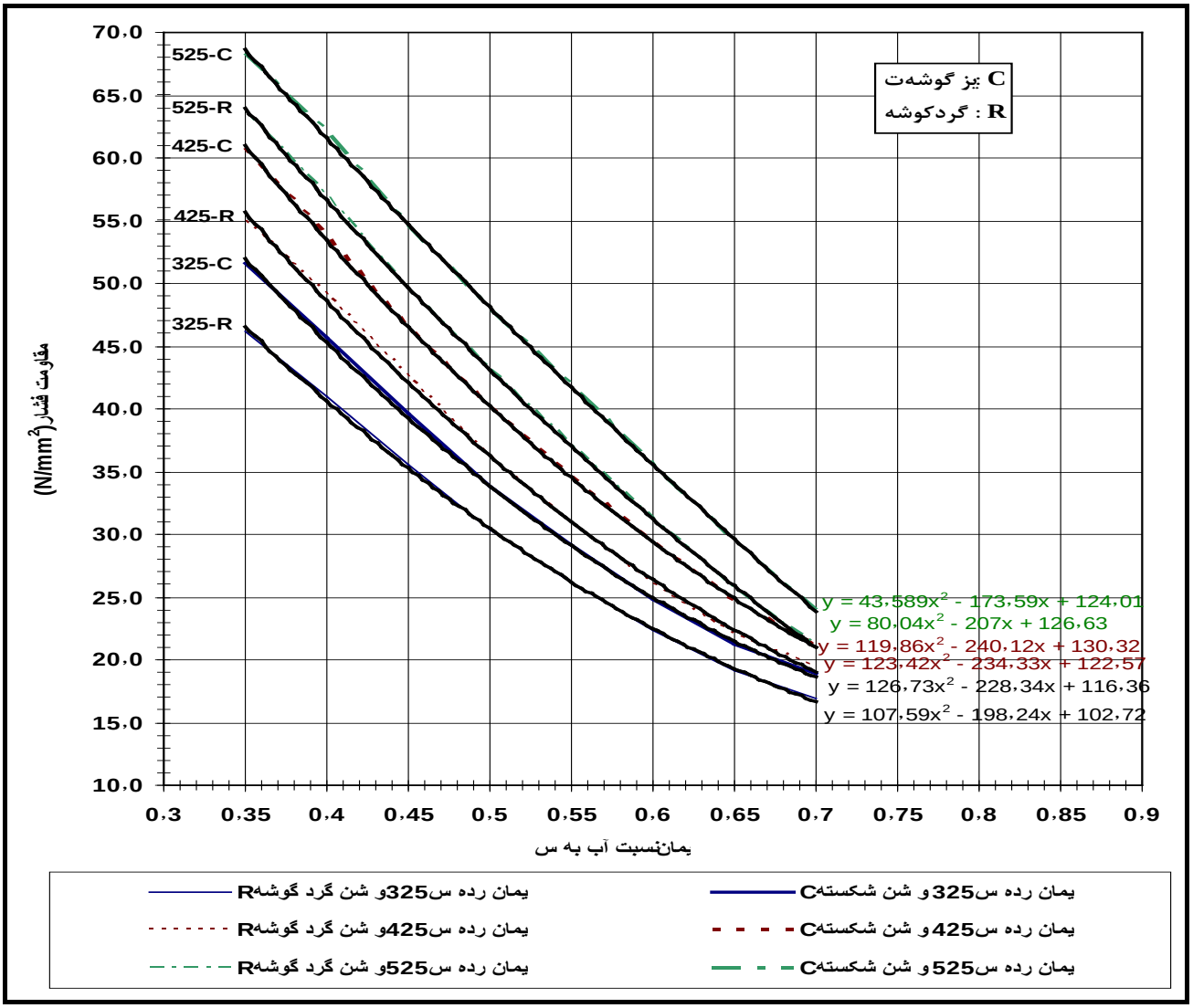
گام پنجم: تعیین مقدار سنگدانه بتن

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

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



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



ضرایب اصلاحی

۱) اصلاحیه به خاطر استفاده مواد حباب ساز

۲) اصلاحیه درصد شکستگی سنگدانه ها

۳) ضریب اصلاحی بر اساس مقاومت ملات سیمان استاندارد

۴) ضریب اصلاحی به منظور اعمال سن مقاومت مشخصه

اصلاحیه به خاطر استفاده مواد حباب ساز:

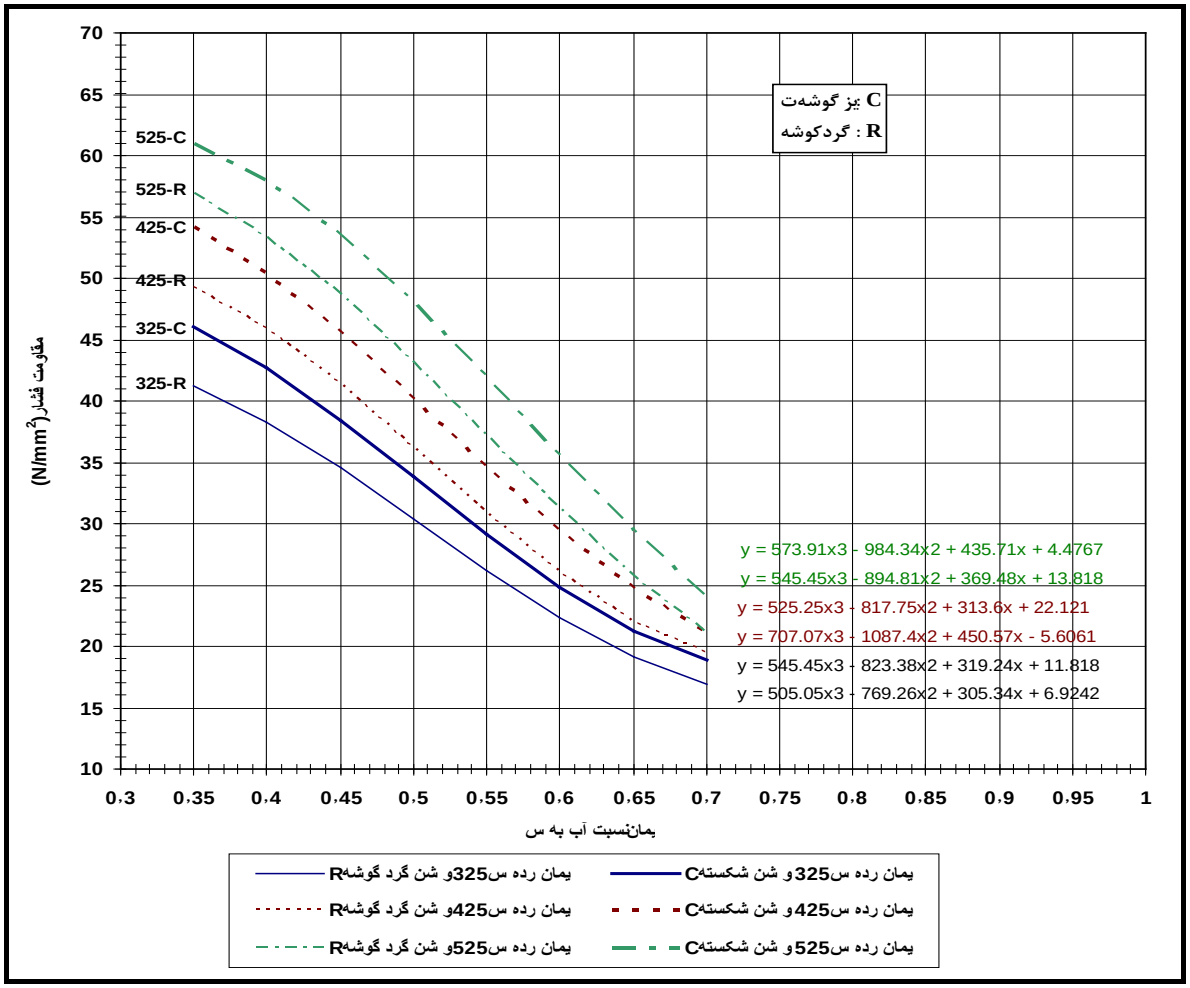
در صورت استفاده از مواد حباب‌زا و ایجاد حباب عمدی لازم است در ازای هر یک درصد حباب هوای عمدی ۵ درصد از نسبت آب به سیمان باید کاست، زیرا بتن حبابدار از مقاومت کمتری برخوردار می‌شود.

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 می گردد.

اصلاحیه درصد شکستگی سنگدانه ها:

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.



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 ۳۲۵ kg/cm^2 باشد:

α = (مقاومت فشاری ملات ماسه سیمان استاندارد ۲۸ روزه) ÷ ۳۲۵

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		

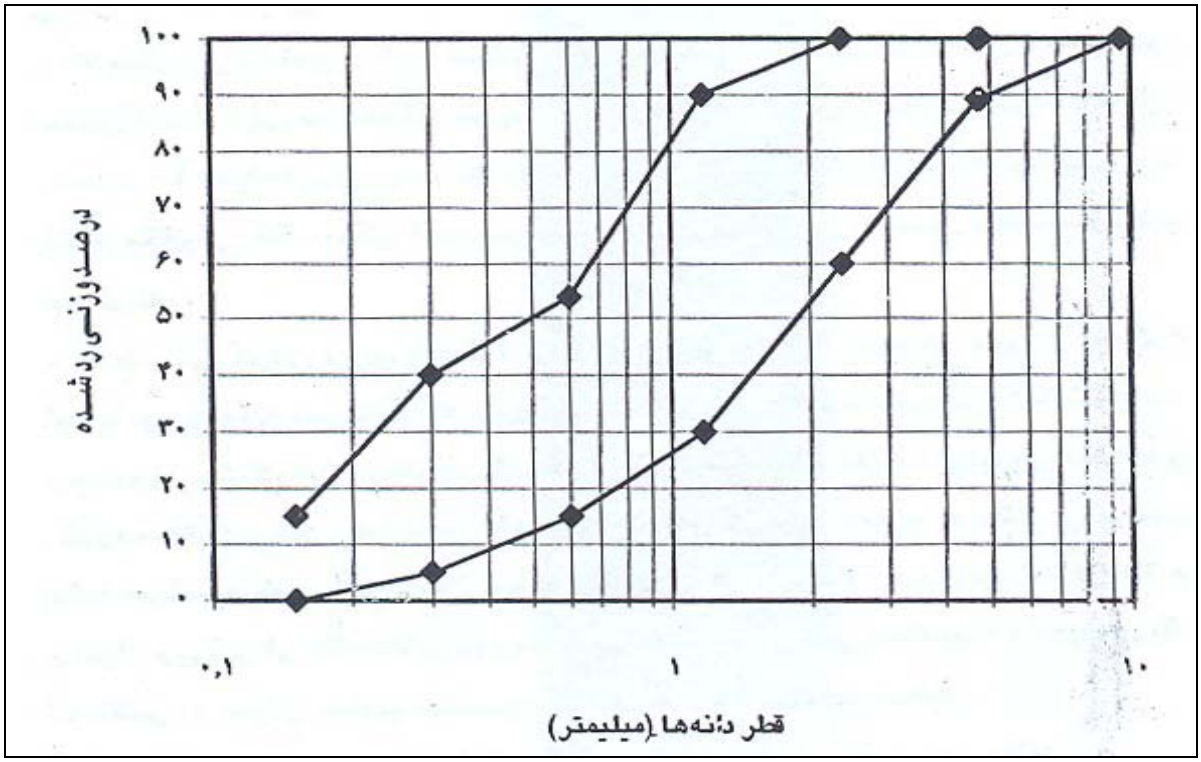
ضریب اصلاحی به منظور اعمال سن مقاومت مشخصه:

اگر مقاومت فشاری ۲۸ روزه ملات ماسه سیمان استاندارد که طبق روش استاندارد ملی ایران به شماره ۳۹۳ کمتر از ۳۲۵ 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

گام دوم: انتخاب محدوده منحنی مخلوط سنگدانه بتن

دانه بندی شن و ماسه بصورت مجزا در محدوده استاندارد نشریه ۳۰۲ قرار گیرد.



در روش ملی محدوده مطلوب منحنی مخلوط سنگدانه های بتن بر اساس:

- **رابطه فولر ـ تامسون**

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

- **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	

محدوده بین A و B) معمولا برای بتن های معمولی ساختمان ها

نزدیک تر به B) بتن های پمپی ترمی و نمای مطلوب

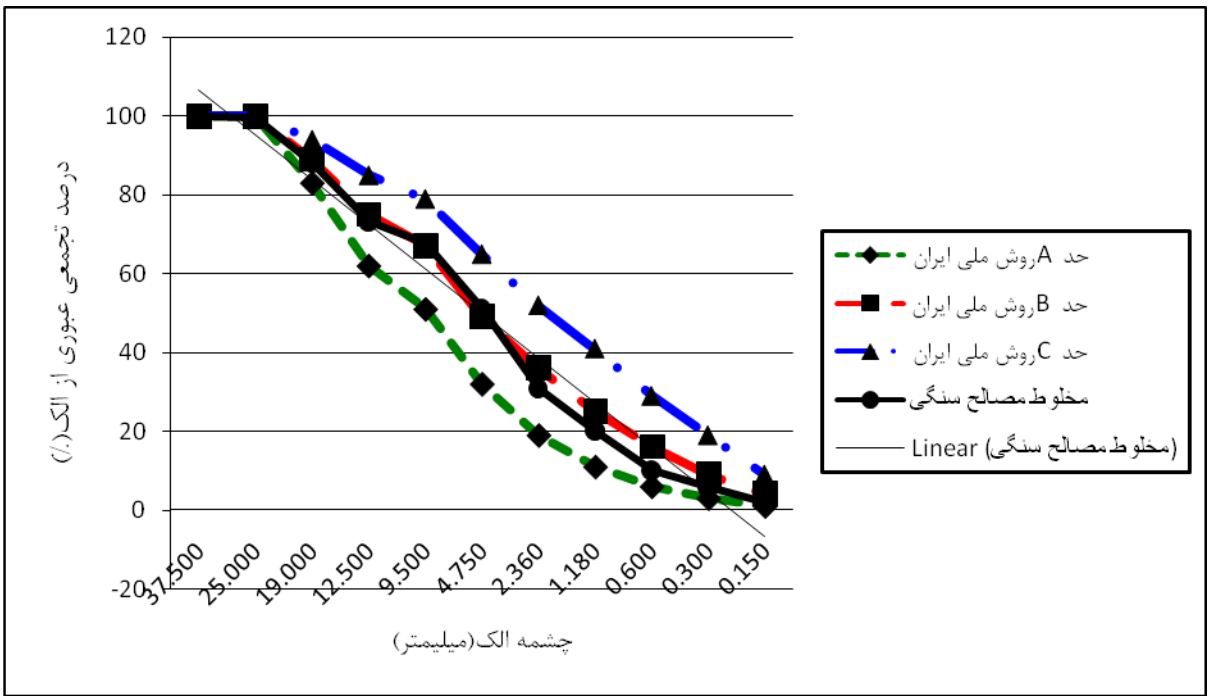
محدوده بین B و C) بتن های خودتراکم و بتن ترمی با کارآیی بسیار زیاد، بافت بسیار ریز و نمای بسیار مطلوب

- 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

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 می شود.

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.



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

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.

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

- **درصد شکستگی متوسط**

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

که در آن:

a_{nG} = درصد شکستگی متوسط شن‌ها

a_{ni} = درصد شکستگی هر یک از شن‌ها

P_i = سهم هر یک از شن‌ها

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

- **معادل درصد شکستگی**

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

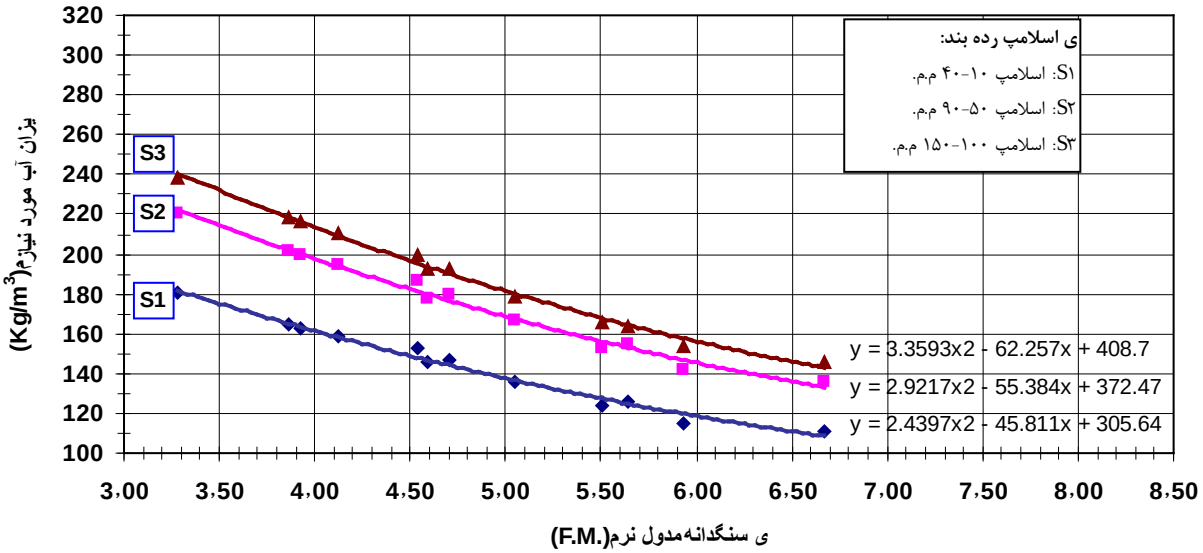
P_S = سهم ماسه

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

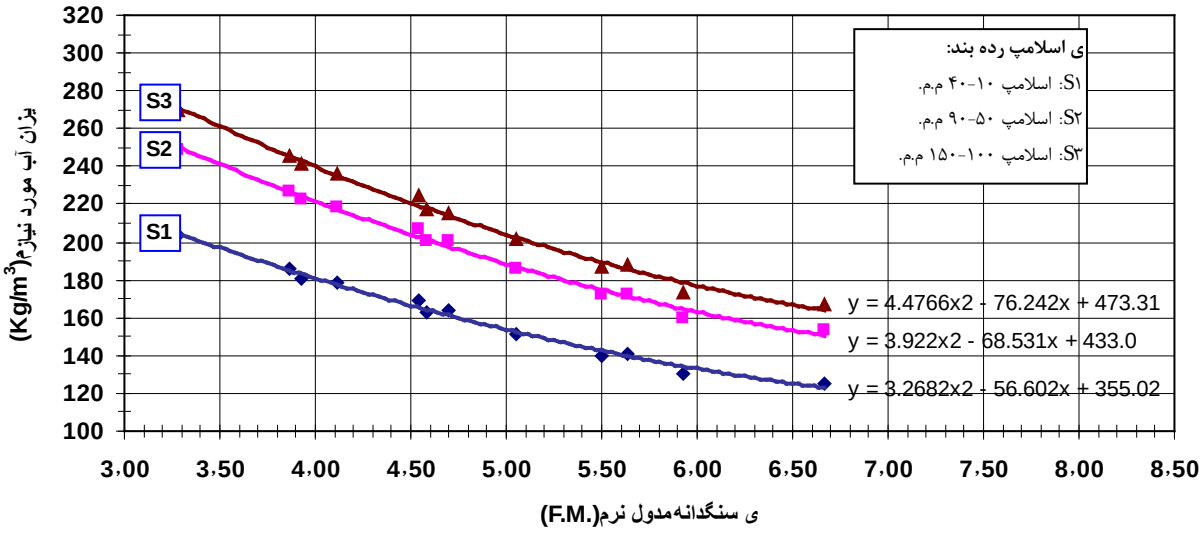
درصد شکستگی تقریبی ماسه صرفاً به صورت نظری باید حدس زده شود.

گام سوم: تعیین مقدار آب آزاد بتن

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



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



در صورتی که کارآیی در رده S4باشد می‌توان حداکثر ۵ درصد به آب آزاد متناظر با کارآیی رده S3 اضافه نمود.

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 350 kg/m3 تهیه شده است. در صورتی که عیار سیمان بتن به میزان 10 kg/m3 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

۵. به ازای هر یک درصد حباب هوای عمدی موجود در بتن عملاً در حدود ۳/۵ تا ۴ 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.

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، اما به تکرار این عمل نیازی نیست.

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

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

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 می آید (A_{SSDi}).

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.

$$\text{تغییر آب آزاد بتن} = N\,(S_\alpha - S_0)$$

- که در آن S_α مقدار روانی فرض شده و S_0 روانی بدست آمده بر حسب mm می‌باشد و N بین ۰/۱ تا ۰/۳ خواهد بود.

- **آب انداختگی 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.

- **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.
- **عدم انطباق وزن مخصوص محاسباتی با وزن مخصوص واقعی**
- **درصد هوای بتن**
- **اختلاف مقاومت فشاری مورد نظر و بدست آمده:** تغییر نسبت آب به سیمان

۶- حل یک مثال

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

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 ۲۵MPa می باشد کافی است طبق تفسیر آبا ۵MPa از آن کم نماییم تا مقاومت مشخصه استوانه ای حاصل گردد.

f_{cm}= ۲۵+۱/۳۴×۴/۵+۱/۵=۳۲/۵ *Mpa*

f_{cm}= ۲۵+۲/۳۳×۴/۵ −۴=۳۱/۵ *Mpa*

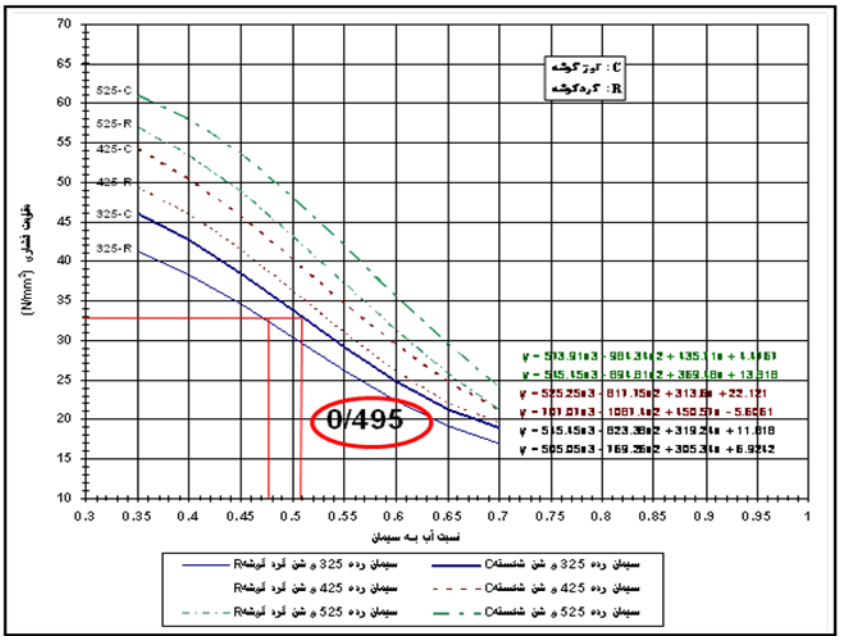
مقاومت هدف بزرگترین مقدار حاصله از روابط

انحراف معیار بر اساس رتبه‌بندی کارگاه و مقاومت مشخصه بتن

رتبه‌بندی کارگاه	مقاومت مشخصه بتن (N/mm²)				
	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

گام ۲: تعیین نسبت آب به سیمان

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



میانگین گیری

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

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

$$\frac{W}{C} = ۰/۴۹۵ \times \frac{۳۱۵}{۴۲۵} = ۰/۴۸$$

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 ۱-۴۲۵	۴۲۵	پرتلند پوزولانی	۳۰۰
پرتلند ۱-۵۲۵	۵۲۵	پرتلند پوزولانی ویژه	۲۷۵
پرتلند نوع ۲	۳۱۵	پرتلند سرباره‌ای	۳۲۰
پرتلند نوع ۵	۲۷۰	پرتلند سرباره‌ای ضد سولفات	۳۰۰
پرتلند سفید	۳۱۵	پرتلند آهکی	۳۳۰

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

مشخص است که حداکثر اندازه اسمی مخلوط سنگدانه ۱۹ میلی متر می باشد زیرا بیش از ۹۰ درصد آن از الک ۱۹ میلی متر می گذرد. بنابر این با توجه به پمپی بودن بتن سعی می شود منحنی دانه بندی بین A_{19} و B_{19} نزدیک تر به B_{19} باشد.

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	

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

گام ٤: تعیین مدول نرمی مخلوط سنگدانه

مدول نرمی با توجه به درصد تجمعی مانده روی الک های مختلف (به جز ۵/۱۲` میلی متر) بدست می آید.

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

مدول نرمی برای ۱۹ Aبرابر ۴۹/۵ و برای ۱۹ Bبرابر ۶۸/۴ می باشد که مطلوب به نظر می رسد.

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

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

گام ٦: تعیین مقدار آب آزاد بتن

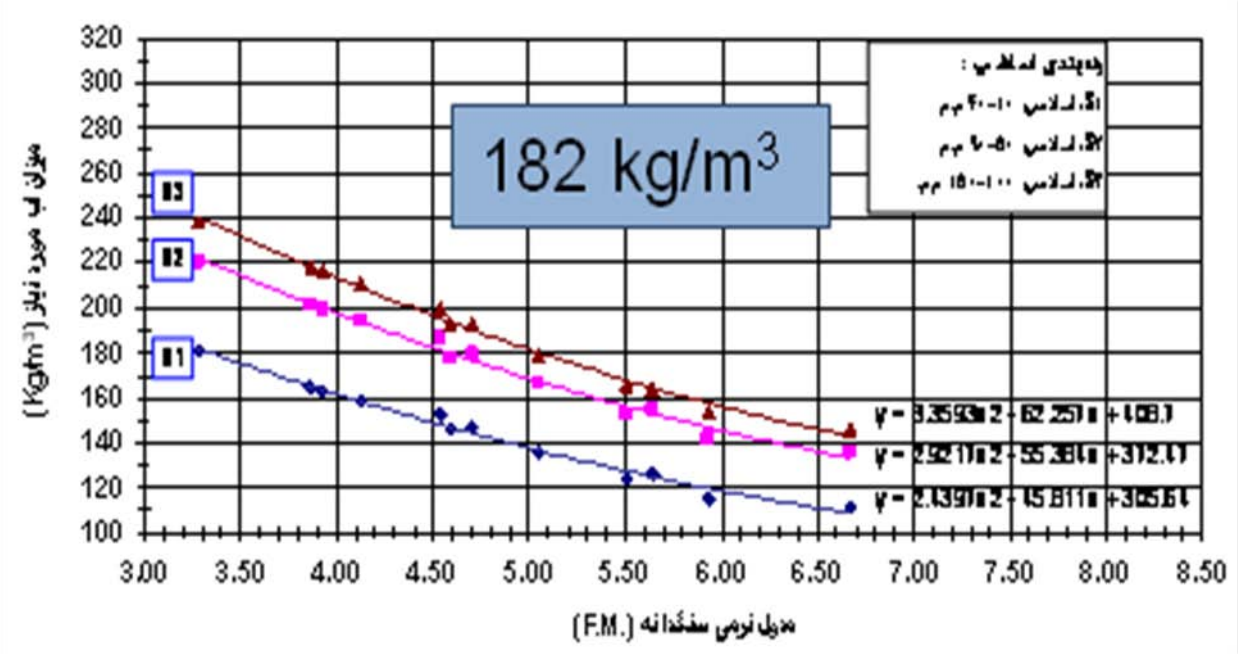
ابتدا با توجه به سهم شن و ماسه، مقدار متوسط درصد شکستگی معادل را بدست می آوریم

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

با توجه به مدول ریزی ۹۲/٤ و روانی مورد نظر (رده S_3)

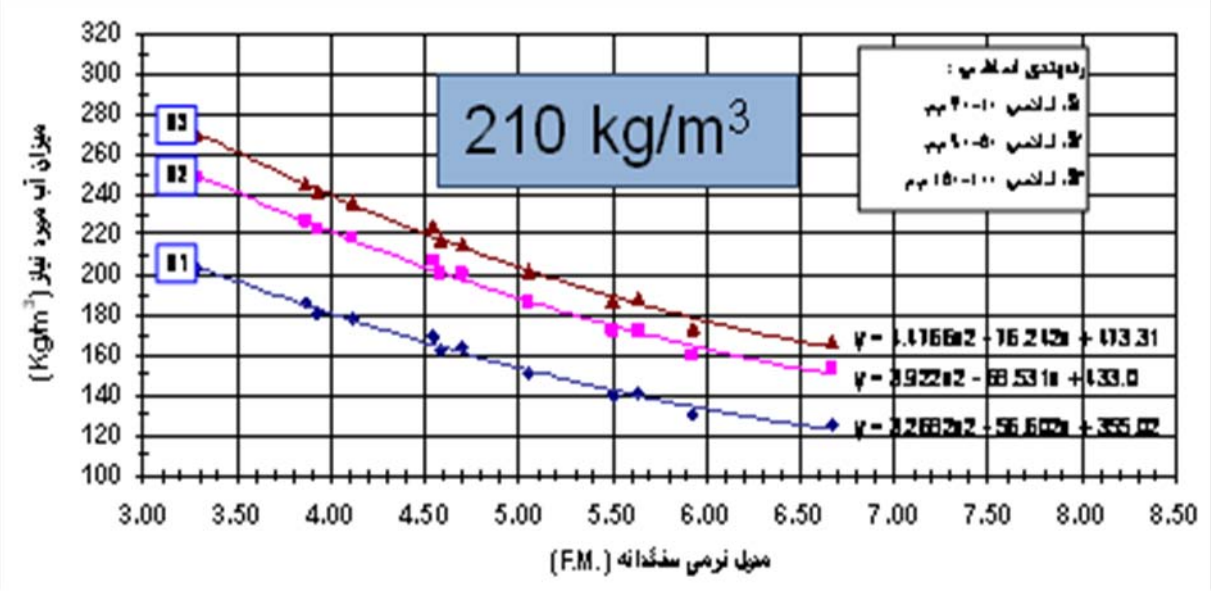
رابطه مقدار آب آزاد بتن و مدول نرمی سنگدانه هنگامی که به آب کم نیاز است

(به دلیل گردگوشگی سنگدانه ها)



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

(به دلیل تیزگوشگی سنگدانه ها)



گام ٦: تعیین مقدار آب آزاد بتن

مقدار آب با توجه به درصد شکستگی معادل حدود ۱۸۵ بدست می آید

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

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 می گیریم.

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

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 آن جا که مقدار سیمان از ۳۵۰ کیلو بیشتر می باشد لازم است اصلاحی بر روی آب انجام شود. برای اصلاح آب مقدار ۹ کیلو به آب اضافه می شود و مقدار آب ۱۹۹ می شود. پس سیمان مصرفی حدود ۴۱۵ کیلو خواهد بود.

$$C = ۴۱۵ \ Kg/m^3$$ OK

گام ۸: تعیین مقدار سنگدانه اشباع با سطح خشک

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

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

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

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

$$G_{SSD} = ۶۶۷ \ Kg/m^3$$
$$S_{SSD} = ۱۰۰۱ \ Kg/m^3$$

نسبت های 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 تامین کرده و مقدار سیمان را کاهش داد.

۷- وجه تمایز نحوه طرح اختلاط بتن توانمند

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

بتن پمپی

- حداکثر اندازه سنگدانه نباید بیشتر از یک سوم قطر داخلی لوله
- اسلامپ بهتر است بیشتر از ۹۰ میلی متر
- مجموع ذرات کوچکتر از 0.3 میلی متر در بتن (شامل ماسه، مواد ریزدانه، سیمان و مواد پودری معدنی) کمتر از ۴۲۵ و بیشتر از kg/m3 525 نباشد.
- سنگدانه‌های ریز، گردگوشه. سنگدانه‌های درشت گردگوشه یا تیزگوشه
- وجود ذرات ریز چسبنده مانند سیمان و دوده سیلیسی ضروری. دقت شود افزایش بیش از حد آن ها پمپ کردن را مشکل می‌کند.
- ذرات ریز غیرچسبنده مانند ماسه‌های ریز و پودر سنگ، کمک بزرگی به پمپ کردن بتن می‌نماید.

بتن ترمهی

- حداکثر اندازه سنگدانه نباید بیشتر از یک هشتم قطر داخلی لوله و بهتر است به ۲۵ میلی متر محدود شود.
- اسلامپ بتن نباید کمتر از ۱۷۰ میلی متر باشد یا بتن خود تراکم
- مجموع ذرات کوچکتراز ۰/۳ میلی متر نباید کمتر از ۵۲۵ و بیشتر از kg/m3 625باشد.
- سنگدانه‌های ریز گردگوشه. سنگدانه درشت تیزگوشه یا نیمه‌شکسته
- مصرف ذرات ریز چسبنده ضروری است، اما افراط در مصرف آن ها 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 کمتر از ۱۹ میلی متر باشد و بهتر است ۱۲/۵ mm
- عیار سیمان بین ۳۵۰kg/m3 و ۵۵۰ kg/m3 محدود شود.
- مجموع ذرات کوچکتر از ۰/۳میلی متر بین ۵۲۵ و ۶۲۵ kg/m3 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 میتواند استفاده گردد
- حداکثر نسبت آب به سیمان بتن پاشیدنی سازه‌ای به ۰/۵محدود شود.

بتن حباب‌دار-بتن های الیافی

- همانگونه که اشاره شد در طرح اختلاط بتن حباب دار در مقاومت و روانی تغییراتی ایجاد می گردد.
- طرح مخلوط بتن های الیافی تفاوت چندانی با بتن معمولی ندارد
- بتن هایی که با الیاف پلیمری یا سلولزی و یا شیشه ای ساخته می شود دارای حجم الیافی معمولاً بین ۰/۱تا ۰/۳درصد حجم بتن می باشد.
- بتن های حاوی الیاف فولادی، حجم الیاف بین ۰/۵ تا ۱ درصد می باشد
- 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 می باشد.

بتن خود تراکم

- استفاده از فوق روان کننده های قوی
- دانه بندی مناسب: ذرات ریز مانند پودر سنگ (خاک سنگ) سرباره و برخی پوزولان های طبیعی و مصنوعی (دوده سیلیسی، خاکستر پوسته برنج، متاکائولن و خاکستر بادی) و حتی ماسه های بسیار ریز با اندازه کوچکتر از ۰/۱۵ میلی متر و حتی کوچکتر از ۰/۳ میلی متر به قدر کافی بکار رود و بافت دانه بندی 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 میلی متر تجاوز نکند.