طرح اختلاط بتن به روش ACI

-هدف از ارائه طرح بتن:

- هدف از ارائه طرح اختلاط بتن انتخاب اجزاء مناسب برای بتن و تعیین مقادیر نسبی آنها بمنظور تولید بتن اقتصادی است بطوریکه دارای خصوصیات مشخصی مانند کارائی، مقاومت و پایائی باشد.
- خواصی نظیر کارائی ، مقاومت ، وزن مخصوص ، خواص حرارتی ، مدول الاستیسیته و دوام و... وجود دارند که می توان آنها را جزو مشخصات بتن بشمار آورد.

۱- کارائی بتن تازه

عبارت است از درجه سهولت و ریختن و کارکردن با بتن

کارائی بتن تازه به عوامل مختلفی از جمله میزان آب ، نوع سنگدانه ها و دانه بندی آنها

نسبت سنگدانه به سیمان ، وجود مواد افزودنی و ریزی سیمان بستگی دارد.

۲- مقاومت بتن

مقاومت بتن به عنوان یکی از مهمترین خواص بتن درنظر گرفته می شود. مقاومت بتن شمای کلی از کیفیت بتن رابه دست می دهد .

مقاومت بتن بستگی به نسبت آب به سیمان، سنگدانه های ریز و درشت ، آب و مواد افزودنی دارد ، نسبت آب به سیمان مهمترین عامل در مقاومت بتن می باشد . هرچه نسبت آب به سیمان کمتر باشد ، مقاومت فشاری بتن بیشتر خواهد بود.

۳- پایائی و دوام بتن

پایائی بتن ساخته شده از سیمان پرتلند به مقاومت آن در برابر عوامل جوی ، حملات شیمیائی ، سایش و فرسایش و فرایند های تخریبی دیگر گفته می شود . بتن پایا در شرایط محیطی مورد نظر شکل اولیه و کیفیت خود را به نحو بهتری حفظ می کند.

مشخصات مورد نیاز جهت طرح اختلاط بتن

همه موارد زیر یا تعدادی از آنها می تواند جزو الزامات طرح باشد.

- حداکثر نسبت آب به سیمان یا آب به مواد سیمانی w/c یا w/(c+p)
- حداقل مقدار سیمان
- مقدار هوای بتن
- اسلامپ
- بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه ها
- مقاومت
- سایر الزامات نظیر: حاشیه ایمنی مقاومت، مواد افزودنی ، انواع خواص سیمان ، مواد سیمانی دیگر ، سنگدانه ها

تعریف طرح اختلاط بتن:

تعیین نسبت های اختلاط آب، سیمان، درشت دانه، ریزدانه و مواد پوزولانی به گونه ای که مقاومت فشاری مورد نیاز را تامین کند

معمولا در طرح اختلاط بتن سه مورد باید توجه شود:

۱. رسیدن به مقاومت مورد نظر
۲. تامین دوام کافی
۳. رسیدن به روانی مورد نظر

بستگی به عامل مخرب و شرایط محیطی دارد . مثلا طرح اختلاط بتن در محیط سولفاته با بتنی که در معرض یخ زدگی و ذوب متوالی قرار دارد فرق می کند

فرضیات کلی در طرح اختلاط بتن :

.دانه بندی شن و ماسه مصرفی باید در محدوده ی ASTM-C33 قرار گیرد.
۲. وزن مخصوص دانه ها باید به وسیله ی آزمایش تعیین شود ماسه = ۲.۸ شن = ۲.۷۲
۳. چگالی سیمان برابر ۳.۱۵ در نظر گرفته شود، مگر آن که در آزمایشگاه مستقیما چگالی سیمان مصرفی بدست آورده باشد.
۴. مدول نرمی ماسه با دانه بندی ماسه در آزمایشگاه قابل تعیین است، محدوده ی مجاز مدول نرمی ماسه مصرفی در بتن بین ۲.۱ – ۳.۲ می باشد.
۵.وزن شن و ماسه در حلت SSD تعیین می شود، به عبارت دیگر فرض بر این است که دانه ها، نه آبی از مخلوط به خود جذب کنند و نه آبی به مخلو ط اضافه کنند، اگر رطوبت شن و ماسه در حالت SSD نباشد، تصحیحات لازم در محاسبه شن و ماسه و آب مصرفی باید صورت پذیرد.
۶. جداول ارائه شده در روش ACI-211 بر اساس تجربیات آزمایشگاهی است به همین جهت باید در مراحل پایان طرح اختلاط با ساخت نمونه های آزمایشی اختلاف احتمالی شرایط و مصالح محلی با شرایط و مصالح استاندارد در محاسبه وارد شود.

مراحل 9 گانه طرح اختلاط بتن به روش ACI

1. **انتخاب اسلامپ :** بر اساس تجربه و در صورت عدم آن با استفاده از جدول
2. **انتخاب بزرگترین بعد دانه**

بر اساس تجربه ی مهندسی طراح و نیز شرایط و امکانات ملی. در بتن هرچه از دانه های درشت تری استفاده شود اسکلت بتن قوی تر می شود ومصرف سیمان کم می شود لیکن باید به محدودیت حداکثر بعد دانه ها نیز توجه کرد.

۳ .تعیین میزان آب و هوا

۴. انتخاب نسبت آب به سیمان : بر اساس دو مبنا صورت می گیرد :
1)مقاومت ۲) دوام بر اساس شرایط محیط

۵. محاسبه ی مقدار سیمان

۶. تخمین مقدار شن یا درشت دانه : حجم شن به صورت خشک و نیمه خشک (کوبیده شده) در واحد حجم بتن را، می توان بر اساس آنها و مدول نرمی ماسه تعیین کرد.

۷. محاسبه ی وزن ماسه

۸. تصحیح اوزان شن،ماسه و آب در صورت مرطوب بودن دانه ها

۹. ساخت نمونه ی آزمایشگاهی و انجام تصحیحات لازم : (مثلا 20 lit)

انتخاب اسلامپ

موارد اجرایی مختلف (انواع سازه)	اسلامپ (mm)	
	حداکثر	حداقل
پی های دیوار و پی های مجزای مسلح	۷۵	۲۵
پی های مجزا ، صندوقچه ها، دیوارهای زیرسازه ای غیر مسلح	۷۵	۲۵
تیرها و دیوارهای مسلح	۱۰۰	۲۵
ستونهای ساختمانی	۱۰۰	۲۵
روسازیها و دالها	۷۵	۲۵
بتن حجیم	۵۰	۲۵

انتخاب بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه ها

حداکثر اندازه اسمی نباید از هیچ یک از مقادیر زیر بیشتر شود.

الف- یک پنجم کوچکترین بعد داخلی قالب بتن

ب- یک سوم ضخامت دال

ج- سه چهارم حداقل فاصله آزاد بین میلگردها

د- سه چهارم ضخامت پوشش روی میلگرد

بکار بردن سنگدانه های درشت از ۳۸ میلیمتر در ساخت قطعات بتن آرمه توصیه نمی شود ولی در هیچ حالت اندازه سنگدانه ها نباید از۶۳ میلیمتر تجاوز نکند.

تخمین آب اختلاط و مقدار هوای محبوس

مقدار آب مورد نیاز در واحد حجم بتن برای ایجاد یک اسلامپ مشخص عمدتا بستگی دارد:

- بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه ها
- شکل ذرات و دانه بندی سنگدانه ها
- دمای بتن
- مقدار هوای ایجاد شده
- استفاده از مواد افزودنی

جدول ۳-۵: مقادیر تقریبی آب و هوا براساس اسلامپ و بزرگترین بُعد دانه‌ها (ACI - 211 - 89)

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

مقدار هوای بتن

بتنی که احتمال دارد در معرض یخ زدگی ویا تحت تاثیر مواد شیمیائی یخ زدا و یا تحت اثر تر و خشک شدن های متوالی قرار گیرد، می توان از مواد افزودنی حباب ساز استفاده نمود

حداکثر اندازه اسمی سنگدانه ها mm	مقدار درصد هوا در شرایط محیطی	
	شدید	متوسط
۹/۵	۵/۷	۶
۱۲/۵	۷	۵/۵
۱۹	۶	۵
۲۵	۶	۵/۴
۳۸	۵/۵	۵/۴

شرایط محیطی

۱- ملایم : زمانی که هوازایی برای هدفی به غیر از پایایی ، نظیر بهبود کارائی یا چسبندگی و یا بهبود مقاومت بتن های کم سیمان مورد نظر باشد.

۲- متوسط: بتن قبل از یخ زدن درهوای سرد گاهی اوقات در تماس با رطوبت باشد.

۳- شدید: بتن قبل از یخ زدن در تماس مداوم با رطوبت یا مواد شیمیایی یخ زدا باشد.

مقاومت لازم میانگین f_{cm}

تعریف: مقاومت فشاری میانگین لازمه بتن که بعنوان پایه ای برای انتخاب نسبت اجزای بتن بکار می رود.

نسبت اجزای بتن باید بگونه ای انتخاب شوند که مقاومت میانگین تولید شده همواره از مقدار مقاومت مشخصه f'_c که در محاسبات طرح سازه بکار می رود ، بیشتر باشد.

برای تعیین مقاومت لازم میانگین ابتدا نیاز به محاسبه انحراف معیار می باشد.

انحراف معیار

زمانی که در تجهیزات تولید بتن نتایج آزمایش های بتن های قبلی ثبت شده باشد.

نتایج ثبت شده باید با مصالح بکار رفته ، روش کنترل کیفیت ، وشرایط مشابه آنچه که برای کار جدید مد نظر است باشند.

نتایج ثبت شده باید نشان دهنده تولید بتنی باشند که در محدوده مقاومتی 7Mpa از مقاومت مشخصه قرار داشته باشند.

این نتایج باید از حداقل ۳۰ آزمایش متوالی یا دو گروه آزمایش متوالی که رویهم رفته کمتر از ۳۰ آزمایش نشوند.

$$s = \left[\frac{\sum (x_i - \overline{x})^2}{(n-1)} \right]^{0.5}$$

S= انحراف معیار برحسب Mpa

Xi= نتایج تک تک آزمایشات مقاومت بر حسب Mpa

$\overline{X}$= میانگین n نتیجه آزمایش مقاومت برحسب Mpa

N= تعداد آزمایشهای مقاومت متوالی

مقاومت فشاری هدف f_{cm}

- مقاومت فشاری هدف که به عنوان مبنای تعیین نسبتهای اختلاط بتن به کار می رود، باید با توجه به انحراف استاندارد حاصل از پروندهٔ تولیدات قبلی بدست می آید، معادل مقدار بزرگتر از بین دو مقدار بدست آمده از روابط زیر باشد:

$$f_{cm} = f_c + ۱.۳۴\,S + ۱.۵ \qquad (\mathrm{N/mm^۲}) \qquad (۴-۹)$$

$$f_{cm} = f_c + ۲.۳۳S - ۴ \qquad (\mathrm{N/mm^۲}) \qquad (۵-۹)$$

S = انحراف استاندارد

f_c = مقاومت مشخصه طرح

هنگامی که تجهیزات تولید بتن فاقد نتایج آزمایشهای مقاومت کارگاهی برای محاسبه انحراف معیار باشد.مقاومت میانگین لازمه براساس جدول زیر تعیین می شود.

ردهٔ بتن	مقاومت فشاری هدف (N/mm^2)
C۱۲ و پایین‌تر	$f_{cm} = f_c + ۶$
C۱۶	$f_{cm} = f_c + ۷.۵$
C۲۰	$f_{cm} = f_c + ۸.۵$
C۲۵	$f_{cm} = f_c + ۹.۵$
C۳۰ و C۳۵	$f_{cm} = f_c + ۱۰.۵$
C۴۰و بالاتر	$f_{cm} = f_c + ۱۱$

انتخاب نسبت آب به سیمان یا آب به مواد سیمانی w/c یا w/(c+p)

مقاومت بتن بستگی به مقدار خالص آب استفاده شده به ازای مقدار سیمان یا مواد سیمانی دارد.

آب خالص در برگیرنده آب جذب شده توسط سنگدانه ها نمی شود.

چنانچه پایایی بتن لازم باشد رعایت حداکثر نسبت آب به سیمان الزامی است.

مواردی همچون: بزرگترین اندازه ، دانه بندی ، بافت سطحی ، شکل ، مقاومت و سختی سنگدانه ها ، تغییرات در نوع ومنبع سیمان ، مقدار هوا و استفاده از مواد افزودنی که بر روند آبگیری سیمان اثر بگذارد در انتخاب نسبت آب به سیمان نقش دارد.

جدول الف–۴–۵ : نسبت آب به سیمان براساس مقاومت فشاری بتن (ACI - 211 - 89)

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

جدول ب–۴–۵ : حداکثرنسبت‌مجازآب‌به سیمان درشرایط محیطی‌نامناسب (ACI - 211 - 89)

نوع سازه	سازه‌هائی که بطورپیوسته یا متناوب مرطوبند و تحت اثر سیکلهای یخ زدن و آب شدن قرار دارند	سازه‌های در معرض آب دریا و یا سولفاتها
مقاطع ظریف (نظیرنرده‌ها،جان‌پناهها، تیرچه‌ها وکارهای تزئینی)و مقاطعی باپوشش‌کمترازه‌میلیمترروی‌آرماتورها	۰/۴۵	۰/۴۰
سایر سازه‌ها	۰/۵۰	۰/۴۵

محاسبه مقدار سیمان

مقدار سیمان با حاصل قسمت مقدار آب اختلاط تخمینی بر نسبت آب به سیمان بدست می آید.

با انتخاب نسبت صحیح آب به سیمان ، تراکم کافی و عمل آوردن مناسب می توان دوام بتن را بهبود بخشید .

تخمین مقدار سنگدانه درشت

با داشتن

- حداکثر اندازه اسمی سنگدانه ها
- ضریب نرمی ماسه

حجم سنگدانه درشت در واحد حجم بدست آوردV

- وزن واحد حجم سنگدانه های درشت خشک متراکم D
- وزن سنگدانه درشت در واحد حجم بتن برابراست باM
- $M=D\times V$

جدول ۵-۵: حجم دانه‌های درشت در واحد حجم بتن (ACI - 211 - 89)

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

تخمین مقدار سنگدانه ریز

۱- با در نظر گرفتن تخمین اولیه وزن واحد حجم بتن مطابق جدول (با توجه به حداکثر اندازه اسمی سنگدانه ها) می توان مقدار ریزدانه را در واحد حجم بتن بدست آورد.

مقدار ریزدانه = وزن واحد حجم بتن – وزن آب و مواد افزودنی – وزن سیمان – وزن درشت دانه

با توجه به *حداکثر اندازه اسمی سنگدانه ها* وزن واحد حجم تقریبی بتن تازه از جدول زیر بدست می آید

جدول ۶-۵ : تخمین مقدماتی برای وزن مخصوص بتن تازه (ACI - 211- 89)

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

محاسبه مقدار دقیق سنگدانه ها ی ریز

$$\gamma = W_W + W_C + W_{Agg} = W_W + W_C + \gamma_W G_{Agg} \left(1 - \left(\frac{A}{100} + \frac{W_C}{G_C \gamma_W} + \frac{W_W}{\gamma_W}\right)\right)$$

$$G_{Agg} = 0.5 (G_{FA} + G_{CA})$$

$$W_{FA} = \gamma - (W_C + W_W + W_{CA})$$

اصلاحات مربوط به رطوبت سنگدانه

چنانچه مصالح سنگی دارای رطوبت باشند به شرح ذیل وزن آنها اصلاح می گردد.

وزن مصالح در حالت SSD(اشباع با سطح خشک) بدست آمده از محاسبات طرح : S_D

$$S_w = S_D + S_D\left(\frac{N-A}{100}\right)$$

وزن آب بدست آمده در محاسبات طرح :w

درصد جذب آب مصالح سنگی: A

درصد رطوبت مصالح سنگی: N

$$W = w - S_D\left(\frac{N-A}{100}\right)$$

وزن مصالح در حالت مرطوب:S_W

وزن لازم آب جهت یک متر مکعب بتن: W

اصلاحات مربوط به ساخت مخلوطهای آزمایشی

با استفاده از نسبتهای فوق نمونه های بتن آزمایشی ساخته شده و در نهایت با در نظر گرفتن اسلامپ بدست آمده و مقدار رطوبت اولیه مصالح سنگی ، اصلاحات نهایی انجام و پس از تعیین مقاومت نمونه ها ، طرح گزارش می گردد .

۱- تعیین بازده مخلوط :حجم نمونه محاسباتی بر وزن مخصوص بتن تازه

۲- آب اختلاط اصلاح شده : مقدار آب واقعی بر بازده مخلوط

۳- با در نظر گرفتن مقدار آب اختلاط و نسبت آب به سیمان و وزن مخصوص بتن تازه سایر مصالح اصلاح می شود.

درصد جذب آب Absorption

مقدار آب جذب شده در سطح حفرات سگندانه نسبت به وزن خشک نمونه

$$W_A = \frac{B - A}{A} \times 100$$

A: وزن نمونه مصالح سنگی خشک درهوا

B: وزن نمونه مصالح سنگی اشباع با سطح خشک

C: وزن نمونه مصالح سنگی در آب

$$W_A = (\frac{1}{G_{sb}} - \frac{1}{G_{SA}}) \times 100$$