



دانشگاه سیستان و بلوچستان
دانشکده مهندسی شهید نیکبخت
آزمایشگاه تکنولوژی بتن

طرح اختلاط بتن و آزمایشهای کششی ، فشاری و خمشی

استاد: دکتر سهرابی

تهیه و تنظیم :

حمید عظیمی حسینی

با همکاری : ابراهیم پارسایی

طرح اختلاط بتن به روش ACI :

طرح اختلاط بتن تا حد ممکن بایستی بر اساس تجربه یا آزمایش روی مصالح مورد استفاده باشد. هنگامی که چنین اطلاعاتی در دسترس نیست روش پیشنهادی ACI می تواند مورد استفاده قرار بگیرد. این روش یک روش محاسباتی توأم با آزمایش می باشد که در آن مقادیر لازم آب ، سیمان ، شن و ماسه جهت ساخت یک متر

مکعب بتن تخمین زده می شود. در صورت نبودن اطلاعات تجربی برای تخمین مقادیر مجهول از جداولی که بوسیله ACI ارائه شده استفاده می شود. پس از تعیین مقادیر وزنی اجزا بتن با انجام آزمایش، صحت طرح بررسی و در صورت لزوم اصلاحات مورد نیاز انجام می گیرد.

اطلاعات مورد نیاز از آزمایش های قبل :

- (1) نتایج آنالیز دانه بندی درشت دانه و ریز دانه
- (2) وزن واحد حجم توده ای درشت دانه ها در حالت متراکم (میل خورده)
- (3) چگالی و درصد رطوبت طبیعی درشت دانه و ریز دانه
- (4) چگالی سیمان.

قصد داریم طرح اختلاط نمونه ای به منظور استفاده در ستون بتنی تهیه کنیم. برای این نمونه، مقاومت نمونه مکعبی (28 روزه)، 210 kg/cm^2 و اسلامپ 8 الی 10 cm مورد نیاز است. بزرگترین بعد دانه های مصرفی 25 mm، 1" وزن مخصوص ظاهری خشک 2694 kg/m^3 می باشد دانه های درشت از نوع سنگدانه شکسته هستند. دانسیته سیمان 3140 kg/m^3 : D_C ، دانسیته ویژه ظاهری شن 2694 kg/m^3 : E_{SD} ، دانسیته ویژه ظاهری ماسه 2490 kg/m^3 : E_{SD} می باشد. دانه ها در حالت خشک شده در هوا هستند. یعنی درصد رطوبت شن و ماسه صفر است.

درصد جذب آب سنگدانه های درشت، 0.55% : SM_G و ریز دانه ها 2.08% : SM_s می باشد.

$$F_C = 21 \frac{N}{mm^2}$$

90 mm

اسلامپ

D = 25 mm

قطر بزرگترین دانه

ضریب نرمی ماسه

3/47

 $M_G : 0/0 \%$

درصد رطوبت شن

 $M_S : 0/0 \%$

درصد رطوبت ماسه

 $SM_G : 0/55 \%$

درصد جذب آب شن

 $SM_S : 2/08 \%$

درصد جذب آب ماسه

 $D_C : 3140 \frac{kg}{m^3}$

دانسیته سیمان

 $ED_G : 2694 \frac{kg}{m^3}$

دانسیته ویژه ظاهری شن

 $ES_D : 2490 \frac{kg}{m^3}$

دانسیته ویژه ظاهری ماسه

 $1597 \frac{kg}{m^3}$

دانسیته حجمی شن

مطلوبست تهیه طرح اختلاط بتن به روش ACI و تعیین اوزان شن و ماسه و سیمان و آب جهت ساخت یک نمونه آزمایشی به حجم 55 لیتر (0.055 متر مکعب).

انتخاب مقدار اسلامپ: اسلامپ طبق صورت مسئله 80-100 میلیمتر است . ما اسلامپ را 90 میلیمتر انتخاب می کنیم .

قطر بزرگترین اندازه دانه را هم 25 میلیمتر انتخاب می کنیم .

* با توجه به نوع سازه ، بارهای وارده و توصیه طراح ، مقاومت مشخصه طرح تعیین می شود:

$$F_C = 21 \frac{N}{mm^2}$$



انحراف معیار میانگین نمونه ها با درونیابی از جدول 1-18

$$\gamma = 8/7 \quad N/mm^2$$

$$F_{CM} = F_C + 8/7 = 29/7 \quad N/mm^2$$

گام اول ، تعیین نسبت وزنی آب به سیمان W_w/C :

با درونیابی از جدول 1-24 و F_{CM} داریم :

$$\rightarrow W_w/C = 0/553$$

$$F_{CM} = 29/7 \quad N/mm^2$$

گام دوم ، تعیین مقدار آب لازم :

قطر بزرگترین دانه $D = 25 \text{ mm}$

$E_{slump} = 90 \text{ mm}$ اسلامپ

با درونیابی از جدول 1-27 داریم :

درصد هوای تقریبی : $1/5 \%$ ، $W_w = 195 \text{ kg}/m^3$

گام سوم ، محاسبه مقدار سیمان لازم :

با داشتن مقدار آب از گام دوم و نسبت آب به سیمان از گام

اول مقدار سیمان را از رابطه زیر محاسبه می کنیم :

$$W_w/C = 0/553 \quad , \quad W_w = 195 \text{ kg}/m^3$$

$$\rightarrow C = 352/62 \text{ kg}/m^3$$

گام چهارم ، تخمین مقدار درشت دانه (شن) :

قطر بزرگترین دانه $D = 25 \text{ mm}$

ضریب نرمی ماسه $3/47$

با درونیابی از جدول 1-28 داریم:

$$V_{CA} = 0/62 \quad \text{حجم فضایی شن}$$

مقدار شن مصرفی = حجم فضایی شن $\times$ دانسیته حجمی شن:

$$W_G = V_{CA} * V_D = 0.62 * 1597 = 990.14 \text{ kg/m}^3$$

گام پنجم ، تعیین مقدار حجم آب ، سیمان ، شن و هوا :

$$V_W = \frac{W_W}{1000} = \frac{195}{1000} = 0/195 \text{ m}^3 \quad \text{حجم آب}$$

$$V_C = \frac{C}{D_c} = \frac{352,62}{3140} = 0/111 \text{ m}^3 \quad \text{حجم سیمان}$$

$$V_G = \frac{W_g}{ED_g} = \frac{990,14}{2694} = 0/367 \text{ m}^3 \quad \text{حجم شن}$$

$$V_a = \frac{air}{100} = \frac{1,5}{100} = 0/015 \text{ m}^3 \quad \text{حجم هوا}$$

گام ششم ، حجم فضایی قابل نفوذ شن مصرفی :

$$V_{Ga} = W_G \times \frac{SM_g}{100} \times \frac{1}{p_w} = 990/14 \times 445 / 5 \times \frac{1}{1000} \times \frac{0,55}{100} \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

گام هفتم ، محاسبه وزن ماسه V_{ts} :

$$V_{ts} = 1 - [V_W + V_C + V_G + V_a] = 1 - [0/195 + 0/111 + 0/367 + 0/015] = 0/312$$

$$V_{ts} = 0/312 \text{ m}^3$$

گام هشتم ، محاسبه وزن ماسه :

$$WS = \frac{ES_D \times V_{ts}}{1 + \frac{ES_D \times SM_s}{10^5}} = \frac{2490 \times 0,312}{1 + \frac{2490 \times 2,08}{10^5}} = 738.625$$

گام نهم ، محاسبه وزن آب ، سیمان ، شن و ماسه برای 1 متر مکعب (1000 لیتر):

$$W_C = 352/62 \text{ kg/m}^3 \quad \text{وزن سیمان}$$

سیمان

$$W_G = W_G + 0/01(M_G \times W_G) = 990.14 + 0/01(0 \times 990.14) = 990.14 \text{ kg/m}^3$$

وزن

شن

$$W_S = W_S + 0/01(M_S \times W_S) = 738.625 + 0/01(0 \times 738.625) = 738.625 \text{ kg/m}^3$$

وزن

ماسه

$$W_W = W_W + 0/01(SM_G - M_G) \times W_G + 0/01(SM_S - M_S) \times W_S =$$

$$W_W = 195 + 0/01(0/55 - 0/0) \times 990/14 + 0/01(2/08 - 0/0) \times 738.625 = 215/81$$

$$W_W = 215.81 \text{ kg/m}^3$$

وزن

آب گام دهم ، محاسبه وزن آب ، سیمان ، شن و ماسه برای 0.055 متر مکعب (55 لیتر) :

مقادیر بالا را در 0.055 ضرب می کنیم ، داریم :

$$W_C = 352/62 \times 0/055 = 19/394 \text{ kg/m}^3$$

وزن سیمان

$$W_G = 990.14 \times 0/055 = 54/458 \text{ kg/m}^3$$

وزن شن

$$W_S = 738.625 \times 0/055 = 40/62 \text{ kg/m}^3$$

وزن ماسه

$$W_W = 215/81 \times 0/055 = 11/87 \text{ kg/m}^3$$

وزن آب

آماده سازی نمونه ها :

مصلح را با توجه به طرح اختلاط وزن کرده و آماده می کنیم . ابتدا مصالح دانه درشت را در مخلوط کن ریخته و کمی آب به آنها اضافه می کنیم . سپس مصالح دانه ریز را به مخلوط کن اضافه کرده و سیمان را نیز می افزاییم . تا رسیدن به حالت خمیری ، اجازه می دهیم تا دستگاه عمل مخلوط را انجام دهد . پس از رسیدن به حالت نرمال بتنی (با تشخیص تکنسین آزمایشگاه) عمل مخلوط کردن را متوقف کرده و بتن را در ظرف حامل بتن می ریزیم و به محل قالب گیری منتقل می کنیم .

حال بتن را در قالب های روغن کاری شده می ریزیم . بدین صورت که در سه نوبت و در هر نوبت با میله ی مخصوص 25 ضربه می زنیم . در حین عمل با کوبه ی مخصوص به بدنه ی قالب ضربه می زنیم تا خمیر بتن در قالب جا بگیرد و نمونه کرمو نشود . پس از پر شدن قالب ها سطح آنها را با ماله (کمچه) مخصوص صاف کرده و قالب ها را در یک محل به مدت 24 ساعت نگه داری می کنیم .

بعد از گذشت این مدت ، قالب ها را به آرامی باز نموده و نمونه ها را در درون آب قرار می دهیم . پس هفت روز نمونه ها را از آب در آورده و سطح آنها را با پارچه خشک می کنیم . سپس ابعاد آنها را با کولیس و متر بنایی ، اندازه می گیریم .

آزمایش فشاری بتن :

این آزمایش متداول ترین آزمایشی است که در مورد کیفیت بتن ، از لحاظ مقاومت صورت می گیرد . در این آزمایش سه نمونه ی مکعبی شکل با ابعاد مشخص داریم که باید در انتها به نمونه ی استوانه ای

معادل سازی شوند . این آزمایش توسط دستگاه آزمایش فشاری (

پرس) انجام می گیرد که بار یکنواخت به نمونه وارد می شود و این عمل توسط دو فک سنگین صورت می گیرد . اساس کار این دستگاه به گونه ای است که فشار را به اندازه ای افزایش می دهد تا نمونه از هم گسیخته شود . و فشار ماکزیمم را به ما می دهد که بر حسب مگاپاسکال می باشد . این مقدار فشار (نیروی) ماکزیمم را



یاد داشت کرده و به کمک نمودار مربوط به آزمایش فشاری آن را بر حسب کیلو نیوتن به دست می آوریم .

روش آزمایش :

دو سطح از نمونه های فشاری را به کمک سنگ ساو می ساییم تا صاف شوند . سپس یکی یکی زیر دستگاه آزمایش فشاری قرار داده و فک را بسته و محکم نموده و دستگاه را به کار می اندازیم . نتایج به دست آمده تا این مرحله عبارتند از :

5 - (قرائت گیج $\times 10.154$) = بارتصحیح شده بر حسب کیلو نیوتن

شماره نمونه	طول Mm	عرض mm	ارتفاع Cm	سطح مقطع mm ²	حجم نمونه mm ³	وزن نمونه kg	نیروی P به Mpa	نیروی P به N	مقاومت فشاری N/mm ²	مقاومت معدل N/mm ²
1	149/1	146/5	153/0	218/43	3342	-----	31	309774	14.18	13.70
2	149/3	145/5	151/0	217/23	3280/2	-----	27.8	277281	12.77	13.70
3	149/2	146/8	151/5	219/02	3318/2	-----	31	309774	14.14	13.70

برای تبدیل مقاومت از N/mm² به Kg/cm² ، آن را در 10 ضرب می کنیم

شماره نمونه	طول Cm	عرض Cm	ارتفاع Cm	سطح مقطع Cm ²	حجم نمونه Cm ³	وزن نمونه kg	دانشیه وزن واحد Kg/m ³	نیروی گسیختگی kgf	مقاومت گسیختگی Kg/cm ²	مقاومت معدل Kg/cm ²
1	14/91	14/65	15/30	218/43	3342	-----	-----	-----	141.8	137
2	14/93	14/55	15/10	217/23	3280/2	-----	-----	-----	127.7	137
3	14/92	14/68	15/15	219/02	3318/2	-----	-----	-----	141.4	137

این مقاومت 7 روزه است و 56 % مقاومت حداکثر است. بنابراین مقاومت معدل حداکثر برابر 244.6 Kg/cm² بدست می آید.

طبق طرح اختلاط ما باید حداقل مقاومت برابر 210 Kg/cm² بدست آید که ما بیشتر از حداقل مقاومت بدست آوردیم.

حال باید این مقاومت نمونه مکعبی را معادل سازی کنیم. مقاومت این نمونه مکعبی به مقاومت نظیر استوانه استاندارد برابر است با:

مقاومت نظیر استوانه استاندارد = مقاومت نمونه مکعبی بخش بر Φ ، که Φ را از جدول 38 کتاب می یابیم .

داریم : $\Phi = 1.19$

$$\text{مقاومت نظیر استوانه استاندارد} = \frac{244.6}{1.19} = 205,54$$

آزمایش کشش غیر مستقیم ، موسوم به آزمایش برزیلی :

این آزمایش بر روی نمونه های استوانه ای انجام می گیرد . شرایط تهیه و نگهداری این نمونه ها عینا مانند نمونه های فشاری است .



قطر و ارتفاع نمونه را اندازه گرفته دو سطح قاعده ی نمونه را توسط دو خط عمود بر هم علامت می گذاریم . و نمونه را مطابق شکل در بین سینی های دستگاه پرس قرار می دهیم . برای تقسیم متوازن فشار از دو تیغه ی چوبی در بالا و پایین نمونه ها کمک می گیریم . دستگاه را روشن می کنیم . بار به تدریج بالا

رفته و در اثر فشار در جهت عمود بر امتداد فشار کشش ایجاد شده و نمونه گسیخته می شود . افزایش بار یکنواخت بوده و با سرعتی معادل 7 تا 14 کیلوگرم نیرو بر سانتی متر مربع در دقیقه خواهد بود . تا زمانی که نمونه گسیخته شود . در این زمان حداکثر بار وارده توسط دستگاه قرائت و ثبت می شود . حال تنش گسیختگی را از رابطه ی زیر محاسبه می کنیم .

$$F_{SP} = F_{CT} = T = \frac{2P}{\pi LD}$$

T ، تنش گسیختگی بر حسب Kgf/cm^2

P ، حداکثر بار وارده توسط دستگاه بر حسب Kgf

L ، طول نمونه بر حسب cm



D ، قطر نمونه بر حسب cm

برای نمونه مورد آزمایش داریم :

برای تبدیل نیرو از مگاپاسکال به کیلو نیوتن از تبدیل زیر استفاده می کنیم :

5 - (قرائت گیج $\times 10.154$) = بارتصحیح شده بر حسب کیلو نیوتن

$$P = (10/154 \times 9.28) - 5 = 89/299 \text{ KN} = 89299 \text{ N}$$

$$= \frac{2 \times 89299}{\pi \times 302 \times 156,2} = 1,2 \frac{\text{n}}{\text{mm}^2} = 12 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} F_{SP} = F_{CT} = T = \frac{2P}{\pi LD}$$

شماره نمونه	طول به Cm	قطر به cm	نیروی P به Mpa	تنش گسیختگی Kgf/cm ²
1	30/2	15/62	9/28	12



آزمایش خمشی بتن :

به منظور تعیین تاب کششی آن در خمش روی نمونه های منشوری صورت می گیرد .

این آزمایش بر روی نمونه های مکعب مستطیل شکل انجام می گیرد . شرایط تهیه و نگه

داری این نمونه ها عینا مانند نمونه های فشاری است . از دو سر نمونه به طول 15

سانتی متر جدا می کنیم . حال نمونه را

مطابق شکل زیر دستگاه می گذاریم و اعمال نیرو می کنیم .

شماره نمونه	طول به Cm	عرض به cm	ارتفاع به cm	نیروی P به N
1	76/25	15/60	15/70	21400



حال مقاومت کششی بتن را در خمش (مدول گسیختگی) را از فرمول زیر محاسبه می کنیم .

$$\Rightarrow F_r = \frac{PL}{bh^2} \quad F_r = \frac{MC}{I} = \frac{\frac{PL}{6} \times \frac{h}{2}}{\frac{1}{12} \times b \times h^3}$$

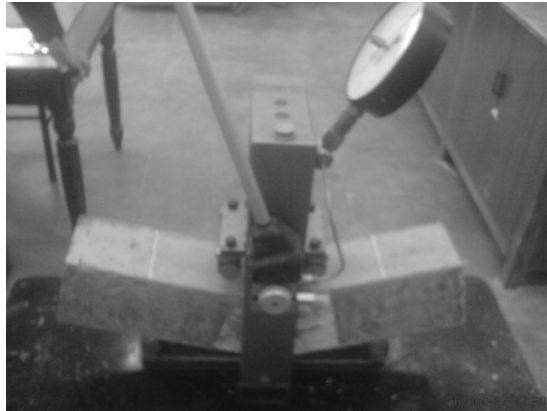
F_r ، مدول گسیختگی بر حسب N/mm^2

P ، حداکثر بار وارده توسط دستگاه بر حسب N

L ، طول فاصله دو تکیه گاه نمونه بر حسب mm

b ، عرض نمونه بر حسب mm

h ، ارتفاع نمونه بر حسب mm



تکیه گاه ها را در فواصل 15 سانتی متری از دو سر نمونه قرار می دهیم. بنابراین طول اثر این آزمایش 46/25 سانتی متر خواهد بود.

$$\Rightarrow F_r = \frac{PL}{bh^2} = \frac{21400 \times 462,5}{156 \times 157^2} = 2,57 \frac{n}{mm^2} = 25,7 \frac{kgf}{cm^2}$$

این مقدار برای نمونه 7 روزه می باشد ، که حداکثر مدول گسیختگی برابر $45/89 \frac{kgf}{cm^2}$ خواهد بود.



آزمایش تنش- کرنش :

در این آزمایش ، میزان تنش - کرنش را بدست می آوریم . طول اولیه نمونه را اندازه می گیریم. بدین صورت که فاصله بین دو کمر بند را می یابیم. این

مقدار برابر 150/3 mm می باشد. سطوح بالا و پایین نمونه استوانه ای را صاف کرده و آن را وزن نموده و مطابق شکل توسط دستگاه بسته و زیر دستگاه پرس می گذاریم و اعمال نیرو می کنیم. با اعمال نیرو تغییر طول را یادداشت نموده و ثبت می کنیم.

این تغییر طول بر حسب 0/002 mm می باشد.

تغییر طول بر حسب 0/002 mm	قرائت نیروی دستگاه
رفت برگشت	
87	3
102	12
118	25
128	39
136	56
139	85

داریم:

کرنش

برای

بنابراین

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

