T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
VAN MESLEK YÜKSEKOKULU
İNŞAAT BÖLÜMÜ
İNŞAAT TEKNOLOJİSİ PROGRAMI

BETON TASARIMI

Öğr. Gör. Selçuk USTA

Van-Mart 2020

BETON KARIŞIM HESAPLARI

Amaç: 1 m^3 yerine yerleştirilmiş beton bileşimi içerisine giren çimento, agrega, su ve kullanılacaksa katkı maddelerinin miktarlarının önceden belirlenmesidir. Hesap için iki türlü veri grubuna ihtiyaç vardır.

Bunlar;

A Grubu veriler

1. Beton üretiminde kullanılacak agregaların elek analizi (Granülometri) değerleri

2. Tüvenan agreganın elek analizi değerleri ve incelik modülü

3. Agregaların, çimentonun ve kullanılacaksa mineral katkıların birim hacim ağırlıkları

4. Üretimde kullanılacak çimentonun mukavemeti (NPÇ 325 ve KPÇ 325 için 32,5 N/mm^2)

B Grubu Veriler

1. Betonun proje mukavemetinin belirlenmesi

2. Betonun kıvamının belirlenmesi

3. Minimum çimento dozajının belirlenmesi

Betonun Proje Mukavemeti

Statik projede beton sınıfı olarak verilmektedir. Örneğin; BS20 gibi, bu şu anlamı ifade etmektedir. Yeni üretilecek betonun 28 günlük silindir basınç mukavemeti 20 N/mm^2'nin altına düşmemelidir. Bu değere karakteristik basınç dayanımı (f_{ck}) ya da, proje mukavemeti denir. Hesaplarda betonun daha yüksek mukavemetli olmasına çalışılır. Bu bağlamda, TS 500'de belirtilen beton sınıflarına göre dayanım artışları, proje mukavemetine ilave edilerek amaç mukavemeti bulunur. İlave edilen dayanım artışı Δf olarak ifade edilir. Beton sınıfına göre dayanım artışları TS 500'de şu şekilde verilmektedir.

f_{ck}: Betonun proje basınç mukavemeti (Karakteristik basınç dayanımı) (N/mm^2)

f_c: Betonun amaç (Hedef) mukavemeti (N/mm^2)

Δf: Dayanım artışı (N/mm^2)

$$\mathbf{f_c = f_{ck} + \Delta f}$$

BS 14 ve 16 için $\Delta f = 4\ N/mm^2$

BS 20 ve 25, 30 için $\Delta f = 6\ N/mm^2$

BS > 30 için $\Delta f = 8\ N/mm^2$

Örneğin; BS 20 betonu için amaç mukavemetini (f_c) bulalım.

BS 20 için proje basınç mukavemeti $f_{ck} = 20\ N/mm^2$'dir.

$f_c = f_{ck} + \Delta f$ $\quad f_c = 20 + 6$ $\quad f_c = 26\ N/mm^2$ olarak bulunur.

Beton Kıvamının Belirlenmesi

Beton kıvamı, betonun yerleştirilmesinde kullanılan çeşitli araçlar ile belirlenir. Betonun yerleştirilmesi şişleme, pompalama veya vibratör gibi yöntem ve araçlar kullanılarak yapılır. Kullanılacak araçların türüne göre beton kıvamları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Şişlenerek yerleştirmede	Plastik, akıcı
Pompalanarak yerleştirmede	Akıcı
Vibratörle yerleştirmede	Nemli toprak, plastik

Minimum Çimento Dozajının Belirlenmesi

Betonarme yapılarda minimum çimento miktarı C_{min}=300 kg/m^3 ten aşağı olamaz. Bu değer endüstri yapılarında C_{min}= 350 kg/m^3 olarak alınmaktadır.

Genel olarak minimum çimento miktarı (C_{min}), beton üretiminde kullanılacak tüvenan agregadaki maksimum agrega tane çapına bağlı olarak, aşağıdaki formül ile belirlenir.

$$C_{min} = \frac{550}{\sqrt[5]{D}}$$

D: Tüvenan agregadaki maksimum agrega tane çapı (mm)

BETON KARIŞIM DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİNDE HESAP AŞAMALARI

1. Beton üretiminde kullanılacak tüvenan agregayı oluşturan iri ve ince agregalara ait karışım hesabı yapılarak, bunlara ait malzeme karışım oranları bulunur.

2. İri ve ince agregalara ait malzeme karışım oranları dikkate alınarak, tüvenan agreganın (Karışımın) % elekten geçen değerleri belirlenir.

3. Beton üretiminde kullanılacak tüvenan agreganın incelik modülü (I_m) belirlenir. İncelik modülü için aşağıdaki formüller kullanılabilir.

$$I_m = \frac{\sum(\%\ \text{Elekte kalan})}{100} \quad \text{veya} \quad I_m = \frac{\sum(100 - \%\ \text{Elekten geçen})}{100}$$

4. Agrega cinsi ve beton kıvamı dikkate alınarak, tüvenan agregaya ait incelik modülü yardımıyla su miktarı hesaplanır. Beton kıvamı ve kullanılan malzemelere ait özellikler biliniyorsa 1 m^3 karışım için gerekli su miktarı hacim ve ağırlık cinslerinden aşağıdaki bağıntılar ile hesaplanabilir. Beton için su miktarı 160 ~ 200 litre arasında olmalıdır.

$$V_{su} = \alpha(10 - I_m) \qquad \gamma_{su} = \frac{W_{su}}{V_{su}} = 1\,\text{Kg/dm}^3 \qquad W_{su} = V_{su}\,(\text{Kg cinsinden})$$

V_{su} : Hacimce su miktarı (Litre)(dm^3) $\qquad 1\,\text{litre} = 1\text{dm}^3$

W_{su} : Ağırlıkça su miktarı (Kg)

I_m: Tüvenan agreganın (Karışım agregasının) incelik modülü

α **:** Agrega cinsi ve betonun kıvam durumuna göre belirlenen bir katsayı

Beton kıvamı ve agrega cinsine bağlı olarak α katsayısının değeri.

Beton Kıvamı	Dere kumu ve çakıl için α değeri	Dere kumu ve mıcır için α değeri	Deniz kumu ve mıcır için α değeri
Kuru	28-30	33	37
Plastik	31-33	37	40
Akıcı	36-40	43	47

5. Çimento miktarı aşağıda verilen GRAF formülü ile ağırlık cinsinden hesaplanır.

$$f_{ck} + \Delta f = \frac{f_{cc}}{K_G} x \left(\frac{W_{çimento}}{W_{su}} \right)^2 \qquad f_c = f_{ck} + \Delta f \qquad f_c = \frac{f_{cc}}{K_G} x \left(\frac{W_{çimento}}{W_{su}} \right)^2$$

f_{ck}: Betonun proje basınç mukavemeti (Karakteristik basınç dayanımı) (N/mm^2)

Δf: Dayanım artışı (N/mm^2)

f_c: Üretilecek betonun amaç (Hedef) mukavemeti (N/mm^2)

f_{cc}: Çimentonun mukavemeti (N/mm^2) (örneğin; PÇ 425 için f_{cc}=42.5 N/mm^2)

K_G: Graf katsayısı (4~10 N/mm^2 arasında değerler alır. Ortalama 5 N/mm^2 alınır)

$W_{çimento}$: Ağırlıkça çimento miktarı (Kg)

W_{su}: Ağırlıkça su miktarı (Kg)

Aşağıda verilen birim hacim ağırlık bağıntısı ile hacimce çimento miktarı belirlenir.

$$\gamma_{çimento} = \frac{W_{çimento}}{V_{çimento}} \qquad \textbf{******(Kg/dm}^3\textbf{ = gr/cm}^3\textbf{ = ton/m}^3\textbf{) ******}$$

$\gamma_{çimento}$: Çimentonun birim hacim ağırlığı (Kg/dm^3)

$V_{çimento}$: Hacimce çimento miktarı (dm^3)

6. Karışımdaki iri ve ince agrega miktarları belirlenir. Birim hacim denklemi yardımıyla karışım içerisindeki agregaların toplam hacmi (V_{agrega}) bulunur. Karışımı oluşturan iri ve ince agregaların, karışım (Tüvenan agrega) içerisindeki % değerleri kullanılarak ayrı ayrı hacimleri belirlenir. Agregaların hacimleri, birim hacim ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıkları belirlenir. Hesaplamalar $1m^3$ beton için yapılır.

$$1m^3 = 1000dm^3 \qquad V_{BETON} = V_{çimento} + V_{su} + V_{agrega} + V_{hava} = 1000dm^3$$

$$V_{agrega} = 1000dm^3 - (V_{çimento} + V_{su} + V_{hava})$$

**1 m^3 beton içerisindeki hava miktarının sıfır ya da maksimum % 1-2 olması istenir.

**Hava miktarı hacim cinsinden; $1000dm^3 x \frac{1}{100} = 10dm^3$ olarak dikkate alınır.

7. Tüvenan agregayı oluşturan iri ve ince agregaların ayrı ayrı ağırlıkları belirlenir.

$$\gamma_{agrega} = \frac{W_{agrega}}{V_{agrega}} \qquad W_{agrega} = \gamma_{agrega} \text{ x } V_{agrega}$$

γ_{agrega} : Agreganın birim hacim ağırlığı (Kg/dm^3)

W_{agrega} : Ağırlıkça agrega miktarı (Kg)

V_{agrega} : Hacimce agrega miktarı (dm^3)

8. Sonuç olarak 1m^3 beton karışımı içerisindeki su, çimento, agrega ve havanın ağırlık ve hacim olarak TEORİK miktarları belirlenmiş olur. Bu değerlerden yola çıkılarak taze betonun TEORİK BİRİM HACİM AĞIRLIĞI belirlenir.

$$\gamma_T = \frac{W_T}{V_T}$$

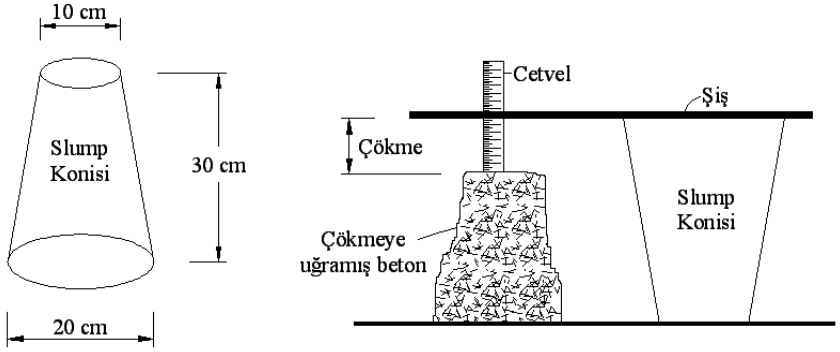
γ_T : Taze betonun teorik birim hacim ağırlığı (Kg/dm^3)

W_T : Teorik malzeme ağırlıkları toplamı(Kg)

$$W_T = W_{çimento} + W_{su} + W_{agrega} + W_{hava} \qquad W_{hava} = 0$$

V_T : Teorik malzeme hacimleri toplamı (1000 dm^3)

9. Teorik hesaplar sonunda bulunan karışım oranları esas alınarak 20-25 dm^3 (0,02-0,025 m^3) hacminde bir deneme betonu üretilir. Bu deneme betonu ile betonun hedeflenen kıvamı kontrol edilir. Beton kıvamları SLUMP (ÇÖKME) deneyi ile belirlenir. Bu deney sonucunda elde edilen çökme değeri betonun kıvamını belirleyen temel unsurdur. Slump (çökme) deneyi aşağıda şekli verilen slump konisi kullanılarak yapılır.



Teorik malzeme miktarlarından yola çıkılarak hazırlanan deneme betonu, slump konisine üç eşit tabaka halinde doldurulur. Betonun koniye doldurulması sırasında her bir tabaka 25 defa şişlenir. Koni ağzına kadar doldurulduktan sonra, betonun üst yüzeyi bir mala ile düzeltilir ve slump konisi düşey doğrultuda yavaşça yukarıya doğru çekilerek çıkarılır. Bu sırada betonda bir miktar çökme meydana gelir. Koni çökmeye uğramış betonun yanına ters olarak koyulur ve şiş koninin üzerine yatay doğrultuda yatırılarak, cetvel ile çökme ölçülür. Şiş ile beton üst yüzeyi arasındaki yükseklik farkı çökme olarak ifade edilir. Beton üst yüzeyi düzgün değilse yani farklı çökmeler varsa, her farklı çökme bölgesinden ölçüm yapılarak ortalamaları alınır.

Beton kıvamlarına göre gerekli çökme miktarları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Beton kıvamı	Çökme (cm)
Kuru (**K_1**)	0-4
Plastik (**K_2**)	5-9
Akıcı (**K_3**)	10-15
Çok akıcı (**K_4**)	≥ 16

Slump deneyinden elde edilen sonuçlara göre karışım hesaplarına farklı şekillerde devam edilir. Slump deneyinde aşağıda A ve B maddeleri ile açıklanan birbirinden farklı iki sonuç ile karşılaşılabilir. Elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlara göre karışım hesabına nasıl devam edileceği aşağıda verilmiştir.

A-)Slump deneyi sonucunda deneme betonu hedeflenen kıvamı sağlamışsa yani yeterli çökme elde edilmişse karışım hesabı aşağıdaki şekilde yapılır

Slump deneyinde kullanılan deneme betonu ile taze betonun GERÇEK BİRİM HACİM AĞIRLIĞI belirlenir. Üretilen deneme betonu, ağırlığı ve iç hacmi bilinen bir kap içerisine kabı tamamen dolduracak şekilde sıkıştırılarak yerleştirilir. Tartılarak kap ile beraber toplam ağırlığı belirlenir. Toplam ağırlıktan kap ağırlığı çıkarılarak, kabı tamamen dolduran deneme betonunun ağırlığı belirlenir. Betonun hacmi kabın iç hacmine eşit olur. Betonun ağırlığı, tamamen doldurduğu kabın hacmine bölünerek gerçek birim hacim ağırlığı belirlenir.

Elde edilen gerçek birim hacim ağırlık değeri teorik birim hacim ağırlık değerine eşit çıkmışsa $(\gamma_G = \gamma_T)$, teorik malzeme miktarları gerçek malzeme miktarlarına eşit olur. Mevcut deneme betonu kullanılarak küp ya da silindir numuneler hazırlanır. Bu numunelerin 7 ve 28 günlük basınç mukavemetleri test edilerek hedeflenen beton sınıfına ve dolayısıyla beton mukavemetine ulaşılıp ulaşılmadığı kontrol edilir.

Elde edilen gerçek birim hacim ağırlık değeri teorik birim hacim ağırlık değerine eşit değilse $(\gamma_G \neq \gamma_T)$, gerçek birim hacim ağırlığı değerinden yola çıkılarak $1m^3$ beton karışımı içerisindeki GERÇEK malzeme miktarları belirlenir. *Teorik ve gerçek durum için, taze betonun toplam ağırlığının aynı olması istenir. Her iki durumdaki ağırlıkların eşitliği yazılarak betonun gerçek hacmi ve buna bağlı olarak gerçek malzeme miktarları belirlenir.*

$$\gamma_T = \frac{W_T}{V_T} \qquad W_T = \gamma_T \text{ x } V_T \qquad \gamma_G = \frac{W_G}{V_G} \qquad W_G = \gamma_G \text{ x } V_G$$

$$W_T = W_G \qquad \gamma_T \text{ x } V_T = \gamma_G \text{ x } V_G \qquad V_G = \frac{\gamma_T \text{ x } V_T}{\gamma_G} \qquad V_T = 1000 dm^3$$

γ_G : Taze betonun gerçek birim hacim ağırlığı (Kg/dm^3)

W_G : Gerçek malzeme ağırlıkları toplamı(Kg)

V_G : Gerçek malzeme hacimleri toplamı (dm^3)

Teorik malzeme miktarları kullanılarak hazırlanan deneme betonunun hacmi, teorik hesaplamalarda dikkate alınan 1 m^3 (1000 dm^3) değil de deney sonucunda bulunan gerçek hacme eşit olur. Bu gerçek hacim değerinden yola çıkılarak 1 m^3 (1000 dm^3) beton için gerçek malzeme miktarları aşağıdaki örnekte gösterildiği gibi orantı ile belirlenir.

Örnek

Teorik malzeme miktarları aşağıdaki tabloda verilen beton için, teorik değerler kullanılarak bir deneme betonu hazırlanmıştır. Deneme betonu slump deneyine tabi tutulmuş ve yeterli çökme değeri elde edilmiştir. Aynı deneme betonu ile birim hacim ağırlık deneyi yapılmış ve taze betonun gerçek birim hacim ağırlığı 2,38 Kg/dm^3 olarak belirlenmiştir. Bu betonun gerçek hacmini ve gerçek malzeme miktarlarını belirleyiniz.

1 m^3 (1000 dm^3) beton bileşimi içine giren teorik malzeme miktarları

Malzeme	Ağırlık (Kg)	Hacim (dm^3)
Çimento	502	157
Su	208	208
Çakıl (A_1)	1200	445
Kum (A_2)	495	180
Hava	0	10
Toplam	2405	1000

$\gamma_{çimento} = 3{,}20\ \text{Kg/dm}^3$ $\gamma_{A1} = 2{,}70\ \text{Kg/dm}^3$ $\gamma_{A2} = 2{,}75\ \text{Kg/dm}^3$ $\gamma_{su} = 1{,}00\ \text{Kg/dm}^3$

Çözüm

$\gamma_T = \dfrac{W_T}{V_T}$ $\gamma_T = \dfrac{2405}{1000}$ $\gamma_T = 2{,}405\ \text{Kg/dm}^3$ $W_T = W_G$

$\gamma_T \text{ x } V_T = \gamma_G \text{ x } V_G$ $V_G = \dfrac{\gamma_T \text{ x } V_T}{\gamma_G}$ $V_G = \dfrac{2{,}405 \text{ x } 1000}{2{,}38}$ $V_G = 1010{,}50\ \text{dm}^3$

$1010{,}50\ \text{dm}^3$'de $157\ \text{dm}^3$ Çimento varsa

$\Rightarrow X = 155{,}37\ \text{dm}^3$ $V_{çimento} = 155{,}37\ \text{dm}^3$

$1000\ \text{dm}^3$'de X dm^3 Çimento vardır

$\gamma_{çimento} = \dfrac{W_{çimento}}{V_{çimento}}$ $3{,}20 = \dfrac{W_{çimento}}{155{,}37}$ $W_{çimento} = 497{,}17\ \text{Kg}$

$1010{,}50\ \text{dm}^3$'de $208\ \text{dm}^3$ Su varsa

$\Rightarrow X = 205{,}84\ \text{dm}^3$ $V_{su} = 205{,}84\ \text{dm}^3$

$1000\ \text{dm}^3$'de X dm^3 Su vardır

$\gamma_{su} = \dfrac{W_{su}}{V_{su}}$ $1{,}00 = \dfrac{W_{su}}{205{,}84}$ $W_{su} = 205{,}84\ \text{Kg}$

$1010{,}50\ \text{dm}^3$'de $445\ \text{dm}^3$ A_1 varsa

$\Rightarrow X = 440{,}38\ \text{dm}^3$ $V_{A1} = 440{,}38\ \text{dm}^3$

$1000\ \text{dm}^3$'de X dm^3 A_1 vardır

$\gamma_{A1} = \dfrac{W_{A1}}{V_{A1}}$ $2{,}70 = \dfrac{W_{A1}}{440{,}38}$ $W_{A1} = 1189{,}01\ \text{Kg}$

$1010{,}50\,dm^3$'de $180\,dm^3$ A_2 varsa

$\Rightarrow X = 178{,}13\,dm^3 \quad V_{A2} = 178{,}13\,dm^3$

$1000\,dm^3$'de X dm^3 A_2 vardır

$$\gamma_{A2} = \frac{W_{A2}}{V_{A2}} \qquad 2{,}75 = \frac{W_{A2}}{178{,}13} \qquad W_{A2} = 489{,}85\ Kg$$

1 m^3 ($1000\ dm^3$) beton bileşimi içine giren gerçek malzeme miktarları

Malzeme	Ağırlık (Kg)	Hacim (dm^3)
Çimento	497,17	155,37
Su	205,84	205,84
Çakıl (A_1)	1189,01	440,38
Kum (A_2)	489,85	178,13
Hava	0	**20,28**
Toplam	2380	1000

$$\text{Gerçek hava hacmi} = 1000 - (155{,}37 + 205{,}84 + 440{,}38 + 178{,}13) = 20{,}28\,dm^3 \cong \%2$$

Gerçek malzeme miktarlarına göre yeni bir deneme betonu hazırlanarak küp ya da silindir numuneler dökülür. Bu numunelerin 7 ve 28 günlük basınç mukavemetleri test edilerek hedeflenen beton sınıfına ve beton mukavemetine ulaşılıp ulaşılmadığı kontrol edilir.

B-)Slump deneyi sonucunda deneme betonu hedeflenen kıvamı sağlamamışsa yani yeterli çökme elde edilememişse karışım hesabı aşağıdaki şekilde yapılır

Deneme betonuna küçük miktarlarda su ilave edilerek kıvam tutturulmaya çalışılır. Ağırlığı bilinen bir kap içerisine bir miktar su koyularak tartılır ve toplam ağırlık (W_1) belirlenir. Deneme betonuna bu kaptaki sudan bir miktar dökülerek, beton karıştırılır. Betonun kıvamı kontrol edilir. Slump deneyi yapılarak çökme miktarı ölçülür. Yeterli çökme sağlanmışsa işlem burada bitirilir. Betona dökülen ilave su miktarını belirlemek için, kabın su döküldükten sonraki ağırlığı (W_2) belirlenir. İlk ağırlıktan son ağırlık çıkarılarak, yeterli çökmeyi sağlamak amacıyla betona ilave edilen su miktarı ($\Delta W_{su} = W_1 - W_2$) tespit edilir. Teorik hesapla bulunan su miktarına ($W_{su\,(TEORİK)}$), yeterli çökmeyi sağlamak için betona ilave edilen su miktarı (ΔW_{su}) eklenerek gerçek su miktarı ($W_{su\,(GERÇEK)}$) belirlenir.

$$W_{su\,(GERÇEK)} = W_{su\,(TEORİK)} + \Delta W_{su}$$

Gerçek su miktarı Graf formülünde yerine yazılarak gerçek çimento miktarı ($W_{çimento\,(GERÇEK)}$) hesaplanır. Çimentonun birim hacim ağırlığı dikkate alınarak gerçek çimento hacmi ($V_{çimento\,(GERÇEK)}$) hesaplanır.

$$f_{ck} + \Delta f = \frac{f_{cc}}{K_G} x \left(\frac{W_{çimento\,(GERÇEK)}}{W_{su\,(GERÇEK)}} \right)^2$$

Gerçek su ve gerçek çimento miktarları ağırlık ve hacim cinsinden belirlendikten sonra, gerçek agrega miktarları hacim cinsinden ($V_{agrega\,(GERÇEK)}$) hesaplanır. Agregaların birim hacim ağırlıkları ve karışım oranları dikkate alınarak, gerçek ağırlıkları ($W_{agrega\,(GERÇEK)}$) belirlenir. Hesaplamalarda hava miktarı, teorik hesapta olduğu gibi yine % 1 alınır.

$$V_{agrega\ (GERÇEK)} = 1000dm^3 - (V_{çimento\ (GERÇEK)} + V_{su\ (GERÇEK)} + V_{hava})$$

Bu işlemler sonucunda su ve çimento miktarları artırılmış, agrega miktarları ise azaltılarak yeterli çökme ve gerekli kıvam sağlanmış olur. Gerçek malzeme miktarlarına göre yeni bir deneme betonu hazırlanarak küp ya da silindir numuneler dökülür. Bu numunelerin 7 ve 28 günlük basınç mukavemetleri test edilerek hedeflenen beton sınıfına ve beton mukavemetine ulaşılıp ulaşılmadığı kontrol edilir.

BETON KARIŞIM HESAPLARI İLE İLGİLİ ÖRNEKLER

Örnek 1

Özellikleri aşağıda verilen malzemeler kullanılarak plastik (K_2) kıvamda BS 30 betonu üretilecektir. Tüvenan agrega %70 iri agrega (A_1) ve %30 ince agregadan (A_2) oluşacak şekilde hazırlanarak, granülometrik değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. Buna göre, $1m^3$ beton bileşimi için gerekli olan teorik malzeme miktarları ile betonun teorik birim hacim ağırlığını ve teorik kompositesini hesaplayınız. Ayrıca, betonun kıvamını kontrol etmek amacıyla teorik malzeme miktarları dikkate alınarak üretilecek 30 dm^3 hacmindeki bir deneme betonu için gerekli malzeme miktarlarını belirleyiniz. Hesaplamalarda hava %1 alınacaktır.

Çimento KPÇ 325 $\gamma = 3{,}08\ Kg/dm^3$

İri agrega (Kırma taş-mıcır) A_1 %70 $\gamma = 2{,}75\ Kg/dm^3$

İnce agrega (Dere kumu) A_2 %30 $\gamma = 2{,}65\ Kg/dm^3$

Tüvenan agrega granülometrik değerleri

Elek Çapı (mm)	32	16	8	4	2	1	0,50	0,25
Elekten Geçen (%)	100	76	50	42	18	9	7	2

Çözüm

İncelik modülünün hesabı

Elek Çapı (mm)	32	16	8	4	2	1	0,50	0,25
Elekte Kalan (%)	0	24	50	58	82	91	93	98

$$I_m = \frac{\sum(100 - \%\ \text{Elekten geçen})}{100} \qquad I_m = \frac{0+24+50+58+82+91+93+98}{100} \qquad I_m = 4{,}96$$

Su miktarının hesabı

Plastik kıvamlı beton, dere kumu ve mıcır için tablodan $\alpha = 37$ alınır

$$V_{su} = \alpha(10 - I_m) \qquad V_{su} = 37(10 - 4{,}96) \qquad V_{su} = 187\ \text{Litre} \qquad V_{su} = 187\ dm^3$$

$$\gamma_{su} = \frac{W_{su}}{V_{su}} = 1\ Kg/dm^3 \qquad W_{su} = V_{su}\ (\text{Kg cinsinden}) \qquad W_{su} = 187\ Kg$$

Çimento miktarının hesabı

BS 30 için $\Delta f = 6\ N/mm^2$ $f_c = f_{ck} + \Delta f$ $f_c = 30 + 6$ $f_c = 36\ N/mm^2$

Graf katsayısı 4~10 N/mm^2 arasında değerler alır. Ortalama 5 N/mm^2 alınır, $K_G = 5\ N/mm^2$

KPÇ 325 için $f_{cc} = 32,5\ N/mm^2$

$$f_c = \frac{f_{cc}}{K_G} x \left(\frac{W_{çimento}}{W_{su}} \right)^2 \qquad 36 = \frac{32,5}{5} x \left(\frac{W_{çimento}}{187} \right)^2 \qquad W_{çimento} = 440\ Kg$$

$$\gamma_{çimento} = \frac{W_{çimento}}{V_{çimento}} \qquad 3,08 = \frac{440}{V_{çimento}} \qquad V_{çimento} = 142,86\ dm^3$$

Agrega miktarlarının hesabı

$1m^3 = 1000dm^3$ $1000dm^3 = V_{çimento} + V_{su} + V_{agrega} + V_{hava}$

Hava miktarı hacim cinsinden $1000dm^3 x \frac{1}{100} = 10dm^3$ $V_{hava} = 10\ dm^3$

$V_{agrega} = 1000dm^3 - (142,86 + 187 + 10)$ $V_{agrega} = 660,14\ dm^3$ Toplam agrega hacmi

İri agrega (Kırma taş-mıcır) A_1 %70 $\gamma = 2,75\ Kg/dm^3$

İnce agrega (Dere kumu) A_2 %30 $\gamma = 2,65\ Kg/dm^3$

$V_{A1} = 660,14 \text{ x } 0,70$ $V_{A1} = 462,10\ dm^3$ $\gamma_{A1} = \frac{W_{A1}}{V_{A1}}$ $2,75 = \frac{W_{A1}}{462,10}$ $W_{A1} = 1270,78\ Kg$

$V_{A2} = 660,14 \text{ x } 0,30$ $V_{A2} = 198,04\ dm^3$ $\gamma_{A2} = \frac{W_{A2}}{V_{A2}}$ $2,65 = \frac{W_{A2}}{198,04}$ $W_{A2} = 524,81\ Kg$

1 m^3 (1000 dm^3) beton bileşimi içine giren teorik malzeme miktarları

Malzeme	Ağırlık (Kg)	Hacim (dm^3)
Çimento	440	142,86
Su	187	187
İri agrega (A_1)	1270,78	462,10
İnce agrega (A_2)	524,81	198,04
Hava	0	10
Toplam	2423	1000

$W_T = 440 + 187 + 1270,78 + 524,81 = 2423\ Kg$

$V_T = 142,86 + 187 + 462,10 + 198,04 + 10 = 1000\ dm^3$

$$\gamma_T = \frac{W_T}{V_T} \qquad \gamma_T = \frac{2423}{1000} \qquad \gamma_T = 2,423\ Kg/dm^3$$

Teorik komposite hesabı

Komposite: Doluluk oranı olarak tanımlanır. $1m^3$ beton bileşimine giren katı malzemelerin hacminin toplam hacme oranıdır.

$$K = \frac{V_{çimento} + V_{A1} + V_{A2}}{V_T} \qquad K = \frac{142,86 + 462,10 + 198,04}{1000} \qquad K = 0,80 \qquad K = \%80$$

İyi bir betonda $K \geq 0,80$ olmalıdır. Komposite düşük ise betonun mukavemeti de düşük olur.

$30\ dm^3$ hacmindeki deneme betonu içine giren teorik malzeme miktarlarının hesabı

$1\,m^3 = 1000\,dm^3 \qquad 30dm^3 = 0,030\,m^3$

Deneme betonu için gerekli olan malzeme miktarları, $1m^3$ teorik malzeme miktarları dikkate alınarak orantı ile ağırlık cinsinden hesaplanır.

$1\,m^3$ Betonda 440 Kg Çimento varsa

$\Rightarrow X = 13,20\,Kg \qquad W_{çimento} = 13,20\,Kg$

$0,03\,m^3$ Betonda X Kg Çimento vardır

$1\,m^3$ Betonda 187 Kg Su varsa

$\Rightarrow X = 5,61\,Kg \qquad W_{su} = 5,61\,Kg$

$0,03\,m^3$ Betonda X Kg Su vardır

$1\,m^3$ Betonda 1270,78 Kg İri agrega varsa

$\Rightarrow X = 38,12\,Kg \qquad W_{iri\ agrega} = 38,12\,Kg$

$0,03\,m^3$ Betonda X Kg İri agrega vardır

$1\,m^3$ Betonda 524,81 Kg İnce agrega varsa

$\Rightarrow X = 15,74\,Kg \qquad W_{ince\ agrega} = 15,74\,Kg$

$0,03\,m^3$ Betonda X Kg İnce agrega vardır

13,20 Kg çimento, 5,61 Kg su, 38,12 Kg iri agrega ve 15,74 Kg ince agrega kullanılarak bir deneme betonu üretilir. Slump deneyi yapılarak çökme ölçülür ve kıvam kontrol edilir. Hedeflenen beton kıvamı tutturulmuşsa, betonun gerçek birim hacim ağırlığı ve gerçek hacmi belirlenir. Gerçek hacim değerinden yola çıkılarak $1m^3$ beton karışımını oluşturan gerçek malzeme miktarları hesaplanır. Hedeflenen beton kıvamı tutturulamamışsa, deneme betonuna yeterli çökme sağlanana kadar su ilave edilir. İlave su miktarı, teorik su miktarına eklenerek gerçek su miktarı belirlenir. Gerçek su miktarına göre, Graf formülünden gerçek çimento miktarı hesaplanır. Hava miktarı (% 1), gerçek su ve gerçek çimento miktarları dikkate alınarak gerçek agrega miktarları belirlenir. Sonuç olarak, hedeflenen kıvamda $1m^3$ beton karışımını oluşturan gerçek malzeme miktarları belirlenmiş olur.

Örnek 2

Örnek 1'de hesaplanan teorik malzeme miktarlarına göre 30 dm^3 hacminde bir deneme betonu hazırlanarak slump (Çökme) deneyi yapılmış ve çökme değeri 7 cm olarak ölçülmüştür. Ölçülen çökme miktarının plastik kıvam (K_2) için önerilen çökme değeri sınırları (5-9 cm) arasında olduğu tespit edilmiştir. Beton kıvamının uygunluğu tespit edildikten sonra, ağırlığı ve hacmi bilinen bir kap ile birim hacim ağırlık deneyi yapılmış ve betonun gerçek birim hacim ağılığı 2,40 Kg/dm^3 olarak belirlenmiştir. Buna göre, 1m^3 beton bileşimi için gerekli olan gerçek malzeme miktarları ile betonun gerçek kompositesini hesaplayınız.

Çözüm

1 m^3 (1000 dm^3) beton bileşimi içine giren teorik malzeme miktarları

Malzeme	Ağırlık (Kg)	Hacim (dm^3)
Çimento	440	142,86
Su	200	200
İri agrega (A_1)	1270,78	462,10
İnce agrega (A_2)	524,81	198,04
Hava	0	10
Toplam	2423	1000

$$W_T = 440 + 187 + 1270{,}78 + 524{,}81 = 2423 \text{ Kg}$$
$$V_T = 142{,}86 + 187 + 462{,}10 + 198{,}04 + 10 = 1000 \text{ dm}^3$$

$$\gamma_T = \frac{W_T}{V_T} \qquad \gamma_T = \frac{2423}{1000} \qquad \gamma_T = 2{,}423 \text{ Kg/dm}^3$$

$$W_T = W_G \quad \gamma_T \text{ x } V_T = \gamma_G \text{ x } V_G \quad V_G = \frac{\gamma_T \text{ x } V_T}{\gamma_G} \quad V_G = \frac{2{,}423 \text{ x } 1000}{2{,}40} \quad V_G = 1009{,}58 \text{ dm}^3$$

$1009{,}58\ dm^3$'de $142{,}86\ dm^3$ Çimento varsa

$$\Rightarrow X = 141{,}50 \text{ dm}^3 \quad V_{\text{çimento}} = 141{,}50 \text{ dm}^3$$

$1000\ dm^3$'de X dm^3 Çimento vardır

$$\gamma = 3{,}08 \text{ Kg/dm}^3 \qquad \gamma_{\text{çimento}} = \frac{W_{\text{çimento}}}{V_{\text{çimento}}} \qquad 3{,}08 = \frac{W_{\text{çimento}}}{141{,}50} \qquad W_{\text{çimento}} = 435{,}83 \text{ Kg}$$

$1009{,}58\ dm^3$'de $187\ dm^3$ Su varsa

$$\Rightarrow X = 185{,}23 \text{ dm}^3 \quad V_{su} = 185{,}23 \text{ dm}^3$$

$1000\ dm^3$'de X dm^3 Su vardır

$$\gamma_{su} = 1{,}00 \text{ Kg/dm}^3 \qquad \gamma_{su} = \frac{W_{su}}{V_{su}} \qquad 1{,}00 = \frac{W_{su}}{185{,}23} \qquad W_{su} = 185{,}23 \text{ Kg}$$

$1009{,}58\ dm^3$'de $462{,}10\ dm^3$ A_1 varsa

$$\Rightarrow X = 457{,}72 \text{ dm}^3 \quad V_{A1} = 457{,}72 \text{ dm}^3$$

$1000\ dm^3$'de X dm^3 A_1 vardır

$\gamma = 2{,}75\ \text{Kg/dm}^3 \qquad \gamma_{A1} = \dfrac{W_{A1}}{V_{A1}} \qquad 2{,}75 = \dfrac{W_{A1}}{457{,}72} \qquad W_{A1} = 1258{,}72\ \text{Kg}$

$1009{,}58\ \text{dm}^3$'de $198{,}04\ \text{dm}^3\ A_2$ varsa

$\Rightarrow X = 196{,}16\ \text{dm}^3 \quad V_{A2} = 196{,}16\ \text{dm}^3$

$1000\ \text{dm}^3$'de $X\ \text{dm}^3\ A_2$ vardır

$\gamma = 2{,}65\ \text{Kg/dm}^3 \qquad \gamma_{A2} = \dfrac{W_{A2}}{V_{A2}} \qquad 2{,}65 = \dfrac{W_{A2}}{196{,}16} \qquad W_{A2} = 519{,}83\ \text{Kg}$

1 m^3 (1000 dm^3) beton bileşimi içine giren gerçek malzeme miktarları

Malzeme	Ağırlık (Kg)	Hacim (dm^3)
Çimento	435,84	141,50
Su	185,24	185,23
İri agrega (A_1)	1258,73	457,72
İnce agrega (A_2)	519,83	196,16
Hava	0	**19,39**
Toplam	2400	1000

Gerçek hava hacmi $= 1000 - (141{,}50 + 185{,}23 + 457{,}72 + 196{,}16) = 19{,}39\ \text{dm}^3 \cong \%2$

Gerçek komposite hesabı

$K = \dfrac{V_{\text{çimento}} + V_{A1} + V_{A2}}{V_T} \qquad K = \dfrac{141{,}50 + 457{,}72 + 196{,}16}{1000} \qquad K = 0{,}80 \qquad K = \%80$

İyi bir betonda $K \geq 0{,}80$ olmalıdır. Komposite düşük ise betonun mukavemeti de düşük olur.

Gerçek malzeme miktarlarına göre yeni bir deneme betonu hazırlanarak küp ya da silindir numuneler dökülür. Bu numunelerin 7 ve 28 günlük basınç mukavemetleri test edilerek hedeflenen beton sınıfına ve beton mukavemetine ulaşılıp ulaşılmadığı kontrol edilir.

Örnek 3

Aşağıda özellikleri verilen malzemeler kullanılarak plastik (K_2) kıvamda BS 25 betonu üretilecektir. Bu amaçla $1m^3$ beton için teorik malzeme miktarları hesaplanarak aşağıdaki tabloda verilmiştir. Teorik miktarlar dikkate alınarak üretilen 20 dm^3 hacmindeki bir deneme betonu üzerinde slump (Çökme) deneyi yapılmış ve çökme 3 cm olarak ölçülmüştür. Ölçülen çökme miktarının plastik kıvam (K_1) için önerilen çökme değeri sınırları (5-9 cm) arasında olmadığı tespit edilmiştir. Kıvamının uygun olmadığı tespit edildikten sonra, deneme betonuna 160 gram su ilave edilerek karıştırılmış ve tekrar slump deneyi yapılarak çökme değeri 6,4 cm ölçülmüştür. Yapılan bu kıvam ayarlamasını dikkate alarak $1m^3$ beton bileşimi için gerekli olan gerçek malzeme miktarlarını ve betonun gerçek kompositesini hesaplayınız.

Çimento NPÇ 325 $\gamma = 3{,}10\ \text{Kg/dm}^3$

İri agrega (Kırma taş-mıcır) A_1 %60 $\gamma = 2{,}80\ \text{Kg/dm}^3$

İnce agrega (Deniz kumu) A_2 %40 $\gamma = 2{,}72\ \text{Kg/dm}^3$

1 m^3 (1000 dm^3) beton bileşimi içine giren teorik malzeme miktarları

Malzeme	Ağırlık (Kg)	Hacim (dm^3)
Çimento	491,37	158,51
Su	225	225
İri agrega (A_1)	1018,89	363,89
İnce agrega (A_2)	659,87	242,6
Hava	0	10
Toplam	2395	1000

Çözüm

20 dm^3 hacmindeki deneme betonunun kıvamını artırmak için 160 gram su ilave edilmiştir. Bu değerden yola çıkılarak 1 m^3 (1000 dm^3) hacmindeki betona ilave edilmesi gereken su miktarı orantı ile hesaplanabilir. 160 Gr = 0,16 Kg

$20\,dm^3$ Betona 0,16 Kg su ilave edilirse

$1000\,dm^3$ Betona X Kg su ilave edilir

$$\Rightarrow X = 8\,Kg \qquad \Delta W_{su} = 8\,Kg$$

$$W_{su\,(GERÇEK)} = W_{su\,(TEORİK)} + \Delta W_{su} \qquad W_{su\,(GERÇEK)} = 225 + 8 \qquad W_{su\,(GERÇEK)} = 233\,Kg$$

$$\gamma_{su} = \frac{W_{su}}{V_{su}} = 1\,Kg/dm^3 \qquad W_{su} = V_{su}\,(Kg\ cinsinden) \qquad V_{su} = 233\,dm^3$$

Gerçek su miktarı Graf formülünde yerine yazılarak gerçek çimento miktarı ($W_{çimento\,(GERÇEK)}$) hesaplanır. Çimentonun birim hacim ağırlığı dikkate alınarak gerçek çimento hacmi ($V_{çimento\,(GERÇEK)}$) hesaplanır.

BS 25 için $\Delta f = 6\,N/mm^2$ $f_c = f_{ck} + \Delta f$ $f_c = 25 + 6$ $f_c = 31\,N/mm^2$

Graf katsayısı 4~10 N/mm^2 arasında değerler alır. Ortalama 5 N/mm^2 alınır, $K_G = 5\,N/mm^2$

NPÇ 325 için $f_{cc} = 32,5\,N/mm^2$

$$f_{ck} + \Delta f = \frac{f_{cc}}{K_G} x \left(\frac{W_{çim.\,(GER.)}}{W_{su\,(GER.)}} \right)^2 \qquad 25 + 6 = \frac{32,5}{5} x \left(\frac{W_{çim.\,(GER.)}}{233} \right)^2 \qquad (W_{çimento\,(GERÇEK)}) = 508,84\,Kg$$

$$\gamma_{çimento} = \frac{W_{çimento}}{V_{çimento}} \qquad 3,10 = \frac{508,84}{V_{çimento}} \qquad V_{çimento} = 164,14\,dm^3 \qquad (V_{çimento\,(GERÇEK)}) = 164,14\,dm^3$$

Gerçek su ve gerçek çimento miktarları ağırlık ve hacim cinsinden belirlendikten sonra, gerçek agrega miktarları hacim cinsinden ($V_{agrega\,(GERÇEK)}$) hesaplanır. Agregaların birim hacim ağırlıkları ve karışım oranları dikkate alınarak, gerçek ağırlıkları ($W_{agrega\,(GERÇEK)}$) belirlenir. Hesaplamalarda hava miktarı, teorik hesapta olduğu gibi yine % 1 alınır.

$$V_{agrega\,(GERÇEK)} = 1000dm^3 - (V_{çimento\,(GERÇEK)} + V_{su\,(GERÇEK)} + V_{hava})$$

$V_{agrega\,(GERÇEK)} = 1000 - 164{,}14 + 233 + 10 \qquad V_{agrega\,(GERÇEK)} = 592{,}86\ dm^3$

İri agrega (Kırma taş-mıcır) A_1 %60 $\gamma = 2{,}80\ Kg/dm^3$

İnce agrega (Deniz kumu) A_2 %40 $\gamma = 2{,}72\ Kg/dm^3$

$V_{A1} = 592{,}86 \text{ x } 0{,}60 \quad V_{A1} = 355{,}72\ dm^3 \quad \gamma_{A1} = \dfrac{W_{A1}}{V_{A1}} \quad 2{,}80 = \dfrac{W_{A1}}{355{,}72} \quad W_{A1} = 996{,}02\ Kg$

$V_{A2} = 592{,}86 \text{ x } 0{,}40 \quad V_{A2} = 237{,}14\ dm^3 \quad \gamma_{A2} = \dfrac{W_{A2}}{V_{A2}} \quad 2{,}72 = \dfrac{W_{A2}}{237{,}14} \quad W_{A2} = 645{,}02\ Kg$

1 m^3 (1000 dm^3) beton bileşimi içine giren gerçek malzeme miktarları

Malzeme	Ağırlık (Kg)	Hacim (dm^3)
Çimento	508,84	164,14
Su	233	233
İri agrega (A_1)	996,02	355,72
İnce agrega (A_2)	645,02	237,14
Hava	0	10
Toplam	2383	1000

1 m^3 beton için hesaplanan teorik ve gerçek malzeme miktarları karşılaştırıldığında su ve çimento miktarlarının artırıldığı, buna karşılık agrega miktarlarının azaltıldığı görülecektir. Bu şekilde betonda yeterli çökme ve gerekli kıvam sağlanmış olur.

$\gamma_G = \dfrac{W_G}{V_G} \qquad \gamma_G = \dfrac{2383}{1000} \qquad \gamma_T = 2{,}383\ Kg/dm^3$

Gerçek komposite hesabı

$K = \dfrac{V_{çimento} + V_{A1} + V_{A2}}{V_T} \qquad K = \dfrac{164{,}14 + 355{,}72 + 237{,}14}{1000} \qquad K = 0{,}76 \qquad K \cong \%80$

İyi bir betonda $K \geq 0{,}80$ olmalıdır. Komposite düşük ise betonun mukavemeti de düşük olur.

Gerçek malzeme miktarlarına göre yeni bir deneme betonu hazırlanarak küp ya da silindir numuneler dökülür. Bu numunelerin 7 ve 28 günlük basınç mukavemetleri test edilerek hedeflenen beton sınıfına ve beton mukavemetine ulaşılıp ulaşılmadığı kontrol edilir.

Örnek 4

Özellikleri aşağıda verilen malzemeler kullanılarak plastik (K_2) kıvamda BS 20 betonu üretilecektir. Hesaplamalar sonucu bulunan teorik malzeme miktarlarına göre bir deneme betonu hazırlanarak slump deneyi yapılmış ve çökme değeri 7,50 cm olarak ölçülmüştür. Çökme miktarının plastik kıvam (K_2) için önerilen çökme değeri sınırları (5-9 cm) arasında olduğu tespit edilmiştir. Beton kıvamının uygunluğu tespit edildikten sonra, ağırlığı ve hacmi bilinen bir kap ile birim hacim ağırlık deneyi yapılmış ve betonun gerçek birim hacim ağılığı 2,36 Kg/dm^3 olarak belirlenmiştir. Buna göre, 1m^3 beton bileşimi için gerekli olan teorik ve gerçek malzeme miktarları ile betonun teorik ve gerçek kompositesini hesaplayınız. Karışım agregasının granülometri eğrisinin A_{32}-C_{32} referans eğrileri arasında kalması istenmektedir. Hesaplamalarda hava %1 alınacaktır.

Çimento NPÇ 325 $\gamma = 3{,}10\ Kg/dm^3$

İri agrega (Kırma taş-mıcır) A_1 $\gamma = 2{,}80\ Kg/dm^3$

İnce agrega (Dere kumu) A_2 $\gamma = 2{,}55\ Kg/dm^3$

A_1 ve A_2 agregalarının granülometri (Elek analizi) deneyi sonuçları

Elek Çapı (mm)	A_1	A_2
	Elekte Kalan (gr)	Elekte Kalan (gr)
31,5	0	0
16	960	0
8	740	0
4	680	860
2	530	630
1	320	420
0,5	200	350
0,25	190	400
Toplama Kabı	80	40

A_{32}-C_{32} referans eğrileri için Geçen % değerleri

Elek Çapı (mm)		32	16	8	4	2	1	0,50	0,25
Geçen (%)	A_{32}	100	62	38	23	14	8	5	2
	C_{32}	100	89	77	65	53	42	29	15

<u>Çözüm</u>

A_1				
Elek Çapı (mm)	Elekte kalan (gr)	Yığ. elekte kalan (gr)	Yığ. elekten geçen (gr)	Geçen (%)
32	0	0	3700	100
16	960	960	2740	74,05
8	740	1700	2000	54,05
4	680	2380	1320	35,68
2	530	2910	790	21,35
1	320	3230	470	12,70
0,50	200	3430	270	7,30
0,25	190	3620	80	2,16
Toplama kabı	80	3700		

A_2				
Elek Çapı (mm)	Elekte kalan (gr)	Yığ. elekte kalan (gr)	Yığ. elekten geçen (gr)	Geçen (%)
32	0	0	2700	100
16	0	0	2700	100
8	0	0	2700	100
4	860	860	1840	68,15
2	630	1490	1210	44,82
1	420	1910	790	29,26
0,50	350	2260	440	16,30
0,25	400	2660	40	1,48
Toplama kabı	40	2700		

A_1, A_2 agregaları ile A_{32}, C_{32} referansları için incelik modülü hesabı

$$I_m = \frac{\sum(\%\ \text{Elekte kalan})}{100} \quad \text{veya} \quad I_m = \frac{\sum(100 - \%\ \text{Elekten geçen})}{100}$$

Elek Çapı (mm)		32	16	8	4	2	1	0,50	0,25
Geçen (%)	A_1	100	74,05	54,05	35,68	21,35	12,70	7,30	2,16
	A_2	100	100	100	68,15	44,82	29,26	16,30	1,48
	A_{32}	100	62	38	23	14	8	5	2
	C_{32}	100	89	77	65	53	42	29	15
Kalan (%)	A_1	0	25,95	45,95	64,32	78,65	87,30	92,70	97,84
	A_2	0	0	0	31,85	55,18	70,74	83,70	98,52
	A_{32}	0	38	62	77	86	92	95	98
	C_{32}	0	11	23	35	47	58	71	85

$$I_{m(A1)} = \frac{0 + 25,95 + 45,95 + 64,32 + 78,65 + 87,30 + 92,70 + 97,84}{100} \qquad I_{m(A1)} = 4,93$$

$$I_{m(A2)} = \frac{0 + 0 + 0 + 31,85 + 55,18 + 70,74 + 83,70 + 98,52}{100} \qquad I_{m(A2)} = 3,40$$

$$I_{m(A32)} = \frac{0 + 38 + 62 + 77 + 86 + 92 + 95 + 98}{100} \qquad I_{m(A32)} = 5,48$$

$$I_{m(C32)} = \frac{0 + 11 + 23 + 35 + 47 + 58 + 71 + 85}{100} \qquad I_{m(C32)} = 3,30$$

$$I_{m(karışım)} = \frac{I_{m(A32)} + I_{m(C32)}}{2} \qquad I_{m(karışım)} = \frac{5,48 + 3,30}{2} \qquad I_{m(karışım)} = 4,39$$

$A_1 + A_2 = \%100 \qquad A_1 + A_2 = 1$ **(1)**

$(I_{m(A1)} x A_1) + (I_{m(A2)} x A_2) = I_{m(karışım)} \qquad 4,93 \text{ x } A_1 + 3,40 \text{ x } A_2 = 4,39$ **(2)**

(1) ve (2) numaralı denklemlerinin ortak çözümü yapılarak A_1 ve A_2'nin oranları belirlenir.

$$\begin{aligned} A_1 + A_2 &= 1 \\ 4,93 \text{ x } A_1 + 3,40 \text{ x } A_2 &= 4,39 \end{aligned}$$

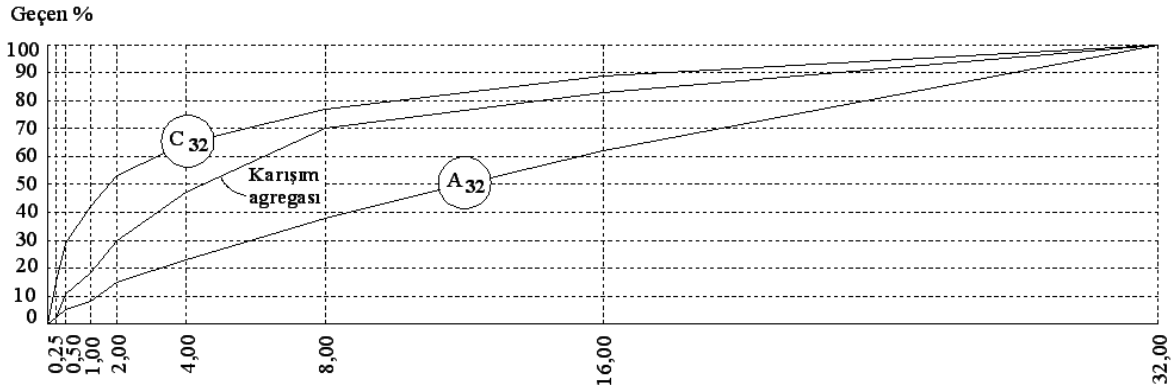
Denklem sisteminin çözümünden $A_1 = \%\ 65 \qquad A_2 = \%\ 35$

Her elek için tüvenan agreganın (Karışımın) granülometrik değerleri belirlenir.

32 mm için	$0,65 \text{ x } A_1 + 0,35 \text{ x } A_2$	$0,65 \text{ x } 100 + 0,35 \text{ x } 100$	% Geçen = %100
16 mm için	$0,65 \text{ x } A_1 + 0,35 \text{ x } A_2$	$0,65 \text{ x } 74,05 + 0,35 \text{ x } 100$	% Geçen = %83,13
8 mm için	$0,65 \text{ x } A_1 + 0,35 \text{ x } A_2$	$0,65 \text{ x } 54,05 + 0,35 \text{ x } 100$	% Geçen = %70,13
4 mm için	$0,65 \text{ x } A_1 + 0,35 \text{ x } A_2$	$0,65 \text{ x } 35,68 + 0,35 \text{ x } 68,15$	% Geçen = %47,05
2 mm için	$0,65 \text{ x } A_1 + 0,35 \text{ x } A_2$	$0,65 \text{ x } 21,35 + 0,35 \text{ x } 44,82$	% Geçen = %29,57
1 mm için	$0,65 \text{ x } A_1 + 0,35 \text{ x } A_2$	$0,65 \text{ x } 12,70 + 0,35 \text{ x } 29,26$	% Geçen = %18,50
0,50 mm için	$0,65 \text{ x } A_1 + 0,35 \text{ x } A_2$	$0,65 \text{ x } 7,30 + 0,35 \text{ x} 16,30$	% Geçen = %10,45
0,25 mm için	$0,65 \text{ x } A_1 + 0,35 \text{ x } A_2$	$0,65 \text{ x } 2,16 + 0,35 \text{ x} 1,48$	% Geçen = %1,92

Elek Çapı (mm)	32	16	8	4	2	1	0,50	0,25
Elekten Geçen (%)	100	83,13	70,13	47,05	29,57	18,50	10,45	1,92
Elekte Kalan (%)	0	16,87	29,87	52,95	70,73	81,50	89,55	98,08

Karışım agregasının granülometri eğrisi A_{32}-C_{32} referans eğrileri arasında kalmaktadır.



İncelik modülünün hesabı

$$I_{m(kar.)} = \frac{\sum(\%\ E.\ K.)}{100} \qquad I_{m(kar.)} = \frac{0+16,87+29,87+52,95+70,73+81,50+89,55+98,08}{100} = 4,39$$

Su miktarının hesabı

Plastik kıvamlı beton, dere kumu ve mıcır için tablodan $\alpha = 37$ alınır

$$V_{su} = \alpha(10 - I_m) \qquad V_{su} = 37(10 - 4,39) \qquad V_{su} = 207,57\ \text{Litre} \qquad V_{su} = 207,57\ dm^3$$

$$\gamma_{su} = \frac{W_{su}}{V_{su}} = 1\ \text{Kg/dm}^3 \qquad W_{su} = V_{su}\ (\text{Kg cinsinden}) \qquad W_{su} = 207,57\ \text{Kg}$$

Çimento miktarının hesabı

BS 20 için $\Delta f = 6\ \text{N/mm}^2$ $f_c = f_{ck} + \Delta f$ $f_c = 20 + 6$ $f_c = 26\ \text{N/mm}^2$

Graf katsayısı 4~10 N/mm^2 arasında değerler alır. Ortalama 5 N/mm^2 alınır, $K_G = 5\ \text{N/mm}^2$

NPÇ 325 için $f_{cc} = 32,5\ \text{N/mm}^2$

$$f_c = \frac{f_{cc}}{K_G} x \left(\frac{W_{çimento}}{W_{su}}\right)^2 \qquad 26 = \frac{32,5}{5} x \left(\frac{W_{çimento}}{207,57}\right)^2 \qquad W_{çimento} = 415,14\ \text{Kg}$$

$$\gamma_{çimento} = \frac{W_{çimento}}{V_{çimento}} \qquad 3,10 = \frac{415,14}{V_{çimento}} \qquad V_{çimento} = 133,92\ dm^3$$

Agrega miktarlarının hesabı

$$V_{BETON} = V_{çimento} + V_{su} + V_{agrega} + V_{hava} = 1000 dm^3 \qquad V_{hava} = 1000 dm^3 x \frac{1}{100} = 10 dm^3$$

$V_{agrega} = 1000 dm^3 - (133,92 + 207,57 + 10)$ $V_{agrega} = 648,51\, dm^3$

İri agrega (Kırma taş-mıcır) A_1 %65 $\gamma = 2,80\, Kg/dm^3$

İnce agrega (Dere kumu) A_2 %35 $\gamma = 2,55\, Kg/dm^3$

$V_{A1} = 648,51 \text{ x } 0,65$ $V_{A1} = 421,53\, dm^3$ $\gamma_{A1} = \frac{W_{A1}}{V_{A1}}$ $2,80 = \frac{W_{A1}}{421,53}$ $W_{A1} = 1180,28\, Kg$

$V_{A2} = 648,51 \text{ x } 0,35$ $V_{A2} = 226,98\, dm^3$ $\gamma_{A2} = \frac{W_{A2}}{V_{A2}}$ $2,55 = \frac{W_{A2}}{226,98}$ $W_{A2} = 578,80\, Kg$

1 m^3 (1000 dm^3) beton bileşimi içine giren teorik malzeme miktarları

Malzeme	Ağırlık (Kg)	Hacim (dm^3)
Çimento	415,14	133,92
Su	207,57	207,57
İri agrega (A_1)	1180,28	421,53
İnce agrega (A_2)	578,80	226,98
Hava	0	10
Toplam	2382	1000

$W_T = 415,14 + 207,57 + 1180,28 + 578,80 = 2382\, Kg$

$V_T = 133,92 + 207,57 + 421,53 + 226,98 + 10 = 1000\, dm^3$

$\gamma_T = \frac{W_T}{V_T}$ $\gamma_T = \frac{2382}{1000}$ $\gamma_T = 2,382\, Kg/dm^3$

<u>Teorik komposite hesabı</u>

$K = \frac{V_{çimento} + V_{A1} + V_{A2}}{V_T}$ $K = \frac{133,92 + 421,53 + 226,98}{1000}$ $K = 0,78$ $K \cong \%80$

İyi bir betonda $K \geq 0,80$ olmalıdır. Komposite düşük ise betonun mukavemeti de düşük olur.

$W_T = W_G$ $\gamma_T \text{ x } V_T = \gamma_G \text{ x } V_G$ $V_G = \frac{\gamma_T \text{ x } V_T}{\gamma_G}$ $V_G = \frac{2,382 \text{ x } 1000}{2,36}$ $V_G = 1009,32\, dm^3$

$1009,32\, dm^3$'de $133,92\, dm^3$ Çimento varsa

$\Rightarrow X = 132,68\, dm^3$ $V_{çimento} = 132,68\, dm^3$

$1000\, dm^3$'de X dm^3 Çimento vardır

$\gamma = 3,10\, Kg/dm^3$ $\gamma_{çimento} = \frac{W_{çimento}}{V_{çimento}}$ $3,10 = \frac{W_{çimento}}{132,68}$ $W_{çimento} = 411,32\, Kg$

$1009{,}32\ dm^3$'de $207{,}57\ dm^3$ Su varsa

$\Rightarrow X = 205{,}65\ dm^3 \quad V_{su} = 205{,}65\ dm^3$

$1000\ dm^3$'de X dm^3 Su vardır

$\gamma_{su} = 1{,}00\ Kg/dm^3 \qquad \gamma_{su} = \frac{W_{su}}{V_{su}} \qquad 1{,}00 = \frac{W_{su}}{205{,}65} \qquad W_{su} = 205{,}65\ Kg$

$1009{,}32\ dm^3$'de $421{,}53\ dm^3$ A_1 varsa

$\Rightarrow X = 417{,}64\ dm^3 \quad V_{A1} = 417{,}64\ dm^3$

$1000\ dm^3$'de X dm^3 A_1 vardır

$\gamma = 2{,}80\ Kg/dm^3 \qquad \gamma_{A1} = \frac{W_{A1}}{V_{A1}} \qquad 2{,}80 = \frac{W_{A1}}{417{,}64} \qquad W_{A1} = 1169{,}39\ Kg$

$1009{,}32\ dm^3$'de $226{,}98\ dm^3$ A_2 varsa

$\Rightarrow X = 224{,}88\ dm^3 \quad V_{A2} = 224{,}88\ dm^3$

$1000\ dm^3$'de X dm^3 A_2 vardır

$\gamma = 2{,}55\ Kg/dm^3 \qquad \gamma_{A2} = \frac{W_{A2}}{V_{A2}} \qquad 2{,}55 = \frac{W_{A2}}{224{,}88} \qquad W_{A2} = 573{,}45\ Kg$

1 m^3 (1000 dm^3) beton bileşimi içine giren gerçek malzeme miktarları

Malzeme	Ağırlık (Kg)	Hacim (dm^3)
Çimento	411,32	132,68
Su	205,65	205,65
İri agrega (A_1)	1169,39	417,64
İnce agrega (A_2)	573,45	224,88
Hava	0	**19,15**
Toplam	2360	1000

Gerçek hava hacmi $= 1000 - (132{,}68 + 205{,}65 + 417{,}64 + 224{,}88) = 19{,}15\ dm^3 \cong \%2$

Gerçek komposite hesabı

$$K = \frac{V_{çimento} + V_{A1} + V_{A2}}{V_T} \qquad K = \frac{132{,}68 + 417{,}64 + 224{,}88}{1000} \qquad K = 0{,}78 \qquad K \cong \%80$$

İyi bir betonda $K \geq 0{,}80$ olmalıdır. Komposite düşük ise betonun mukavemeti de düşük olur.

Gerçek malzeme miktarlarına göre yeni bir deneme betonu hazırlanarak küp ya da silindir numuneler dökülür. Bu numunelerin 7 ve 28 günlük basınç mukavemetleri test edilerek hedeflenen beton sınıfına ve beton mukavemetine ulaşılıp ulaşılmadığı kontrol edilir.