

**KIRMATAŞIN
MÜHENDİSLİK BÜYÜKLÜKLERİNİN
BETON KARIŞIM TASARIMINA ETKİLERİ
EFFECTS OF ENGINEERING PROPERTIES
OF CRUSHED COARSE AGGREGATE
ON CONCRETE MIX DESIGN**

Ergin ARIOĞLU Emre ACAR Orhan MANZAK
İ.T.Ü Maden Müh. Bölümü Yapı Maden A.Ş Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş

Adnan DONDURMACI Canan GİRGIN
Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş Yapı Merkezi İnşaat A.Ş

ÖZET

Bu çalışmada kırmataşın mühendislik büyüklükleri olan, maks. agregaya boyutu, ince agregaya inceliği, agreganın sıkıştırılmış birim ağırlığı, kırmataş veya çakıl agregasının beton karışımı üzerindeki etkileri belirli bir ayrıntı içinde ele alınmıştır. Tebliğin temel amacı, beton tasarımını üstlenen mühendise, kırmataş agregasının mühendislik büyüklüklerinin hangi yönde etkili olduğunun kantitatif şekilde belirlenmesi ve ekonomik karışım üretiminde etkili olan tüm parametrelerin arasındaki karmaşık ilişkilerin basit bir şekilde gösterilmesidir.

ABSTRACT

In this study, the effects of engineering properties of crushed coarse aggregate on concrete mix design was evaluated by several numerical examples in a considerable detail. Moreover, this study presents a tool to provide for rational and economical mix method to the engineer involved in the design.

1. GİRİŞ

Beton karışım tasarımının temel amacı verilen dayanım, işlenebilirlik ve dayanıklılık koşullarını sağlayan karışım bileşenlerinin (çimento- su - iri agreg - ince agreg) miktarlarının ekonomik şekilde belirlenmesidir. Beton teknolojisinin temel kilometre taşı olarak kabul edilen "Ferét kuralı"nın ileriye sürüldüğü yıldan (1892) bugüne değin beton karışım tasarımının rasyonelleştirilmesi konusu, çok yoğun araştırmalara konu olmuştur. Beton karışımı daha yakından incelendiğinde iki ana kavram önem kazanmaktadır :

- Basınç dayanımı = $f \left(\alpha = \frac{\text{su miktarı}}{\text{çimento miktarı}} \right)$
- İşlenebilirlik = $f(\text{çökme})$

Karışıma koyulacak su miktarı ise, en genel anlamda istenen çökme değerinin ve iri agreganın maksimum boyutunun bir fonksiyonudur. Daha açık bir deyişle betonun temel karakteristik büyüklüğü olan " α =su/çimento" oranı,

$$\alpha = f \left(\frac{\text{çökme , maks. agreg boyutu}}{\text{çimento miktarı}} \right)$$

şeklinde ifade edilebilir. Nitekim, normal beton dayanımında ($f < 40$ MPa) maksimum agreg boyutu arttıkça basınç dayanımı da artar. Dayanımın artması ($f > 40$ MPa) durumunda maksimum agreg boyutu ile dayanım arasındaki ilişki tersine çalışmakta, diğer kelimelerle iri agreganın maksimum boyutunun küçülmesi ile beton basınç dayanımının arttığı gözlenmektedir (Örneğin, yüksek dayanımlı betonlarda kullanılan iri agreganın maksimum boyutu 10 mm'nin altına inmiştir)

Bu çalışma çerçevesinde beton dayanımını ($f < 40$ MPa) esas almak suretiyle, sadece iri agreganın mühendislik büyüklüklerinin (maksimum dane boyutu, ince agreg a incelik modülü, agreganın sıkıştırılmış birim ağırlığı, kırmataş veya çakıl agregası kullanımı) beton karışım tasarımı üzerinde etkileri belirli bir ayrıntı içinde incelenmiştir.

2. MAKSİMUM AGREGA BOYUTUNUN ETKİSİ

Maksimum agreg boyutu " $D_{\text{maks.}}$ " beton karışım tasarımının temel bir büyüklüğü olup, büyük ölçüde karışım suyu miktarını " M_{su} " denetler. Çizelge-1'de $M_{\text{su}} = f$ (maksimum agreg boyutu) amprik bağıntıları topluca gösterilmiştir. Çizelge-1 ve Şekil-1 yakından incelendiğinde şu pratik sonuçlar ön plana çıkmaktadır :

- Verilen çökme değeri için karışım suyu, artan maksimum agrega boyutu ile azalmaktadır. Basınç dayanımı = $f \left(\alpha = \frac{\text{su miktarı}}{\text{çimento miktarı}} \right)$ kuralı gereğince de beton

basınç dayanımı artmaktadır. Burada tekrar vurgulanmalıdır ki, bu sonuç sadece normal beton dayanım sınıfları için geçerlidir (Örneğin, yüksek çimento dozajlarında (400-500 kg/m³) beton basınç dayanımı artan maksimum iri agrega boyutu ile azalmaktadır.)

- Verilen maksimum iri agrega boyutunda, artan çökme ile karışım suyu ihtiyacı artmaktadır.

- Maksimum iri agrega boyutu arttıkça, betonun plastik (ıslak) yoğunluğu " γ_{tb} " artmaktadır. Islak yoğunluk = Çimento miktarı (kg/m³) + su miktarı (kg/m³) + agrega miktarı (kg/m³) olduğu dikkate alındığında, artan " $D_{maks.}$ " ile " M_{su} " azalırken aynı su/çimento oranı için çimento miktarı artmakta, aynı (su/çimento) oranında ve çökme büyüklüğünde ise (agrega/çimento) oranından agrega miktarı artmakta, sonuçta ise taze (ıslak) betonun birim ağırlığı " γ_{tb} " artmaktadır. Kısaca,

$$D_{maks.} \uparrow \quad M_{su} \downarrow \quad \gamma_{tb} \uparrow$$

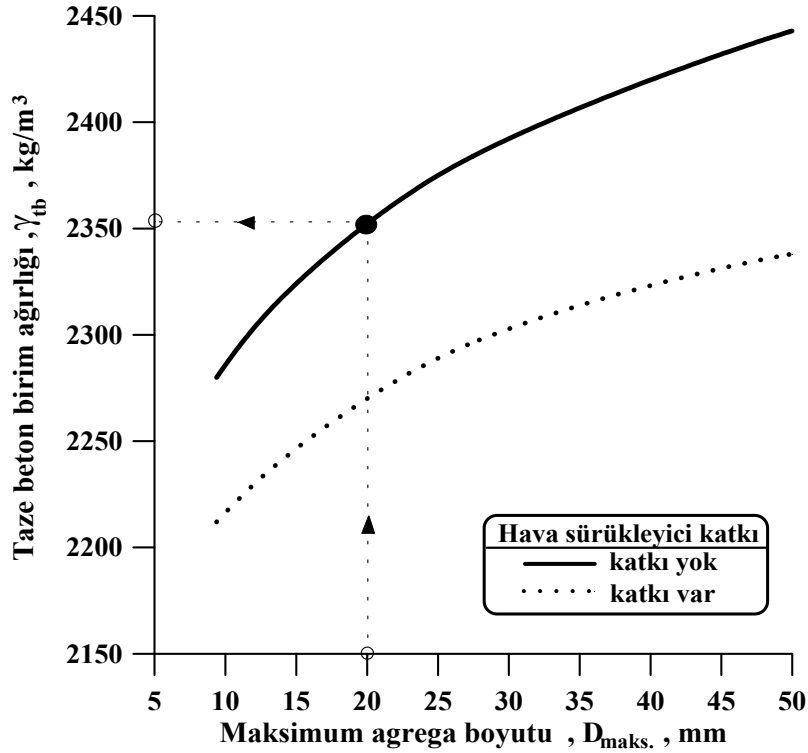
dir.

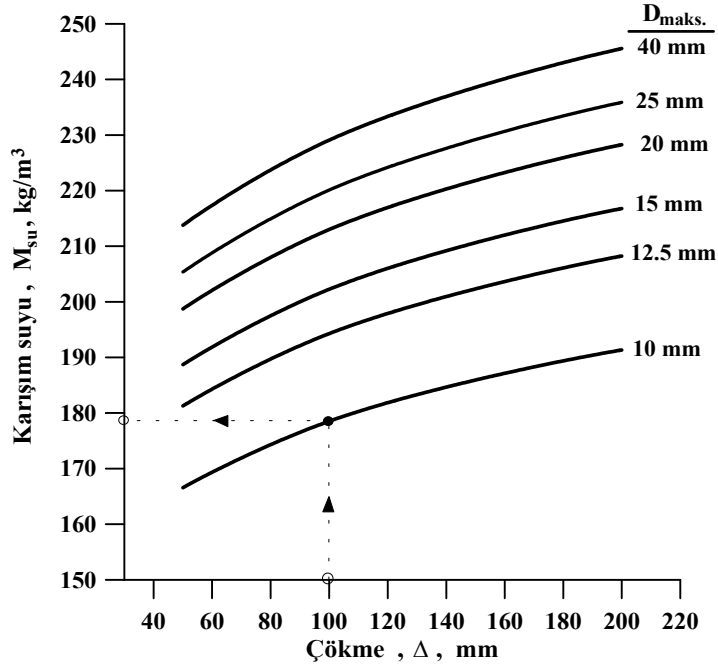
İngiltere'deki Bina Araştırma Kurumunun yayınladığı raporda karışım suyu miktarı, ACI'deki gibi, agreganın maksimum boyutu ve çökme değeri baz alınarak verilmektedir (Çizelge-2, (BRE, 1988)).

Farkedileceği gibi $M_{su} = f(\Delta, D_{maks.})$ ilişkisinde verilen çökme değeri ve agrega türü için, artan " $D_{maks.}$ " ile " M_{su} " azalmaktadır. Ayrıca, değişmeyen agrega maks. boyutu ve çökme değerinde kırmataş, çakıl kullanımına göre, yaklaşık 25 kg/m³-40 kg/m³ daha fazla su gerektirmektedir.

Çizelge-1 Çeşitli $M_{su} = f$ (Maksimum Agrega Boyutu) Ampirik Bağlıları

Kaynak	Bağıntı	Açıklamalar
Jerath,Kabbani (1983) (ACI-211.1-77)	$M_{su} = \frac{218.8 \Delta^{0.1}}{D_{maks.}^{0.18}}, \text{ kg/m}^3$ $M_{su} = \text{Karışım suyu miktarı, kg/m}^3$ $\Delta = \text{Çökme, mm}$ $D_{maks.} = \text{Maks.agrega boyutu, mm}$	Hava katkısız betonlar (15 MPa < f' < 45 MPa) $f' = \phi$ 150x300 mm silindir- 28 günlük dayanım 10 mm < $D_{maks.}$ < 150 mm
Ganju (1996)	$M_{su} = 260 - 60 \log D_{maks.}, \text{ kg/m}^3$ $D_{maks.}, \text{ mm}$	





Şekil-1 Karışım suyu miktarının "M_{su}" – çökme "Δ" – maksimum iri agrega boyutu "D_{maks.}" ile değişimleri

Çizelge-2 Beton karışımında kullanılacak yaklaşık su miktarları, kg/m³

Çökme değeri - mm		0-12	10-30	30-60	60-180
Maks. agrega boyutu (mm)	Agrega türü				
10	Kırmataş	180	205	230	250
	Çakıl	150	180	205	225
20	Kırmataş	170	190	210	225
	Çakıl	135	160	180	195
40	Kırmataş	155	175	190	205
	Çakıl	115	140	160	175

Karışım suyu miktarının "M_{su}", çökme "Δ" ve maksimum iri agrega boyutu "D_{maks.}"'nın bir fonksiyonu olduğu gözönünde tutulursa, karışım bileşenlerinin en kritik büyüklüğü olan çimento miktarı "M_ç", α= su / çimento oranı cinsinden ifade edilebilir :

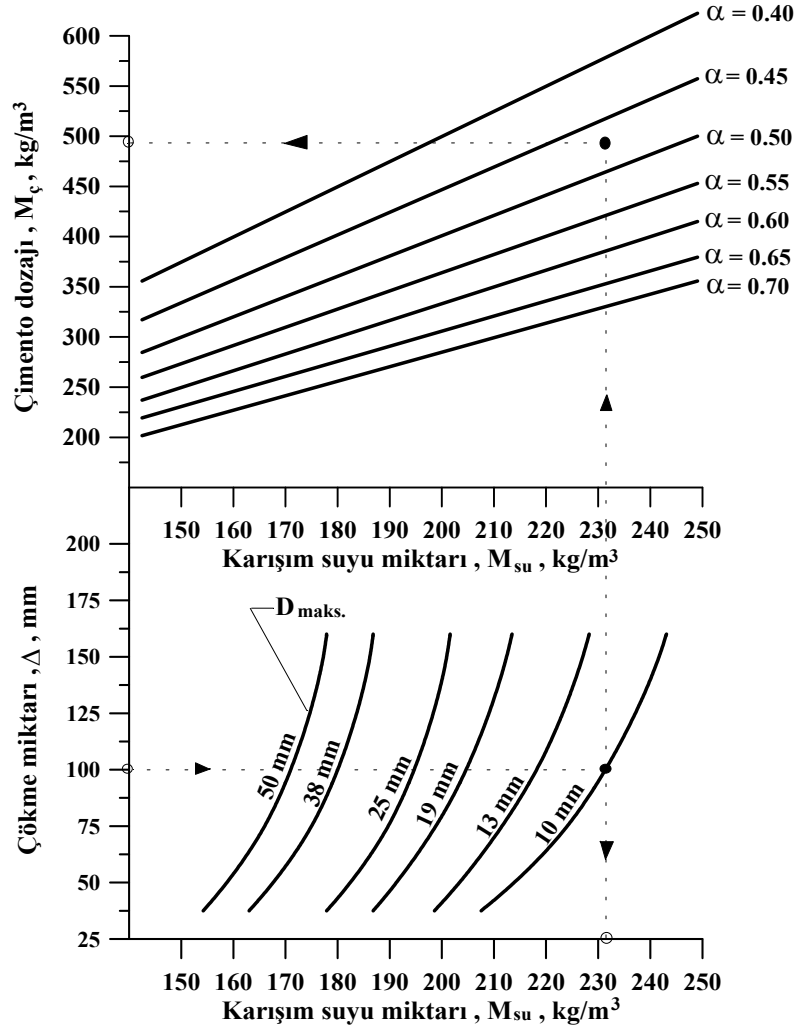
$$\text{Dayanım} = f(\alpha)$$

$$\alpha = \frac{M_{su}}{M_{\text{ç}}} \text{ -ağırlıkça}$$

$$M_{su} = f(\Delta, D_{\text{maks.}}) \text{ ilişkilerinden}$$

$$M_{\text{ç}} = f(\alpha, D_{\text{maks.}}, \Delta)$$

ilintisi oluşturulabilir. Dikkat edileceği üzere çimento dozajı " M_c " α =su/çimento oranının, iri agrega boyutunun ve çökmenin bir fonksiyonudur. ACI-211.1.91 'de önerilen değerler esas alınarak yukarıda anılan ilinti nomogram düzeninde gösterilebilir. Hava sürükleyici katkısı koyulmamış beton karışımları için geçerli olan nomogram (Şekil-2) $M_c = f(M_{su}, \alpha)$, $\Delta = f(M_{su}, D_{maks.})$ değişimlerinin bütünleştirilmesi yolu ile elde edilmiştir. Şekil-2 (Hover, 1995) kaynağından aynen alınmıştır.



Şekil-2 Çimento dozajının çökme, maksimum iri agrega boyutu, su miktarı ve su/çimento oranı değişimlerinin kestirilmesi

Şekil-2 nin bir sayısal değerlendirilmesinin burada verilmesi yararlı olacaktır.

- Proje dayanımı (28 günlük) $f'_p = 30$ MPa- ϕ 150x300 mm
- Pompalanabilir beton karışımı $\Delta = 100$ mm (Arioğlu, 1977)
- Maksimum iri agrega boyutu $D_{maks.} = 10$ mm

- Hedef dayanım $f_h = f'_p + t S = 30 + 1.64 \times 3.0 \cong 35$ MPa
- Su/çimento oranının belirlenmesi

$$f_h = \frac{10.78}{\alpha^{1.567}}, \text{ MPa}$$

$$\alpha = \left(\frac{10.78}{35} \right)^{1/1.567} = 0.471$$

t = İstatistiksel bir faktör, % 5 riskle üretim için $t=1.64$

S = Standart sapma $S=3.0$ MPa kabul edilmiştir.

- Çimento dozajının " M_c " kestirilmesi

Şekil-2 yardımıyla verilen $\Delta = 100$ mm ve $D_{maks.} = 10$ mm değerlerinden sırası ile $M_{su} \cong 230$ kg/m³ ve $M_c \cong 485$ kg/m³ olarak elde edilir ($\Delta = 100$ mm ve kırmataş $D_{maks.} = 10$ mm için Çizelge-2 den $M_{su} = 250$ kg/m³ okunmaktadır. Yaklaşımlar arasındaki %10'u geçmeyen sapmalar rahatlıkla kabul edilebilir). Nomogramın çalıştırılma şekli kesikli çizgiler ile Şekil-2 üzerinde gösterilmiştir. Aynı şekilden iri agrega boyutunun $D_{maks.} = 19$ mm'ye yükseltilmesi durumunda çimento dozajı yönünden daha ekonomik bir karışım üretilebileceği açıkça görülmektedir. Şöyle ki ;

$\Delta = 100$ mm ve $D_{maks.} = 19$ mm için

$$M_{su} \cong 205 \text{ kg/m}^3$$

bulunur. Aynı dayanım düzeyi $f_h = 35$ MPa için $\alpha = 0.471$ 'den çimento dozajı (Şekil-2)' den veya

$$M_c = \frac{M_{su}}{\alpha} = \frac{205}{0.471} = 435 \text{ kg/m}^3$$

'dir. Geçerken bir noktanın altının çizilmesi büyük bir öneme sahiptir. Ekonomik karışım koşulunu denetleyen bir parametre de üretimin kalite kontrol düzeyini ifade eden "standart sapma" değeridir. Bu değer azalması sonucunda,

$$S \searrow \quad f_h \searrow \quad \alpha \searrow \quad M_c \searrow$$

trendi gerçekleştirilecektir. Çimento dozajının azalması mikro ölçekte karışım ekonomisi sağlarken, ulusal ekonomi ölçeğinde irdelendiğinde daha az "elektrik enerjisi" tüketimi demektir.

3. KUMUN İNCELİK MODÜLÜ-İRİ AGREGANINI SIKIŞTIRILMIŞ BİRİM AĞIRLIK DEĞERLERİNİN ETKİLERİ

Verilen iri agrega boyutunda kumun incelik modülü, iri agreganın hacmini denetleyen büyüklüktür. ACI 211.1.77 Standardında önerilen büyüklüklerin çoklu regresyon analiziyle değerlendirilmesi sonucunda birim beton hacmindeki iri (kaba) agreganın hacmi V_k ,

$$V_k = \frac{0.506}{(m_i)^{0.41}} \cdot D_{maks.}^{0.2} \quad , \quad (m^3/m^3)$$

ile ifade edilebilmektedir. Kaba agreganın ağırlığı $M_{a,k}$ ise,

$$M_{a,k} = \frac{0.506}{(m_i)^{0.41}} \cdot D_{maks.}^{0.2} \cdot \gamma_{k,s} \quad (kg/m^3)$$

Burada m_i = İnce agreganın (kum) incelik modülü

$D_{maks.}$ = Kaba agreganın maksimum boyutu (mm)

$\gamma_{k,s}$ = Kaba agreganın sıkıştırılmış birim ağırlığı-kuru halde (kg/m^3).

• Yapı Maden Ocağı kırmataş agregaları için yapılan regresyon analizinde kaba agreganın gevşek birim ağırlığından " $\gamma_{k,g}$ " yararlanarak, sıkı birim ağırlık " $\gamma_{k,s}$ "

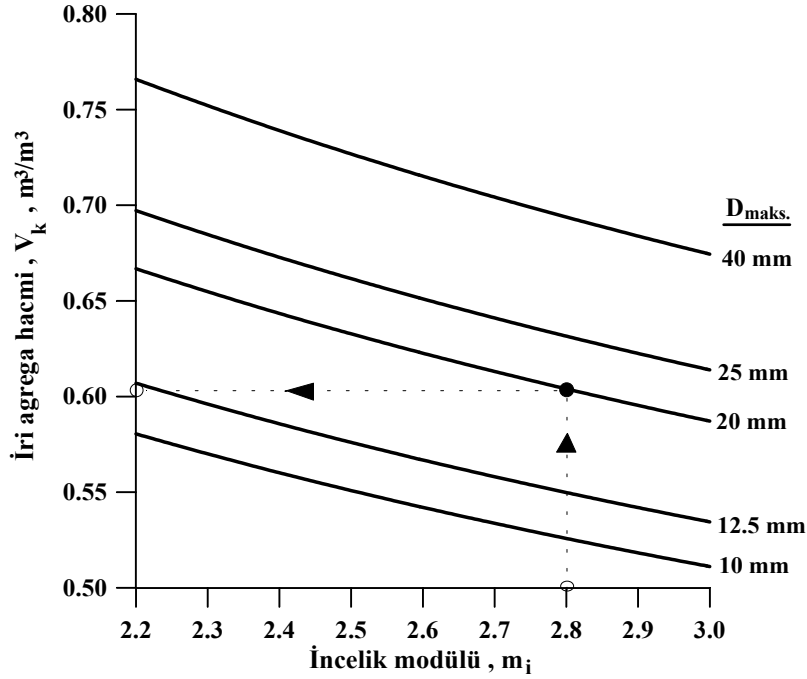
$$\gamma_{k,s} = 0.024 + 1.13 \gamma_{k,g} \quad (t/m^3)$$

bağıntısı ile tanımlanmıştır (Manzak, Dondurmacı, Köylüoğlu, Arıoğlu, 1996).

Eğer kaba agreganın ağırlığı doymuş kuru yüzey (DKY) koşulu için ifade edilmek isteniyorsa, kaba agrega ağırlığı " $M_{a,k}$ " iri agreganın su emme kapasitesi (ağırlıkça) ile çarpılmalıdır. Kaba agreganın ağırlığını ifade eden bağıntının değerlendirilmesi (Şekil-3) sonucunda şu pratik bulgular elde edilir :

• Verilen iri agrega boyutunda " $D_{maks.}$ " , artan ince agrega incelik modülü başka bir deyişle, daha iri gradasyonlu kumun kullanılması ile birim beton hacmi için iri agrega ağırlığı azalmaktadır.

• Verilen bir ince agrega incelik modülünde ise, artan iri agrega boyutu ile iri agrega ağırlığı belirgin ölçüde artmaktadır. Örneğin, $m_i=2.80$ için $D_{maks.}=10$ mm'de iri agreganın hacmi $0.51 m^3/m^3$, $D_{maks.}=20$ mm'de ise aynı büyüklük $0.60 m^3/m^3$ olmaktadır. Ağırlık cinsinden ifade edilmek istenirse, örneğin $\gamma_{k,s}=1745 kg/m^3$ değeri için sözü edilen büyüklükler sırası ile $M_{a,k}= 890 kg/m^3$ ve $M_{a,k}= 1047 kg/m^3$ olarak bulunur.



Şekil-3 İri agrega hacminin " V_k " ince agreganın incelik modülüne " m_i " göre değişimi

İri (kaba) agreganın belirlenmesi durumunda, karışımda kullanılacak ince agrega miktarı " $M_{a,i}$ " aşağıdaki genel bağıntıdan hesaplanabilir :

$$1m^3 = \frac{M_{\zeta}}{\gamma_{\zeta}} + \frac{M_{su}}{\gamma_{su}} + \frac{M_{a,k}}{\gamma_k} + \frac{M_{a,i}}{\gamma_i} + V_h$$

$$M_{a,i} = 2597 - [0.84 M_{\zeta} + 2.65 M_{su} + 0.98 M_{a,k}] \quad (\text{kg/m}^3)$$

$$M_{\zeta} = \frac{M_{su}}{\alpha} \text{ olduğu hatırlanırsa}$$

$$M_{a,i} = 2597 - \left[M_{su} \left(\frac{0.84}{\alpha} + 2.65 \right) + 0.98 M_{a,k} \right] \quad (\text{kg/m}^3)$$

Bu bağıntıda γ_{ζ} = Çimentonun yoğunluğu, $\gamma_{\zeta} = 3150 \text{ kg/m}^3$,

γ_{su} = Suyun yoğunluğu, $\gamma_{su} = 1000 \text{ kg/m}^3$, γ_k = İri (kaba) agreganın yoğunluğu,

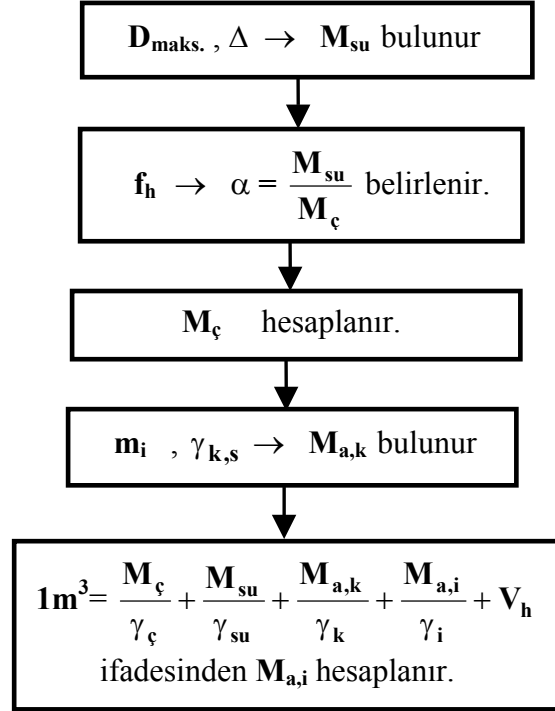
$\gamma_k = 2700 \text{ kg/m}^3$, γ_i = İnce agreganın yoğunluğu, $\gamma_i = 2650 \text{ kg/m}^3$

V_h = Hava içeriği, $V_h \cong 0.02 \text{ m}^3/\text{m}^3$ kabul edilmiştir.

Geçerken $V_h = f(D_{maks.})$ ilintisi gereğince hava içeriği maksimum iri agrega boyutuna bağlı olup, artan " $D_{maks.}$ " değeri ile hava içeriği azalmaktadır. Uygulamada yaygın kullanılan $D_{maks.} = 20 \text{ mm}$ değeri için $V_h = \% 2$ alınabilir (Hover, 1995).

Yukarıda çıkartılan ifade karışım tasarımı amacıyla kullanılabilir. Diğer bağıntılar da dikkate alınarak beton karışım tasarımının aşamaları algoritma düzeninde şu şekilde oluşturulabilir :

$D_{maks.}$, Δ , f_h , M_i ve $\gamma_{k,s}$ belirli olduğuna göre,



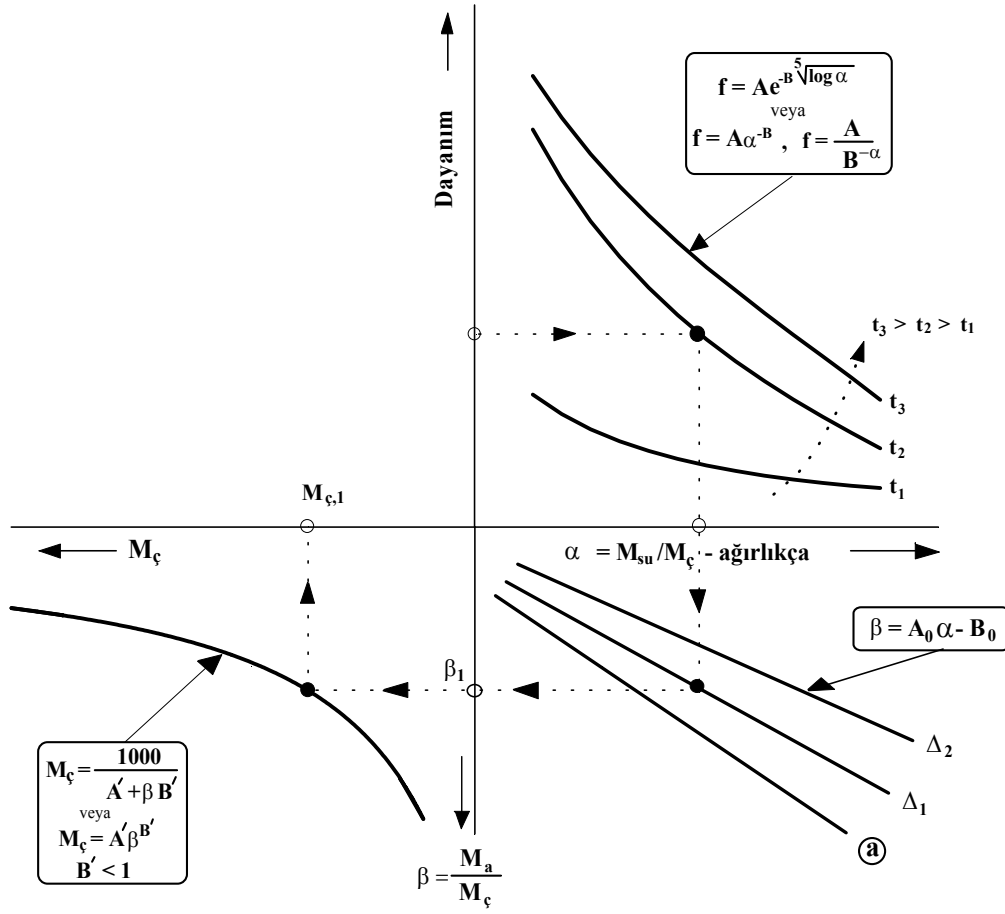
Toplam agreganın ($M_a = M_{a,i} + M_{a,k}$) çimento dozajına " $M_ç$ " oranı, beton karışım tasarımında kullanılan diğer bir karakteristik büyüklüktür. Bu oranın $\beta = \frac{M_a}{M_ç}$ beton

karışım tasarımına etkisi Şekil-4'de şematik olarak gösterilmiştir (Değiştirilerek Monteiro, Helene, 1994). Örneğin, verilen f_h , t , α , Δ değerlerinde Şekil-4'den belirli bir

$\beta = \frac{\text{Agrega miktarı}}{\text{Çimento dozajı}}$ ve " $M_ç$ " büyüklükleri elde edilmektedir. Eğer sadece " Δ " değeri

değiştirilmek isteniyorsa $\beta = \frac{M_a}{M_ç}$ 'nin değiştirilmesi gerekmektedir. Örneğin, çökmenin

" Δ " artırılması arzu ediliyorsa β_1 büyüklüğü azaltılmaktadır. Bu durumda çimento "dozajının artırılması gerekeceği keza Şekil-4'den anlaşılmaktadır.



Şekil-4 Beton karışım tasarımında temel büyüklüklerin (f , t , α , Δ , $M_{\check{c}}$) karşılıklı etkileşimleri ($\Delta_2 > \Delta_1$, (a) süperakışkanlaştırıcı ilave edilmiş karışım, t = kür süresi)

Bu çalışma rejimi karışım ekonomisi yönünden elverişli bir çözüm üretmeyebilir. Aynı dayanım ve su/çimento oranlarında süperakışkanlaştırıcı kullanmak yolu ile β değeri artırılabilir. Diğer bir anlatımla daha az çimento tüketimi ile artan çökme isteği gerçekleştirilebilir.

Toplam agrega miktarı sıkıştırılmış beton karışımının ıslak (plastik) yoğunluğunun bilinmesi durumunda şöyle belirlenebilir :

$$\gamma_{tb} = M_{\check{c}} + M_{su} + M_a$$

$$M_a = \gamma_{tb} - [M_{\check{c}} + M_{su}]$$

$$\gamma_{tb} = f(M_{su}, \gamma_a) \quad (\text{Şekil-5, BRE 1988})$$

" M_{su} " ve agrega karışımının yoğunluğu " γ_a " bilindiğine göre Şekil-5 yardımıyla sıkıştırılmış beton karışımının ıslak yoğunluğu " γ_{tb} " kolayca belirlenir ve toplam agrega miktarı " M_a " , karışım tasarımının daha önceki aşamalarında bilinen M_ζ ve M_{su} büyüklükleri dikkate alınarak yukarıda verilen formülden hesaplanabilir. İnce agreganın agrega karışımı içindeki "a" yüzdesi (ağırlıkça) ise Şekil-6'dan (BRE 1988) verilen çökme , α = su/çimento oranı ve ince agreganın 600 μ m elekten geçen miktarı için kestirilebilir. İri agreganın toplam agrega içindeki karışım yüzdesi (ağırlıkça) " b " ise $(100-a)$ 'dan elde edilir.

Şekil-5 ve 6 birlikte ele alındığında şu pratik sonuçlar göze çarpmaktadır :

- Verilen bir karışım suyu miktarında daha açık bir deyişle maksimum agrega çapında, agrega yoğunluğunun artımıyla sıkıştırılmış betonun ıslak yoğunluğu belirgin ölçüde artmaktadır.
- Verilen agrega yoğunluğunda ise artan su miktarı, diğer bir anlatımla artan çökme ve azalan maksimum agrega boyutu ile sıkıştırılmış beton karışımının yoğunluğu azalmaktadır.
- İnce agrega karışım yüzdesi hassas biçimde maks. agrega boyutu, çökme, su/çimento oranı ve ince agreganın 600 μ m elekten geçen yüzdesinin fonksiyonudur. Verilen çökme ve 600 μ m'den geçen ince agrega miktarında, ince agreganın karışım içindeki yüzdesi artan su/çimento oranı ile artmaktadır. Sabit su/çimento oranı ve 600 μ m 'den geçen ince agrega miktarı için, artan çökme ile birlikte ince agreganın karışım yüzdesi de artmaktadır.

Şekil-5 'in kullanımı için bir örnek vermek gerekirse $D_{maks.} = 20$ mm , çökme $\Delta = 100$ mm ve agrega karışımının yoğunluğu $\gamma_a \cong 2680$ kg/m³ olsun.

- Karışım suyu miktarı (Çizelge-1) ,

$$M_{su} = \frac{218.8 (100)^{0.1}}{(20)^{0.18}} = 202 \text{ kg/m}^3$$

- Beton karışımının sıkıştırılmış ıslak yoğunluğu (Şekil-5)

$$M_{su} = 202 \text{ kg/m}^3 \text{ ve } \gamma_a \cong 2680 \text{ kg/m}^3 \text{ için } \gamma_{tb} \cong 2420 \text{ kg/m}^3$$

bulunur.

İlk yaklaşım olarak $\alpha = 0.5$ kabul edilirse çimento miktarı " M_ζ " ,

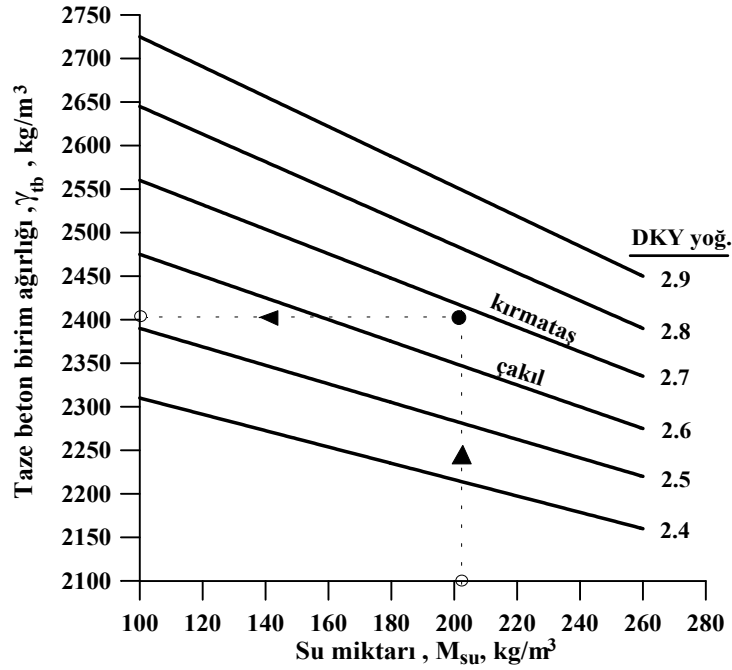
$$M_\zeta = \frac{M_{su}}{\alpha} = \frac{202}{0.5} = 404 \text{ kg/m}^3$$

olarak hesaplanır. Verilen $D_{maks.}$ ve Δ değerleri için aynı sonuç Şekil-2 den de grafik olarak elde edilebilmektedir.

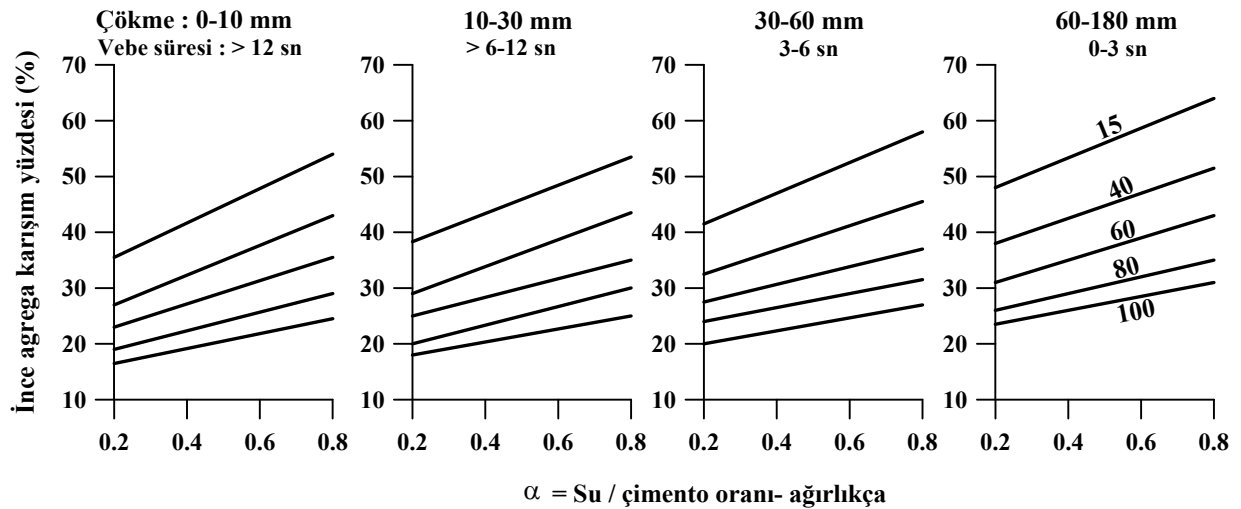
- Agrega miktarı

$$M_a = \gamma_a - (M_{\zeta} + M_{su}) = 2420 - (404 + 202) = 1814 \text{ kg/m}^3$$

olarak hesaplanır.



Şekil-5 Karışım suyu miktarı ve agrega karışımının yoğunluğuna bağlı olarak taze beton birim ağırlık değişimleri (Agrega yoğunluğu doymun kuru yüzey-DKY bazındadır)



Şekil-6 İnce agrega karışım yüzdesinin-ağırlıkça- çökme, $\alpha = \text{su/çimento oranı}$ ve 600 μm elekten geçen yüzdesine göre belirlenmesi ($D_{maks.} = 20 \text{ mm}$)

• Şekil-6 yardımıyla, $\Delta=100$ mm, $\alpha= 0.5$ ve $600 \mu\text{m}$ 'den geçen ince agreganın miktarı % 40 değerleri için ince agreganın yüzdesi $a = \% 45$ olarak belirlenir. Buna göre karışım tasarımında kullanılacak agreganın miktarları :

o İnce agreganın miktarı $0.45 \times 1814 = 816 \text{ kg/m}^3$

o Kaba agreganın miktarı $0.55 \times 1814 \cong 998 \text{ kg/m}^3$

'dir.

• Bu ön yaklaşıma göre $\beta = \frac{\text{Agreganın miktarı}}{\text{Çimento dozajı}} = \frac{1814}{404} \cong 4.5$

hesaplanır.

Sonuçlar

İri agreganın mühendislik özelliklerinin (maks. agreganın boyutu, ince agreganın inceliği, agreganın sıkıştırılmış birim ağırlığı, kırmataş veya çakıl agregasının kullanımı) karışım tasarımı üzerindeki etkilerini inceleyen ve rasyonel karışım tasarımına yönelik olarak yapılan değerlendirmeleri içeren bu çalışmadan çıkartılan ana sonuçlar aşağıda verilmiştir :

- Karışım tasarımının önemli büyüklüğü olan karışım suyu gereksinmesi hassas bir şekilde karışımın çökme miktarının yanısıra agreganın maks. boyutu ile ilintilidir (Çizelge-1), (Şekil-1,2).
- Karışıma konulacak iri agreganın miktarı keza, agreganın maks. boyutu ve ince agreganın incelik modülü ile denetlenmektedir (Şekil-3).
- Karışım tasarımında klasik yollarla belirlenen karışım miktarlarının kontrolünde kullanılacak diğer ölçülebilir büyüklük ise karışımın sıkıştırılmış ıslak yoğunluğudur. Bu büyüklük de karışım suyu miktarı ile karışım agregasının yoğunluğu ile değişmektedir. Su miktarının da maks. agreganın çapı ile değiştiği dikkate alındığında anılan büyüklüğün hassas bir biçimde agreganın temel fiziksel büyüklüklerine bağlı olduğu anlaşılmaktadır (Şekil-5,6).
- Beton karışımının ekonomikliğini kontrol eden toplam agreganın/çimento oranının büyüklüğü tasarım şablonunda mutlaka $\text{dayanım} = f(\alpha = \text{su}/\text{çimento}) - \text{ağırlıkça}$ ile bütünleştirilmelidir (Şekil-4).

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bilimsel çalışmaların yapılmasını ve yayınlanmasını teşvik eden Yapı Merkezi Holding A.Ş Yönetim Kurulu Başkanı Dr. Müh. Ersin ARIOĞLU 'na teşekkür ederler. Ayrıca yazarlar Prefabrikasyon A.Ş Genel Müdürü Sayın Y.Müh. Cezmi OVACIK ve Murahhas Aza Sayın Y.Müh.Ülkü ARIOĞLU'na ilgisinden dolayı teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

Arioğlu, E. "Yeraltında Pompalanabilir Beton Karışımının Tasarım Esasları" Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 5. Kongresi, Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 1977.

BRE "Design of Normal Concrete Mixes" Dept. of the Environment Building Research Establishment, England, 1988.

Ganju, T.N. "Spreadsheets Mix Designs" Concrete International, December 1996, pp.35-38.

Hover, K "Graphical Approach to Mixture Proportioning by ACI 211.1-91", Concrete International, September, 1995, pp. 49-53

Jerath, V., Kabbani ,S. "Computer-Aided Concrete Mix Proportioning" ACI Journal , July-August, No.4, 1983, pp.312-317.

Manzak, O., Dondurmacı, A., Köylüoğlu, Ö.S, Arioğlu, E. "Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş' de Beton Agregası Kalite Denetimi ve Değerlendirmesi" 1.Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 1996, İstanbul, pp.163-178.

Monteiro, Helene "Designing Concrete Mixtures for Desired Mechanical Properties and Durability" , edited by Kumar, M, ACI Symposium Proc. of Concrete Technology Past, Present and Future, Detroit,1994, pp.519-544.