

# Beton Karışım Tasarımında Dayanım = f (Su/Çimento Oranı) İfadelerinin Rasyonelleştirilmesi İçin Bir Deneme

## ÖZET

Bu çalışmada, beton maliyetinin en önemli unsuru olan çimentonun kullanımı için, basınç dayanımını  $f_b = f(\alpha)$  su/çimento oranının fonksiyonu  $f_b = f(\alpha)$  cinsinden belirleyen klasik yaklaşım,  $(f_b/M_c)$  oranını maksimize eden optimum çimento miktarının  $(M_c)_{opt}$  karışımında kullanılması için bu çalışmada önerilen yeni yaklaşım ile tahkik edilmiştir. Çimento miktarının optimum kullanımı hem mikro ölçekte karışım tasarımında ekonomi sağlanması, hem de makro düzeyde daha az enerji tüketimi anlamına gelmektedir.

## ABSTRACT

### A PROPOSAL for RATIONALIZATION of the RELATIONSHIPS STRENGTH = 1 (Water/Cement Ratio) in CONCRETE MIX DESIGN

In this study, a new approach has been proposed with the aim of rationalization of mix design. As it is known, cement quantity is the most important factor on mix-cost. Proposed method in this study for estimation of optimum cement quantity  $M_c$  based on maximization of  $(f_b/M_c)$  ratio has been statistically compared to classical relationships based on  $f_b = f(\alpha)$ ,  $\alpha =$  water/cement ratio. Optimum cement utilization in mix indicates less energy consumption globally as well as less mix cost.

## 1. GİRİŞ

İstenen basınç dayanım düzeyine uygun beton karışım bileşenlerinin miktar bazında belirlenmesi, beton teknolojisinin temel kilometre taşlarından biri olan Fret'den (1892) günümüze kadar önemini arttırarak korumuştur, Arıoğlu (1973), Jerath, Kabbani (1983), Postacioğlu (1984), Çavuşoğlu, Arıoğlu, Yüksel (1986), Popovics (1968, 1998), Arıoğlu (1990), Mehta ve Aitcin (1990), Arıoğlu (1991), Monteiro ve Helene (1993,1994), Bai ve Amir Khanian (1994), Arıoğlu, Odbay (1994), Hover (1995), Arıoğlu, Odbay (1995), Ganju (1996), Day (1995,1996), De Larrard, Sedran (1996), Nawy (1996), Arıoğlu E., Akkol (1997), Arıoğlu E., (1997), Arıoğlu, E., Arıoğlu, N. (1998).

Beton literatüründe, karışım tasarımının istenen dayanım düzeyi ve karışım özelliklerine göre tasarlanması amacı ile çeşitli bağıntılar tanımlanmıştır. Bu bağıntıların ortak özelliği ise,

- Deneysel verilere ve şartlarına büyük ölçüde bağımlı ampirik bağıntılar olması
- Basınç dayanımının  $f_b = f(\text{su}/\text{çimento})$  fonksiyonu cinsinden tanımlanması şeklinde özetlenebilir.

Şantiyelerde kullanılan beton hacmi ve beton maliyetini belirleyen en önemli bileşenin çimento dozajı olduğu düşünülürse, "beton karışım tasarımı"nın ekonomik açıdan da dikkatle ele alınması ve bu yönüyle karışım tasarımının iyi tariflenmesinin gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Başka bir deyişle, beton karışım tasarımı ne ölçüde rasyonelleştirilirse, beton

Prof. Dr. Müh.  
Ergin ARIOĞLU  
İTÜ Maden Mühendisliği  
Bölümü Öğretim Üyesi

Dr. Müh.  
Canan GİRGİN  
Yapı Merkezi  
AR-GE Bölümü

kalitesi ve sağlanan ekonomi de o ölçüde artacaktır. Bu bakımdan, basınç dayanımı  $f_b = f$  ( $a = \text{su}/\text{çimento}$ ) oranı cinsinden tanımlanan klasik bağıntılar ile bulunacak çimento miktarı  $M_ç$ , basınç dayanımı ile çimento miktarı ( $f_b - M_ç$ ) arasında yapılacak optimizasyon işleminden bulunan ve dayanım/çimento miktarı olarak tanımlanan "performans ölçütü"nü maksimize eden ( $f_b / M_ç$ ) maks. değeri ve bu değere

karşı gelen optimum çimento miktarı ( $M_ç$ ) opt. ile de tahkik edilmelidir (Arioğlu, Akkol, 1997). Tasarımda kullanılacak çimento miktarının yanında dayanıklılığın da istendiği durumlarda min. çimento dozajını da sağlamalıdır.

Bu çalışmada Wood (1992) kaynağındaki ( $f$  150x300 mm) silindirik numunelerin basınç dayanım testine ait ham veriler kullanılarak, karışım tasarımı-

nin en önemli unsuru olan dayanım= $f$  (su/çimento) ifadelerinin ayrıntılı istatistik değerlendirmesi yapılmış ve buradan hareketle basınç dayanımı/çimento miktarının maksimizasyonunda izlenmesi gereken yöntem tariflenmiştir. Makale çerçevesinde verilen tüm bağıntılar pratik bakımdan daha iyi anlaşılabilmenin sağlanması açısından ayrıntılı sayısal bir örnek eşliğinde sunulmuştur.

**Çizelge I Dayanımı = f (su/çimento) Regresyon Bağıntıları ve IAE Hata Yüzdeleri (Ø150x300mm)**

Kür süresi	Kaynak	Bağıntı	N	A	B	r	IAE (%)	
1 gün	I	Abrams	$f_b = \frac{A}{B^\alpha}$	50	65.163	124.451	0.938	15.6
	II	Arioğlu	$f_b = A\alpha^{-B}$	50	0.849	2.683	0.936	15.76
	III	Çalışmanın bağıntısı	$f_b = Ae^{-B\sqrt{\log \alpha}}$	50	0.00375	9.366	0.932	17.7
7 gün	I	Abrams	$f_b = \frac{A}{B^\alpha}$	70	139.284	22.980	0.951	11.56
	II	Arioğlu	$f_b = A\alpha^{-B}$	70	8.552	1.697	0.935	13.21
	III	Çalışmanın bağıntısı	$f_b = Ae^{-B\sqrt{\log \alpha}}$	70	0.218	6.235	0.952	11.26
28 gün	I	Abrams	$f_b = \frac{A}{B^\alpha}$	89	119.339	9.138	0.939	7.84
	II	Arioğlu	$f_b = A\alpha^{-B}$	89	16.924	1.181	0.916	9.14
	III	Çalışmanın bağıntısı	$f_b = Ae^{-B\sqrt{\log \alpha}}$	89	1.204	4.446	0.946	7.44
	IV	Ganju	$f_b = \frac{A}{B^{1.5\alpha}}$	89	175	8	-	12.77

$n$  = Veri sayısı,  $A, B$  = Regresyon sabitleri,  $r$  = Korelasyon katsayısı

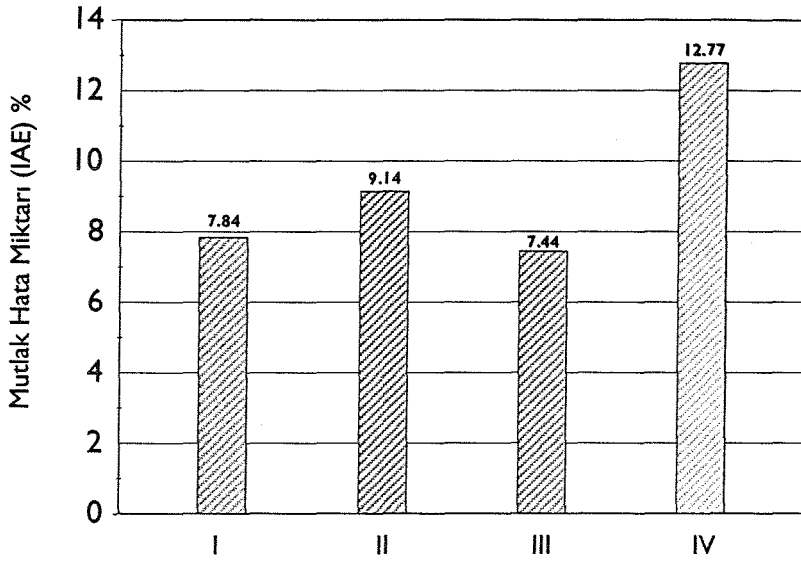
$\alpha$  = Su/çimento oranı,  $f_b$  = Basınç dayanımı [MPa]

IAE = Toplam mutlak hata miktarı (%)

$$IAE = \frac{\sum [(f_{b,i} - f_{h,i})^2]^{1/2}}{\sum f_{b,i}} \quad (i \rightarrow 1, \dots, N)$$

$f_{b,i}$  = Deney ile bulunan değer,

$f_{h,i}$  = Formülden hesaplanan tahmini değer



Şekil 1: Çizelge I de Verilen 28 Günlük Dayanım =  $f(Su/Çimento)$  Bağlılarının "Toplam Mutlak Hata" Miktarları (IAE) Açısından Karşılaştırılması

## 2. DAYANIM = $f(Su/Çimento Oranı)$ BAĞINTILARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

nımı-su/çimento oranına ( $f_b-\alpha$ ) göre yapılan regresyon analizinden elde edilen A, B regresyon sabitleri, r ko-

Portland Cement Association tarafından üretilmiş çok sayıda silindir numunenin ( $f 150 \times 300$  mm) basınç dayanım değerleri, Wood, Ş (1992), "ham veri" olarak alınmış ve bu çalışma kapsamında değerlendirmeye tabi tutulmuştur, bir veri 3 ayrı numuneye ait değerlerin ortalamasıdır. Kullanılan çok sayıda karışım tasarımına ait karakteristik büyüklüklerin değişim aralıkları aşağıda belirtilmiştir, Wood,S.(1992):

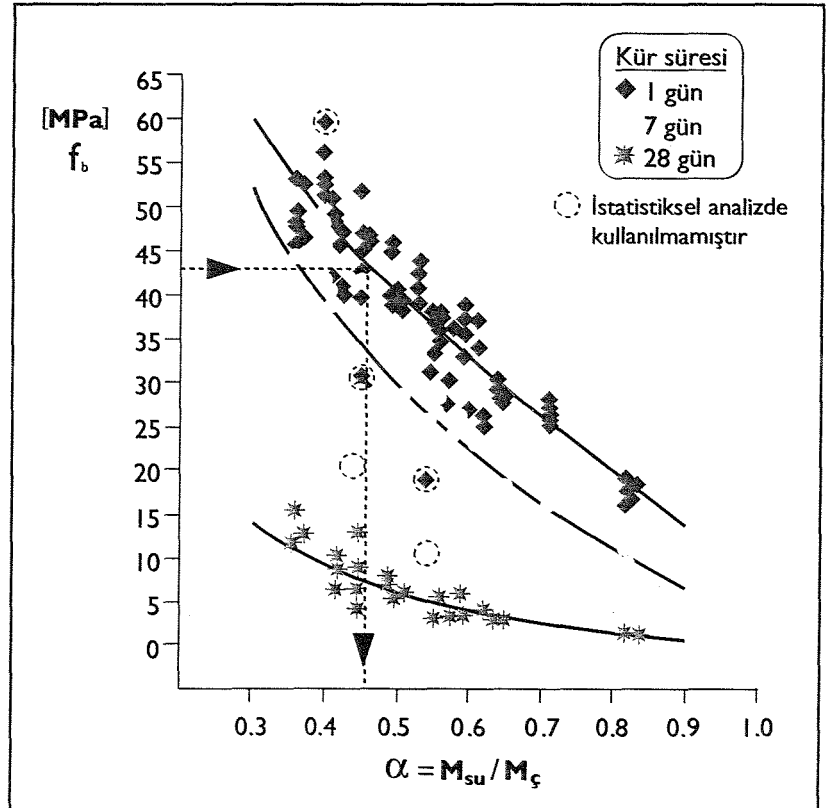
Çimento tipi: Tip I (NPÇ)  
 Su/çimento oranı ( $\alpha = M_{su}/M_c$ ):  
 0.37-0.82 (ağırlıkça)  
 Agregat/çimento oranı ( $M_a/M_c$ ):  
 3.4-11.8  
 Çimento içeriği ( $M_c$ ):  
 172.5-501.7 kg/m<sup>3</sup>  
 Dmaks.= 38.1 mm  
 Çökme (cm): 4.57-18.8 cm  
 Hava içeriği (%): 0.9-3.2

Bu çalışmada ham veriler, (I) Abrams formülü, (II) Arioğlu formülü, (III) Arioğlu, Odbay (1995) de önerilmiş bağıntı ve (IV) Abrams formülü tipindeki Ganju (1996) bağıntısı ile sınıpnanmıştır. Bu bağıntıların genel ifadeleri, 1,7 ve 28 günlük basınç daya-

relasyon katsayıları, toplam mutlak hata miktarı IAE (%) ve n veri sayısı toplu halde Çizelge 1 de, 28 günlük basınç dayanımları açısından IAE hata miktarları ise karşılaştırmalı olarak Şekil-1 de verilmiştir. Çizelge 1 ve Şekil 1 yakından incelendiğinde şu sonuçlar elde edilmektedir :

- Bağıntıların korelasyon katsayılarının yüksekliği,  $f_b = f(\alpha = su/çimento)$  ifadelerinin hangisinin kestirim kapasitesinin daha yüksek olduğunu tek başına ifade edememektedir. İla ve olarak mutlaka, IAE toplam mutlak hata miktarı değerlendirmeye dahil edilmelidir. Bu açıdan bakıldığında, 7 ve standart 28 günlük basınç dayanımı açısından (III) nolu regresyon ifadesinin diğerlerine göre daha düşük bir IAE toplam mutlak hata miktarına sahip olduğu görülmektedir.

- Kür süresi azaldıkça basınç dayanım değerlerinde artan standart sapma ve değişkenlik katsayısı nedeni ile IAE oranları bütün bağıntılarda



Şekil 2: Basınç Dayanımının ( $f_b$ ) Su/Çimento Oranına Bağlı Değişimi (Woods,1992 Kaynağındaki Ham Deney Verilerinden Yararlanmıştır)

artmaktadır.

En düşük hata yüzdesini veren (III) nolu regresyon ifadesinin 1,7 ve 28 günlük kür süresi bazında  $f_b = f(\alpha = su/\text{çimento})$  değişimi, ilgili deney verileri ile birlikte Şekil 2 de verilmiştir. Verilen dayanım düzeyi  $f_b$  için bu diyagramdan gerekli su/çimento oranı a kolaylıkla belirlenir. Şekil yakından incelendiğinde şu sonuçlar ön plana çıkmaktadır:

- Basınç dayanımı, değişen kür süresi ve değişen su/çimento oranı ile hassas şekilde ilintilidir. Örneğin, 7 ve standart 28 günlük basınç dayanımı, su/çimento oranına bağlı olarak (aynı zamanda da 1 güne kıyasla) çok dik bir eğimle değişmektedir.
- Sabit su/çimento oranı için dayanım, beklendiği gibi kür süresine bağlı olarak artmaktadır.

### 3. DAYANIM/ÇİMENTO MİKTARINI ( $f_b / M_c$ ) MAKSİMİZE EDEN ETKİN SU/ÇİMENTO ORANI ( $\alpha_e$ ) VE OPTİMUM ÇİMENTO MİKTARININ ( $M_c$ ) opt. BELİRLENMESİ

Beton karışımından beklenen en ağırlıklı işlev "dayanım" ve beton maliyetini belirleyen en önemli bileşen de "çimento dozajı" olduğuna göre "dayanım/çimento miktarı" ( $f_b / M_c$ ) olarak tanımlanan performans kriterini maksimize eden optimum çimento miktarının kullanılması karışım tasarımının "en ekonomik" şekilde yapılmasına imkan vermektedir. Bu amaçla değişik karışım tasarımları denenecek yapılan çoklu regresyon analizlerinden, dayanım/çimento miktarını maksimum yapan etkin su/çimento oranı  $\alpha_e$  (ağırlıkça) ve optimum çimento miktarı ( $M_c$ )<sub>opt.</sub> belirlenir. Buna göre basınç dayanımı-su/çimento oranı-çimento miktarı bağıntısı,

$$f_b = A_0 + A_1 \frac{M_{su}}{M_c} + A_2 M_c$$

olarak tanımlandığında, basınç dayanımı/çimento miktarı değişimi,

$$\frac{f_b}{M_c} = \frac{A_0}{M_c} + A_1 \frac{M_{su}}{M_c^2} + A_2$$

ve maksimum değere karşı gelen etkin su/çimento oranı  $\alpha_e$

$$\alpha_e = \left[ \frac{M_{su}}{M_c} \right]_e = \frac{A_0}{2A_1}$$

olarak saptanır,  $A_0, A_1, A_2$  regresyon sabitleridir.

Konuya güncel bir örnek olması bakımından, bu çalışmada Woods (1992) kaynağından seçilmiş, aynı çimento ve agrega cinsine sahip, farklı çökme ve agrega/çimento oranlarının kullanıldığı bir seriye ait 12 adet numune üzerinde yapılan çoklu regresyon analizinin sonuçları aşağıda irdelenecektir.

Serinin karakteristik büyüklükleri, Su/çimento oranı ( $\alpha = M_{su}/M_c$ ):  $\alpha = 0.37 - 0.82$

Agrega/çimento oranı ( $M_a/M_c$ ): 3.4-11.8

Çimento içeriği ( $M_c$ ): 172.5-501.7 kg/m<sup>3</sup> olarak verilmiştir.

Söz konusu seriye ait dar çökme aralıklarına göre sınıflandırılarak elde edilmiş çoklu regresyon bağıntıları Tablo 1 de verilmiştir. Basınç dayanımı/çimento miktarı ( $f_b/M_c$ ) ile çimento miktarı ( $M_c$ ) arasındaki deneysel ve regresyon ile bulunan değişimler Şekil 3 de gösterilmiştir. Tablo 1 ve Şekil 3 de verilen  $f_b/M_c - M_c$  karakteristik eğrileri yakından incelendiğinde şu pratik sonuçlar elde edilmektedir:

- Verilen dar çökme aralığında  $f_b/M_c = f(M_c)$  karakteristik eğrisini maksimize eden optimum bir çimento dozajı ( $M_c$ )<sub>opt.</sub> mevcuttur. Daha açık bir anlatımla, çimento dozajı ( $M_c$ ) optimum değere ( $M_c$ )<sub>opt.</sub> ulaşana dek  $f_b/M_c$  performans kriteri sürekli

olarak artmaktadır. Maksimum noktadan sonra ise karışımda çimento dozajını arttırmanın fiziksel bir anlamının olmadığı "gayri ekonomik" bölge başlamaktadır. Dolayısı ile optimum çimento miktarı ( $M_c$ )<sub>opt.</sub> büyüklüğü karışımda ekonomik tasarımın sağlanması açısından temel bir büyüklük olmaktadır. Bu büyüklük kuşkusuz çeşitli standartlarda vaaz edilen dayanıklılık açısından gerekli min. çimento dozajı ile de tahkik edilmelidir. Min. çimento dozajı açısından yapılan bu tahkikte bir problem yoksa karışım tasarımı aşamasında doğrudan doğruya optimum çimento dozajı ( $M_c$ )<sub>opt.</sub> alınır. ( $M_c$ )

- $f_b/M_c = f(M_c)$  karakteristik eğrisinin "sol" kanadının "çökme aralığına" bağlı, "sağ" kanadının ise çökme aralığından bağımsız olması ilginçtir  $f_b/M_c$  performans kriterini maksimize eden optimum çimento dozajı ( $M_c$ )<sub>opt.</sub> artan çökme değerlerinin bir fonksiyonudur. Şöyle ki çökme değerleri (veya burada olduğu gibi dar çökme aralığı) arttıkça ( $M_c$ )<sub>opt.</sub> da artmaktadır. Diğer bir anlatımla, çökme değeri azaldıkça ( $f_b/M_c$ )<sub>maks.</sub> performans kriteri daha düşük çimento düzeyinde elde edilmektedir. Aynı  $\alpha = M_{su}/M_c$  oranı (ağırlıkça) ve farklı çökme değerlerine sahip optimum noktaların değişim zarfı da Şekil 3 de tanımlanmıştır.

- Bu serinin sonuçlarına göre dayanım/çimento miktarını maksimize eden çimento miktarı 270-320 kg/m<sup>3</sup> aralığında değişmektedir (Arioğlu, Akkol (1997) kaynağında da farklı agrega türleri ve basınç dayanımı için benzer inceleme yapılmış,  $\Delta = 30-75$  mm aralığında değişen çökme değerleri için agrega cinsine bağlı olarak biraz değişmekle birlikte  $M_c > 300$

Tablo 1: Basınç Dayanımı - Çimento Miktarı - Etkin Su / Çimento Oranı Arasında Çıkarılan Regresyon İfadeleri

Çökme	$f_b = A_0 + A_1 \frac{M_{su}}{M_c} + A_2 M_c$	Korel. kats.	Veri sayısı	$\alpha_e = \left[ \frac{M_{su}}{M_c} \right]_e$	$D_{maks.}$	
mm	$A_0$	$A_1$	$A_2$	$-A_0/A_1$	mm	
46-68	79.306	-74.379	-0.0143	0.999	4	0.533
94-142	72.157	-65.35	-0.0062	0.998	4	0.552
157-188	87.610	-79.782	-0.0267	0.996	4	0.55

350 kg/m<sup>3</sup> den daha fazla çimento miktarı kullanımının basınç dayanımı/çimento miktarını artırma yönünden fiziksel bir anlamının sözkonusu olmadığı sonucuna varılmıştır.

man içerisinde dayanıklılık önemlidir. Pompalanabilir beton için çökme miktarı  $\Delta = 100$  mm ve maksimum agrega çapı  $D_{maks} = 20$  mm olarak alınacaktır. Bu verilerin ışığında % 95

bir yaklaşım ile,

$$M_{su} = \frac{218.8 \cdot \alpha^{0.1}}{D_{maks}^{0.18}} \quad (\text{Jerath, Kabbani,1983})$$

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

elde edilir. Buna göre su ihtiyacı için ilk yaklaşım olarak,

$$M_{su} = (182 + 202)/2 = 192 \text{ kg/m}^3$$

alınabilir.

• Su/çimento oranının  $\alpha$  hesabında,

$$f_b = f_c = f \left( \alpha = \frac{M_{su}}{M_c} \right)$$

$f_b$  değerine karşı gelen  $\alpha$  değeri, karışım tasarımını yapan her mühendisin kendi karışım verilerine göre elde ettiği,  $f_b = f(\alpha = \text{su}/\text{çimento})$  tasarım nomogramından alınır. Bu çalışmada Woods (1992) kaynağıdaki verilere göre elde edilmiş  $f_b - \alpha$  ilintisi örneklenmiştir. Buna göre (Şekil 2),

$$f_b = 47 \text{ MPa} \rightarrow \alpha = \frac{M_{su}}{M_c} = 0.415$$

çimento miktarı  $M_c$ ,

$$M_c = M_{su} / \alpha = 192 / 0.415 = 462.65 \text{ kg/m}^3$$

olarak elde edilir. Dayanıklılık bakımından bir problem olması durumunda kullanılması gerekli min.çimento miktarı

$$M_{c,min} = \frac{700}{\sqrt[5]{D_{maks}}} \quad (\text{Greux,1983})$$

$$M_{c,min} = \frac{700}{\sqrt[5]{20}} = 384.5 \text{ kg/m}^3 < 462.65 \text{ kg/m}^3$$

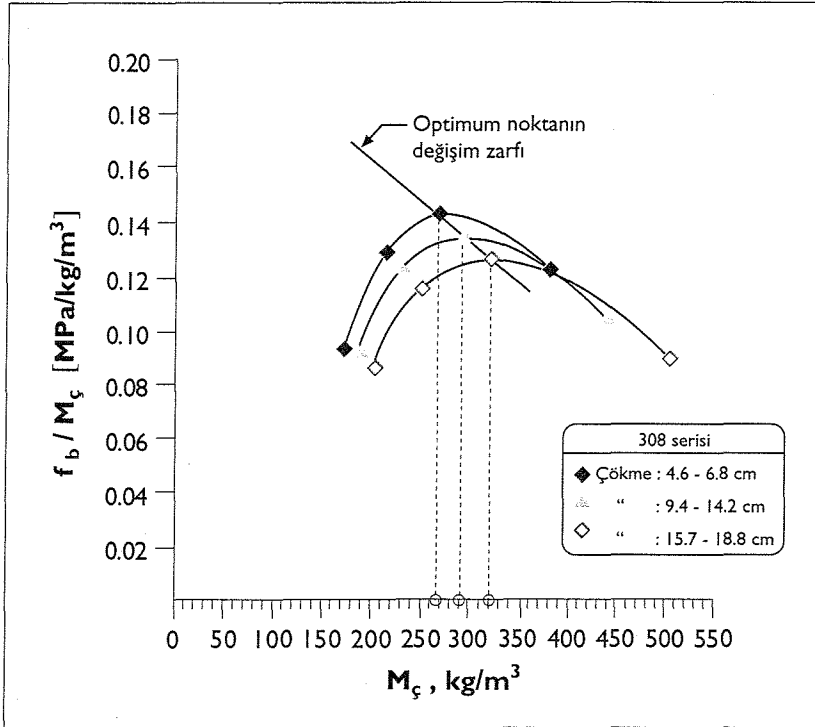
dir, dayanıklılık açısından herhangi bir problem söz konusu değildir.

• Bulunan çimento miktarı "dayanım/çimento miktarı" nı maksimize eden optimum çimento miktarı ile tahkik edilmelidir. Bunun için ilk yaklaşım olarak, ( $A_0 \cong 2A_1$ ) kabul edilerek etkin su/çimento oranı  $\alpha_e$ ,

$$\alpha_e = \left[ \frac{M_{su}}{M_c} \right]_e = \frac{A_0}{2A_1}$$

$\alpha_e \cong 0.5$  alınabilir.

Bu durumda dayanım/çimento miktarını maksimize eden optimum çimento miktarı ( $M_c$ )<sub>opt.</sub> başlangıç olarak



Şekil 3: Dayanımı / Çimento Miktarının Oranının Çimento, Su/Çimento ve Çökme Miktarına Bağlı Değişimi (Woods(1992) deki 308 nolu Serie Ait Ham Verilere Göre Bulunmuştur)

Geçerken, dayanımın yanında "dayanıklılığın" da ön plana çıktığı durumlarda, örneğin deniz yapılarının projelendirilmesinde, karışımındaki çimento miktarı, su/çimento oranı ve çimento içindeki C3S + C3A karmaşık bileşen yüzdelерinin de ön tasarım aşamasında bu açıdan dikkatlice tahkik edilmesi gerekmektedir.

#### 4. SAYISAL UYGULAMA

Bu bölümde, tasarım aşamasında izlenecek yöntem konusundaki önerilerin daha iyi anlaşılabilmesi için ayrıntılı sayısal bir örnek tahkim edilmiştir.

Veriler: BS 35 sınıfı pompalanabilir beton üretilecektir. Standart sapma  $S = 2$  MPa olarak kabul edilecektir. Za-

güvenilirlik ile (çift taraflı % 97.5) beton karışımın temel büyüklüğü olan  $\alpha = M_{su}/M_c$  oranını belirleyiniz ve  $f_b/M_c$  performans kriterini maksimize eden optimum çimento miktarını  $M_c$  irdeleyiniz (Bu çalışmada Woods (1992) ham verilerine göre elde edilmiş  $f_b - \alpha$  bağıntısı örnek olarak alınacaktır) **Çözüm:** BS 35 -B 437.5 olarak kabul edilmiştir. Adım adım izlenecek yol aşağıda verilmiştir:

•  $f_h = f_p + t S$  ( $t = 1.64$  % 95 güvenirlilik düzeyi için)

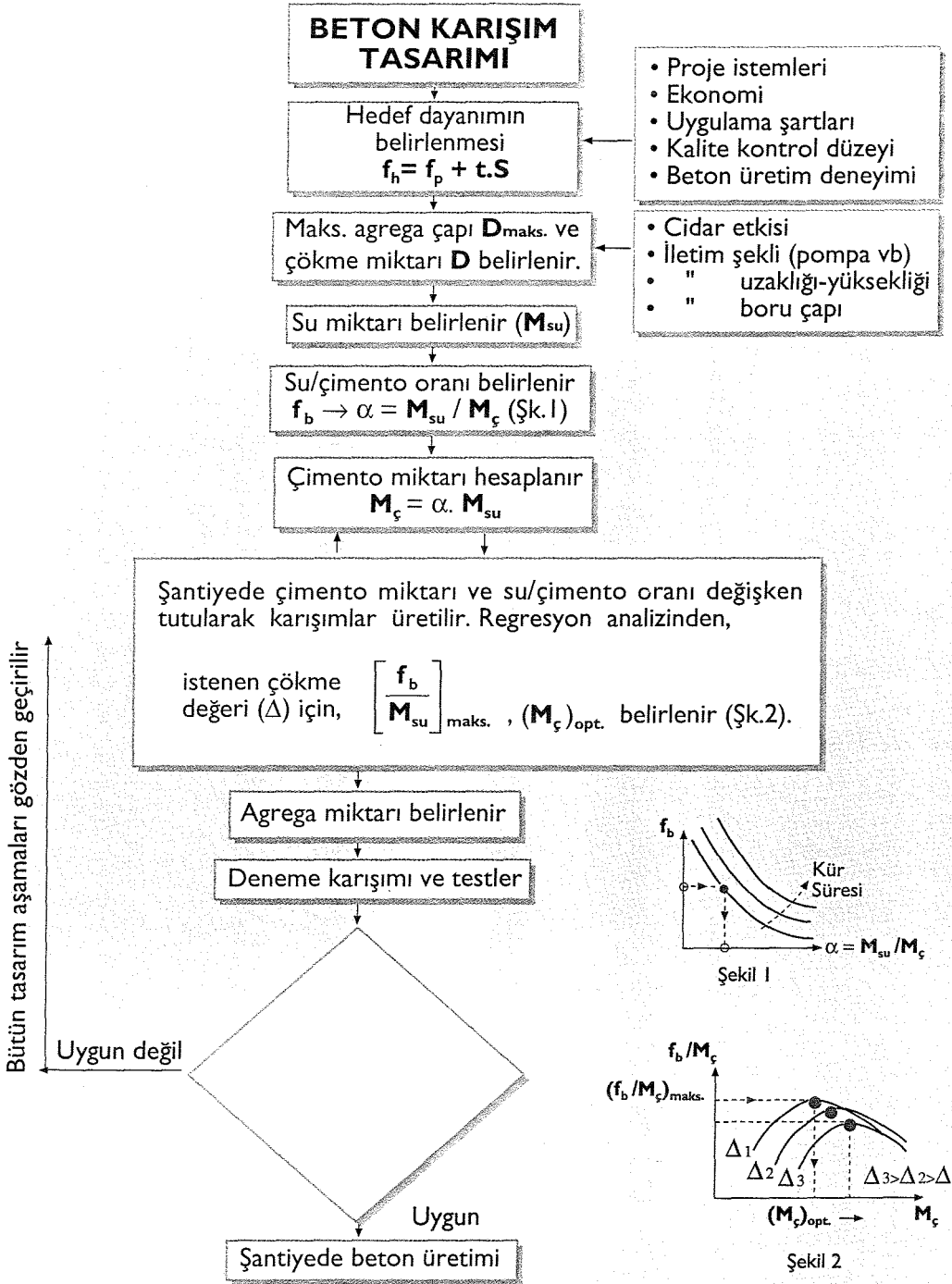
$$f_h = 43.75 + 1.64 \times 2 = 47 \text{ MPa}$$

•  $\Delta = 100$  mm ve  $D_{maks} = 20$  mm için su ihtiyacı  $M_{su}$

$$M_{su} = 260 - 60 \log D_{maks}. \quad (\text{Ganju, 1996})$$

$$M_{su} = 260 - 60 \times \log (20) = 182 \text{ kg/m}^3$$

olarak bulunur. Su ihtiyacı için diğer



Şekil 4: Beton Karışım Hesabı Algoritması

$$(M_c)_{opt.} = \frac{M_{su}}{\alpha_e} = \frac{192}{0.5} = 384 \text{ kg/m}^3$$

alınır.

Dayanıklılık açısından  $(M_c)_{opt.} \approx M_{c,min.}$  min olduğundan bir sorun yoktur.

Bundan sonraki adım, büyük bir olasılıkla

$$384 \text{ kg/m}^3 < (M_c)_{opt.} < 462.65 \text{ kg/m}^3$$

tanım aralığında yer alan  $(M_c)_{opt.}$  değerinin net bir şekilde belirlenmesidir. Bu amaçla, ön tasarım aşamasında şantiyede ( $D_{maks.}=sbt.$ ) değişik çimento dozajları ve su/çimento oranları hazırlanarak üretilen betonların dayanımlarından, dar çökme aralıklarında,  $f_b/M_c - M_c$  çoklu regresyon ifadeleri çıkartılmalı ve proje verileri

açısından  $f_b/M_c$  performans kriterini maksimize eden optimum çimento miktarı  $(M_c)_{opt.}$  belirlenmelidir. Böylece karışım tasarımı daha ekonomik açıdan gerçekleştirilmiş olacaktır.

• Şantiyede basınç dayanım, işlenebilirlik (çökme miktarı), malzeme ekonomisi ve gerekli durumlarda dayanıklılık amacı ile permeabilite katsayısının kontrolü yapılır. Bu şartlar sağlanmadığı takdirde başa dönülerek yeni bir su miktarı belirlenir ve karışım tasarımı tekrarlanır. Karışım tasarımının bütün aşamaları bir akış algoritması tekniği içerisinde adım adım Şekil 4 de verilmiştir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma çerçevesinde incelenen konulardan elde edilen ana sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

• Karışım tasarımının temel büyüklüğü olan dayanım =  $f$  ( $\alpha =$  su/çimento) modeli her şantiye için verilen karışım tasarımı şartlarına göre çıkartılmalıdır. Bunun için beton literatüründe rapor edilen belli başlı bağıntılardan yararlanılabilir. Burada elde edilen regresyon ifadelerinin korelasyon katsayılarının

yüksekliği, dayanım= f (a= su/çimento) ifadesinin kestirim kapasitesini tek başına ifade edememektedir. Üretilen dayanım = f (su/çimento) bağıntıları mutlaka IAE hata yüzdesi ile tahkik edilmeli, en düşük IAE yüzdesini veren bağıntı kullanılmalıdır (Şekil 1, Çizelge 1).

• Karışım tasarımının ekonomikliğini denetleyen diğer bir kritik parametre de (dayanım/çimento miktarı) olarak tanımlanan performans kriteridir.

Verilen karışım tasarımı şartlarında, elverdiği ölçüde, bu kriteri maksimize eden optimum çimento miktarının ( $M_c$ )<sub>opt.</sub> kullanılması yoluna gidilmelidir (Şekil 3, Tablo 1). Böylelikle mikro düzeyde karışım tasarımının ekonomikliği sağlanmaktadır. Ulusal ekonomi açısından ise daha az çimento kullanılması, daha az elektrik tüketimi olacağından, anlamlıdır. Bu kavram 21. yüzyılın ekolojik açıdan sürdürülebilir kalkınma anlayışı ile çok yakından bağlantılıdır.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, bilimsel çalışmaların yapılması ve yayınlanmasını daima teşvik eden Yapı Merkezi Holding A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Dr. Y. Müh. Ersin ARIOĞLU'na teşekkür ederler. Portland Cement Association'a (PCA), bu kuruluştaki Araştırma ve Teknik Servis Müdürü A. FIORATO ve mühendis Sn. J. FARNY 'e sözkonusu dökümanları temin ettiklerinden dolayı yazarlar ayrıca teşekkür ederler. Burada ileri sürülen görüş ve değerlendirmeler doğrudan doğruya yazarlara aittir, ilgili kuruluşları hiç bir şekilde bağlamaz.

## KAYNAKLAR

Arioğlu, Ergin "Maden Galerilerinin Takviyesi İçin Ramble Duvarlarının İmalinde Kullanılan Anhidrate Karışımların Teknik Özellikleri" İ.T.Ü Der-gisi, Cilt 33, No 5, 1973, s.9-21

Arioğlu, Ergin, Yüksel, A. "Mix Design for Underground Structural Support" Journal of Mines, Metals & Fuels, India, January-February, 1986.

Arioğlu, Ergin, "Discussion of Analysis of The Concrete Strength versus Water-Cement Ratio Relationship" by S. Popovics, September-October, 1990, ACI Materials Journal, p.583-584.

Arioğlu, Ergin, Tartışma yazısı "Beton-da Geçirimsizlik, Basınç Mukavemeti ve İşlenebilme Özellikleri İle Bileşim Arasında Korelasyonlar" makale yazarları Kocataşkın, F. ve Uğurlu, A., İMO Teknik Dergi, Ekim 1991, pp.409-416.

Arioğlu, Ergin, Odbay, O "Discussion of Designing Concrete Mixtures for Strength, Elastic Modulus and Fracture Energy" by Monteiro P., Helene P., Kang S., RILEM Materials and Structures, Vol. 27, 1994, pp.494-497.

Arioğlu, Ergin, Odbay, O. "Beton Literatüründeki Dayanım-Su/Çimento Oranı Bağıntılarına Yeni Boyut" Beton Prefabrikasyon, Ocak 1995, Sayı 33.

Arioğlu, Ergin, Akkol, O "Dayanım/Çimento Miktarı Ölçütürünü Maksimum Kılan Su/Çimento Oranının Analitik Yolla Belirlenmesi" Hazır Beton, 1997, s.36-40.

Arioğlu, Ergin "Silika Fülle İçeren Beton Karışımlarının (20 MPa <math>f\_{28}</math> <math>< 120 MPa)</math> Karışım Tasarımlarının Rasyonelleştirilmesi" İ.T.Ü, Prof. Dr. Rifat Yazar Sempozyumu, Aralık, 1997, İstanbul

Arioğlu, Ergin, Arioğlu, Nihal Üst ve Alt Yapılarda Beton Karot Deneyleleri ve Değerlendirilmesi, Evrim Yayınevi, 1998.

Bai Y., Amir Khanian, S. "Knowledge-Based Expert System For Concrete Mix Design" ASCE Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 120, No. 2, June 1994, pp.357-373.

Çavuşoğlu, H. Doktora Tezi (Prof. Dr. B. Postacıoğlu Yönetiminde), İ.T.Ü İnşaat Fak, İstanbul.

Day, K. Concrete Mix Design, Quality Control & Specification, E&FN Spon, London, 1995, 350 pp.

Day, K "Computer Control of Concrete Proportions" Concrete International, 18 (12), December, 1996, pp. 48.-53.

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

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

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

De Larrard, F, Sedran, T. "Computer-Aided Mix Designs: Predicting Final Results" Concrete International, 18 (12), December, 1996, pp.38-41.

Mehta, P.K, Aitcin, P.C "Principles Underlying Production of High-Performance Concrete" Cement, Concrete and Aggregates, 12 (2), 1990, pp.70-78.

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.

Monteiro, P.J.M, Helene, P.R.L, Kang, S.H "Designing Concrete Mixtures for Strength, Elastic Modulus and Fracture Energy", RILEM, Materials and Structures, Vol. 26, 1993.

Nawy, E.G "Fundamentals of High Strength High performance Concrete" Longman Concrete Design and Construction Series, 1996, 340 pp.

Popovics, S. "Strength and Related Properties of Concrete-A Quantitative Approach", John Wiley & Sons, 1998.

Portland Cement Association (PCA) "Evaluation of The Long-term Properties of Concrete" edited by S.Wood, Research and Development Bulletin RD102T, 1992.100 pp.

Postacıoğlu, B. "Beton Bileşiminin Saptanmasında Yeni Gelişmeler" İ.T.Ü İnşaat Fak. Malzeme Semineri Kitabı, 1984, s.39-52.