

# NORMAL DAYANIMLI BETONLARDA DAYANIM-KÜR SÜRESİ-ULTRASES HIZI-YÜZEY SERTLİĞİ BAĞINTILARI

Y.Müh. M.Selçuk GÜNER  
K.T.Ü Rize Meslek Yüksekokulu Öğretim Görevlisi  
Dr.Müh. Canan GİRGIN  
Yapı Merkezi Holding, AR-GE Bölümü  
Prof.Dr.Müh. Ergin ARIOĞLU  
İ.T.Ü. Maden Fakültesi Öğretim Üyesi

## 1. GİRİŞ

Bu çalışmada betonun yapıdaki dayanımının, kolaylıkla bulunabilme, kullanım pratikliği, sıkça tekrarlanabilme ve ekonomik özellikleri ile ön plana çıkan yıkıntısız yöntemler (Yüzey Sertlik ve Ultrases Hız ölçümleri) ile belirlenmesine yönelik olarak K.T.Ü Rize Meslek Yüksekokulu Laboratuvarlarında üretilen normal dayanımlı betonlar ( $f_b < 400 \text{ kgf/cm}^2$ -silindir) üzerinde bir seri deneysel çalışma gerçekleştirilmiş ve sonuçları istatistik matematiği ile değerlendirilmiştir. Ayrıca bu çalışma kapsamında çıkartılan bağıntıların pratik uygulanabilirliğini daha da arttırabilmek için beton dayanımının belirlenmesine yönelik sayısal bir uygulama yapılmıştır.

## 2. DENEY VERİLERİNE AİT TEKNİK BİLGİLER

Bu çalışma kapsamında Karadeniz Teknik Üniversitesi Rize Meslek Yüksek Okulu Laboratuvarlarında 16 adet BS 16 ve 17 adet BS 22.5 kalitesinde, toplam 33 adet 150 mm küp numune ve toplam 18 adet 200 mm'lik küp numune üretilmiştir (200 mm'lik küp numuneler regresyon analizlerinde direkt olarak değil, sonuçların doğrulaması amacı ile kullanılmıştır). Üretilen 150 mm'lik küp numunelerin Basınç dayanımı ( $f_b$ ), Kür süresi ( $t$ ), Yüzey Sertlik ( $R$ ) ve Ultrases Hız ( $V$ ) verileri değerlendirilmiştir. Deneylerde kullanılan beton bir hazır beton firmasından alınmıştır. Betonların mühendislik büyüklükleri ile ilgili bilgiler Çizelge 1'de topluca takdim edilmiştir.

Çizelge 1 Regresyon analizinde kullanılan betonların mühendislik büyüklükleri

Beton bileşen miktar ve oranları	BS 16	BS 22.5	Düşünceler
Çimento miktarı [ $\text{kg/m}^3$ ]	350	400	Trabzon- dökme çimento
İri agregata [ $\text{kg/m}^3$ ]	950	950	Maks.agrega boyutu = 25 mm
İnce agregata [ $\text{kg/m}^3$ ]	950	950	
Su [ $\text{kg/m}^3$ ]	140	160	Dinlendirilmiş dere suyu
Su/çimento oranı	0.40	0.40	- ağırlıkça-
Toplam agregata/çimento oranı	5.43	4.75	- ağırlıkça-
Teorik taze-ıslak-birim ağırlık [ $\text{kg/m}^3$ ]	2390	2460	
Çökme [cm]	5	5	
Kür şekli ve sıcaklığı	Standart kür $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$		
28 günlük basınç dayanımı [ $\text{kgf/cm}^2$ ]	250-300	380-430	- 150 mm küp-
7 günlük basınç dayanımı [ $\text{kgf/cm}^2$ ]	150-200	220-310	- 150 mm küp-

Kür sürelerine bağlı olarak beton basınç dayanımlarının istatistiksel değerlendirmesi Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2 Değişik kür sürelerindeki basınç dayanımlara ait istatistiksel büyüklükler

BS 16 Betonu					
Büyüklük	1 gün	3 gün	7 gün	14 gün	28 gün
$\bar{X}$	38.4	109.67	175.7	243.15	278.3
$X_{maks.}-X_{min.}$	15.19	15.0	38.0	38.1	38.1
<b>n</b>	4	3	4	2	3
BS 22.5 Betonu					
Büyüklük	1 gün	3 gün	7 gün	14 gün	28 gün
$\bar{X}$	60	157.87	257.87	353.7	405.97
$X_{maks.}-X_{min.}$	15.57	39.0	85.7	17.4	35.1
<b>n</b>	4	3	4	2	3

Burada,  
 $\bar{X}$  = Ortalama değer [kgf/cm<sup>2</sup>]  
 $X_{maks.}$  = En büyük değer [kgf/cm<sup>2</sup>]  
 $X_{min.}$  = En küçük değer [kgf/cm<sup>2</sup>]  
**n** = Numune sayısı

### 3. KÜR SÜRESİ-BASINÇ DAYANIMI BAĞINTILARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Standart şartlarda kür edilen 150 mm'lik küp numunelerde beton dayanımları ile kür süreleri arasındaki istatistiksel ilintiler Çizelge 4'de gösterilmiştir. BS 16 ve BS 22.5 beton dayanım düzeyleri üzerinden ayrı ayrı yapılan karşılaştırmada ACI Committee 209, Gardner,(1993) ve Arıoğlu,Ergin (1975,1997,1998) kaynağında rapor edilen bağıntılar kullanılmıştır. Çizelge 3 yakından incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir :

- BS 22.5 için basınç dayanım kazanımı-kür süresi bağıntıları içinde en düşük Toplam Mutlak Hata (IAE) Arıoğlu, (1975,1997,1998) kaynağında belirtilen hiperbolik  $\left( f_b = \frac{A t}{B + t} \right)$  bağıntısı ile elde

edilmiştir (IAE= 3.79). Sözkonusu hiperbolik mod literatürde rapor edilen 1400-1750 kgf/cm<sup>2</sup> basınç dayanım aralığındaki dayanım kazanımı-kür süresi ilintisi için de geçerlidir (Arıoğlu,Ergin ve arkadaşları, 1997).

- Dayanım kazanımı-kür süresi arasındaki diğer ifadelerden elde edilen dayanımların ise ilk 10 günde deneysel veriler ile üst üste düştüğü, ilerleyen kür sürelerinde ise gerçek deney datalarının altında değerler aldığı görülmektedir.

- $f_b / f_{b,28}$  oranları bakımından ise BS 16 ve BS 22.5 betonunda dayanım oranları  $f_3/f_{28}= 0.39$ ,  $f_7/f_{28}= 0.63$ ,  $f_{14}/f_{28}= 0.87$  değerlerini almıştır. Beton literatüründe -normal dayanımlı betonlar için-  $f_7/f_{28}$  oranının standart şartlarda kür uygulanmış numunelerde 7 günlük basınç dayanım düzeyine bağlı olarak 0.60-0.80 aralığında değiştiği bilinmektedir (Arıoğlu,Ergin,Alper,Odbay, 1994), deneysel verilerden bulunan 0.63 oranı da bu tanım aralığı içindedir.

BS 22.5 betonu için kür süresi-basınç dayanım kazanımı bağıntılarının değerlendirilmesi ayrıca nomogram düzeninde Şekil 1'de verilmiştir.

### 4. DENEYSEL DATALARIN İSTATİSTİK MATEMATİĞİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞILMASI

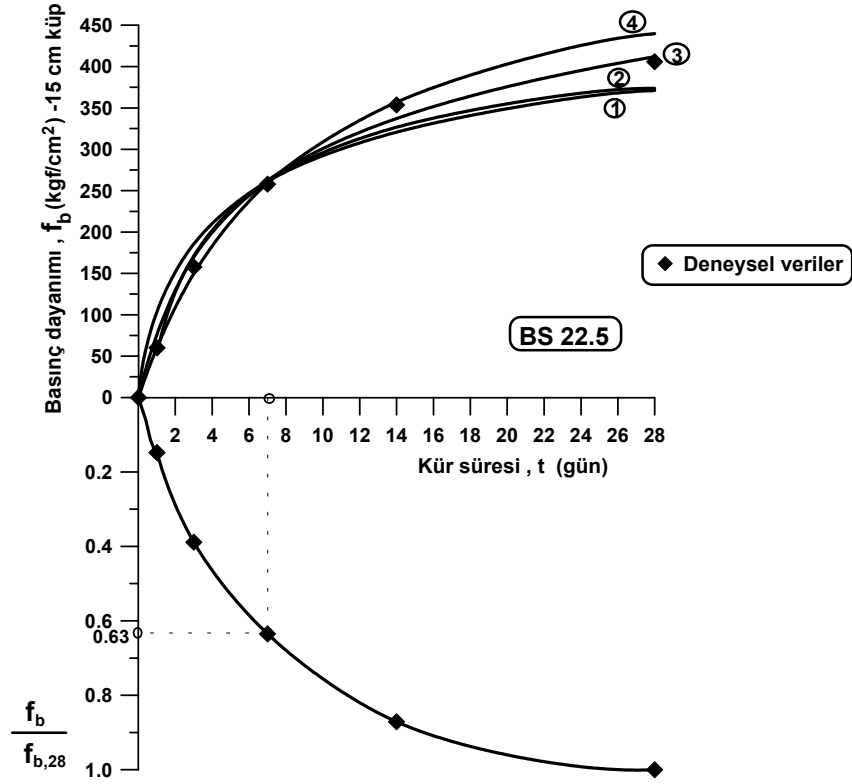
Bu Bölümde, BS 16 ve BS 22.5 kalitesinde üretilen toplam 33 adet 150 mm'lik beton küp numune üzerinde yapılan Yüzey Sertliği (**R**) ve Ultrases Hız okumaları (**V**)'nden yararlanarak basınç dayanımı ( $f_b$ ) ile **R** ve **V** arasında istatistiksel ilintilerin bulunması amaçlanmıştır. Elde edilen regresyon bağıntıları topluca Çizelge 4'de verilmiştir. Çizelge 4 yakından incelendiğinde pratik açıdan şu sonuçlara ulaşılmaktadır :

Çizelge 3 Basınç dayanım kazanımı-kür süresi bağıntılarının toplam mutlak hata (IAE) açısından karşılaştırması

Bağıntı		Top.mut. hata	Kaynak
		IAE (%)	
<b>BS 16</b>			
①	$f_b = f_{b,28} \frac{t^{0.75}}{2.8 + 0.77 t^{0.75}}$	13.55	Gardner, (1993) 150x300 mm silindir*
②	$f_b = f_{b,28} \frac{t}{4 + 0.85 t}$	9.55	ACI Committee 209 150x300 mm silindir*
③	$f_b = \frac{438.789 t}{10.293 + t}$	7.72	Arıoğlu, (1975) Arıoğlu,Ergin,Arıoğlu,N,(1998) 150 mm küp
④	$f_b = 74.558 \ln t + 34.604$	3.69	150 mm küp
<b>BS 22.5</b>			
①	$f_b = f_{b,28} \frac{t^{0.75}}{2.8 + 0.77 t^{0.75}}$	11.55	Gardner (1993) 150x300 mm silindir*
②	$f_b = f_{b,28} \frac{t}{4 + 0.85 t}$	7.34	ACI Committee 209 150x300 mm silindir*
③	$f_b = 107.793 \ln t + 52.747$	3.87	150 mm küp
④	$f_b = \frac{572.738 t}{8.463 + t}$	3.79	Arıoğlu, (1975) Arıoğlu,Ergin,Arıoğlu,N,(1998) 150 mm küp
<p><math>f_b</math> = Basınç dayanımı (kgf/cm<sup>2</sup>) –150 mm küp  <math>t</math>= Deney yaşı- kür süresi, gün  <math>f_0</math>= Ölçülen değer  <math>f_h</math>= Hesaplanan değer     <math>IAE = \sum \frac{[(f_0 - f_h)^2]^{1/2}}{\sum f_0} \times 100, (\%)</math></p>			

\*  $f_{b,150x300} = 1.003 f_{b,k150} - 36.078$  (Arıoğlu,Ergin,Arıoğlu,N,Girgin,C,1999) bağıntısı ile 150 mm küp basınç dayanımı 150x300 mm silindir dayanımına dönüştürülmüştür.

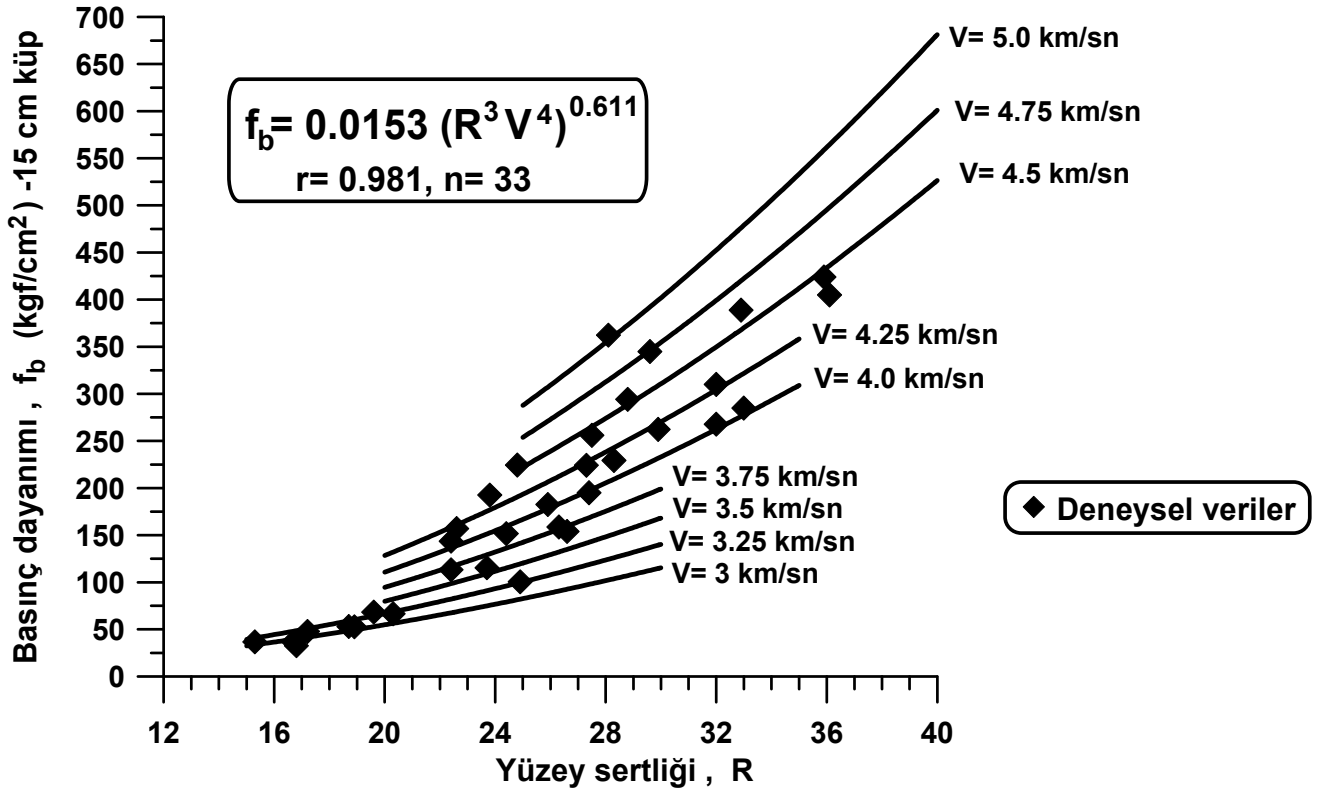
- Ultrases hızı  $V$  ile basınç dayanımı  $f_b$  arasında en yüksek korelasyon  $f_b = A \cdot e^{BV^4}$  bağıntısı ile elde edilmiştir, korelasyon katsayısı  $r = 0.921$ 'dir (Arıoğlu, Ergin,Arıoğlu,N,1998).
- Yüzey sertliği  $R$  ile basınç dayanımı  $f_b$  arasında en yüksek korelasyon  $f_b = A (R^3)^B$  bağıntısı kullanılarak bulunmuştur, korelasyon katsayısı  $r = 0.958$ 'dir.
- Basınç dayanımı, ultrases hız ve yüzey sertlik değerleri hep birlikte değerlendirildiği zaman seçilen matematik modele bağlı olarak korelasyon katsayılarının “ $r$ ” yükseldiği görülmektedir. Burada en yüksek korelasyon katsayısı,  $(R^3V^4)$  serbest değişken olarak alındığında,  $f_b = A \cdot (R^3V^4)^B$  modundaki bağıntı ile elde edilmiştir ve  $r = 0.981$ 'dir. Basitliği ve regresyon katsayısının uygunluğu nedeni ile Yüzey Sertliği  $R$  ve değişik Ultrases Hız  $V$  değerlerine karşı gelen basınç dayanımı değişimleri deneysel veriler ile birlikte Şekil 2'de gösterilmiştir.
- $R^3V^4$  serbest değişkeni esas alınarak  $f = \sum_{i=1}^n (R^3 \cdot V^4)^i$  şeklinde ifade edilen polinomun derecesinin artırılması durumunda  $i=3$ ' de korelasyon katsayısı  $r = 0.96$  değerine yakınsamaktadır.



Şekil 1 Basınç dayanımı ( $f_b$ ) kazanımı-kür süresi (t) bağıntıları ve basınç dayanım oranlarının kür süresi ile değişimi

Çizelge 4 Birleşik yıkıntısız deneyler için geliştirilen çeşitli regresyon ifadeleri ve korelasyon katsayıları

Bağıntı	A	B	C	D	r
$f_b = A.V+B$	189.646	-549.239	-	-	0.864
$f_b = A.V^4+B$	0.867	-30.915	-	-	0.872
$f_b = A.e^{BV^4}$	32.167	0.006	-	-	0.921
$f_b = A.R+B$	19.437	-302.826	-	-	0.934
$f_b = A.R^3+B$	0.00927	17.556	-	-	0.923
$f_b = A.(R^3)^B$	0.0052	1.066	-	-	0.958
$f_b = A.RV+B$	3.357	-150.356	-	-	0.951
$f_b = A.R^3+B.V+C$	0.00635	83.968	-255.677	-	0.956
$f_b = A.R^3+B.V^4+C$	0.00619	0.401	-27.77	-	0.960
$f_b = A.R^3V^4+B$	2.25E-5	60.818	-	-	0.944
$f_b = A.R^3V^4+B.(R^3V^4)^2+C$	3.42E-5	-7.8E-3	36.925	-	0.957
$f_b = A.R^3V^4+B.(R^3V^4)^2+C(R^3V^4)^3+D$	4.46E-5	-2.5E-12	6.79E-20	26.08	0.959
$f_b = A.(R^3V^4)^B$	0.0153	0.611	-	-	0.981
$f_b$ = Basınç dayanımı (kgf/cm <sup>2</sup> ) – 15 cm küp V= Ultrases hızı (km/sn) R= Yüzey sertliği n= Numune sayısı (n=33) A, B, C= Regresyon sabitleri r= Korelasyon katsayısı					



Şekil 2 Yüzey Sertliği, Ultrases Hızı ve Basınç Dayanımları arasındaki ilişki (150 mm küp)

Literatürde (Arioğlu, Ergin ve arkadaşları, 1994) kaynağında rapor edilen ve ana ifadesi

$$\log f_b = 3.119 \sqrt{\log (R^3 \cdot V^4)} - 5.89 \quad \text{-200 mm küp}$$

$$(75 < f_b < 1100 \text{ kgf/cm}^2) \quad (n = 62, r = 0.996)$$

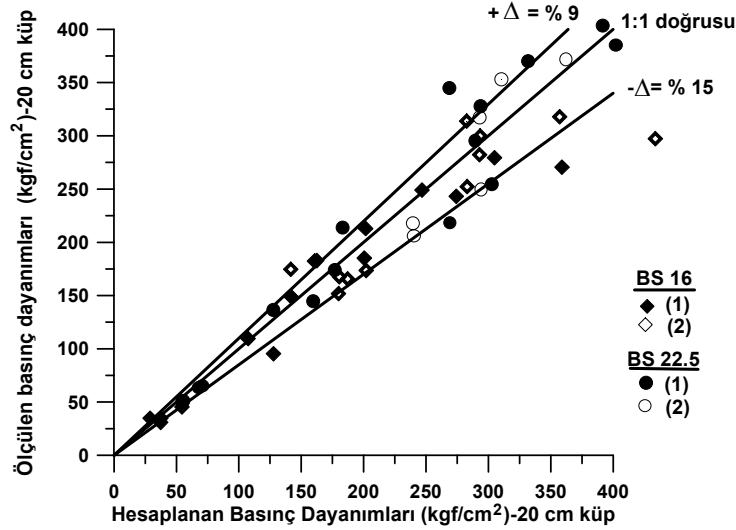
olan bağıntı bu çalışmanın deneysel verilerine de uygulanmış, elde edilen sonuçlar 1:1 yöntemi ile değerlendirilmiştir (Şekil 3). Söz konusu bağıntı 200 mm küp bazında verildiği için 150 mm'lik küplere ait bu çalışmanın deneysel verileri (Neville, 1995) kaynağına göre 0.95 katsayısı ile çarpılarak 200 mm küp boyutuna dönüştürülmüş, 200 mm lik küp verileri ise olduğu gibi kullanılmıştır. Toplam 51 adet deney verisinin kullanıldığı teknikte söz konusu bağıntının sapma

miktarı  $\Delta = \frac{f_{\delta} - f_h}{f_{\delta}} \times 100$ ,  $\Delta = +\%18.6$  ve  $-\%10$  olarak hesaplanmıştır. Böyle bir sapma değeri de

beton gibi heterojen bir malzemede ilk yakınsama bakımından rahatlıkla kabul edilebilecek bir düzeydir. Bu araştırma çerçevesinde geliştirilen,

$$f_b = 0.0153 (R^3 V^4)^{0.611}$$

bağıntısı ile de sapma miktarı  $\Delta = +\%9$  ve  $\Delta = -\%15$  olarak bulunmuştur. Şekil 3'de (1) 200 mm kübe dönüştürülmüş 150 mm küp numune değerlerini, (2) 200 mm küp değerlerini ifade etmektedir.



Şekil 3 1:1 Doğru Yöntemi ile ölçülen ve hesaplanan basınç dayanımlarının karşılaştırması

## 5. ULTRASES HIZI VE YÜZEY SERTLİĞİ BÜYÜKLÜKLERİ ARASINDAKİ İLİNTİLER

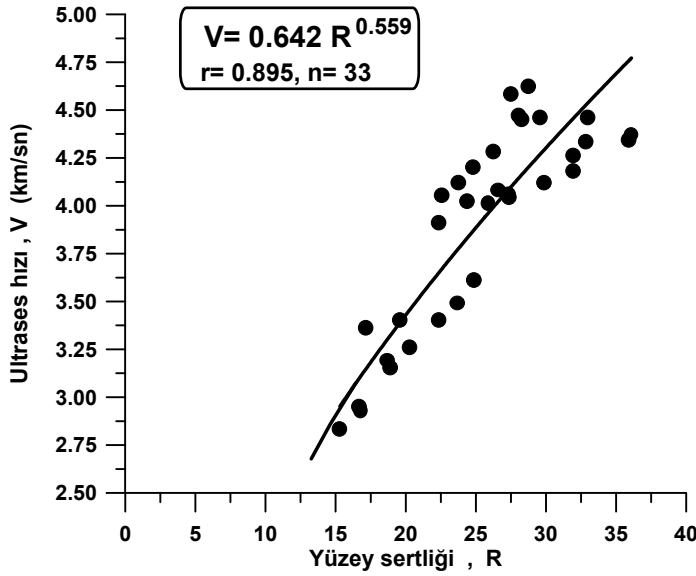
Uygulamada Schmidt Çekici aletinin kolaylıkla bulunabilmesi ve ölçüm pratikliği nedeni “Yüzey Sertliği” ölçümlerinin yapılarak beton dayanımının kestirilmesi yöntemi daha çok tercih edilmektedir. Bu bakımdan çalışmada çıkartılan bağıntıların pratikteki kullanılabilirliğini arttırmak amacı ile eldeki 150 mm’lik küp numunelere ait Yüzey Sertliği (**R**) ve Ultrases Hız (**V**) verileri arasında regresyon bağıntıları elde edilerek Çizelge 5’de topluca verilmiştir. Böylece uygulamada **R** değeri bilindiği takdirde ilgili regresyon bağıntısı yardımı ile **V** değerinin belirli bir yakınsama ile kestirilmesi böylelikle Şekil 4 yardımı ile beton dayanımı hakkında daha sağlıklı değerlendirmelerin yapılması mümkün olabilecektir. **R** ile **V** arasındaki en yüksek korelasyon üstel bir fonksiyon ile elde edilmektedir ve bu bağıntı Şekil 4’de gösterilmiştir. Şekil 3 yakından incelendiğinde,

- Beklendiği gibi artan Yüzey Sertliği (**R**) değerleri ile Ultrases Hızları (**V**) artmaktadır. Örneğin,  $R=15$  gibi çok düşük bir değerde iken  $V= 2.92$  km/sn olmaktadır ve bu **V** değeri betonu “şüpheli sınır” ( $V=3$  km/sn)’in altına düşürmektedir.  $R=35$  olduğunda ise  $V=4.68$  km/sn’e kadar çıkmaktadır ki bu beton homojenlik açısından “çok iyi” beton grubuna girmektedir. Çok yüksek dayanımlı betonlarda ise 28 günlük basınç dayanımı  $f_b= 1800$  kgf/cm<sup>2</sup> için  $R=64$ ,  $V=5.43$  değerini aldığı bilinmektedir (Arioğlu, Ergin ve arkadaşları, 1997).

Çizelge 5 Yüzey Sertlik ve Ultrases Hız değerleri arasında çıkartılan regresyon ifadeleri

Bağıntı	A	B	n	R
$V= A.R + B$	0.0814	1.835	33	0.860
$V= A.R^B$	0.642	0.559	33	0.895
$R= A.V + B$	9.078	-10.025	33	0.860
$R= A.V^B$	3.575	1.432	33	0.895

Burada,  
**V**= Ultrases hızı (km/sn)  
**R**= Yüzey sertliği  
**n**= Numune sayısı  
**A,B**= Regresyon sabitleri  
**r**= Korelasyon katsayısı



Şekil 4 Ultrases Hız ve Yüzey Sertlik değerleri arasındaki ilişki

## 6. SAYISAL ÖRNEK

Veriler :

Bir kolon üzerinde yapılan 10 adet Yüzey Sertlik Ölçüm değerleri

$R_i = 26, 26, 27, 28, 26, 25, 26, 25, 24, 26$

olarak bulunmuştur. Yüzeylerdeki makroskobik gözlemler sonucu herhangi bir karbonatlaşma ( $\text{CaCO}_3$ ) teşekkülü yoktur.

Kolonun yerinde beton dayanımını kestiriniz.

Çözüm :

- Okumaların istatistiksel büyüklüklerinin hesaplanması :

O Aritmetik ortalama  $\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} = \frac{26 + 26 + 27 + 28 + 26 + 25 + 26 + 25 + 24 + 26}{10} = 25.9$

O Standart sapma  $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{n-1}} = S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - 25.9)^2}{10-1}} = 1.1$

O Değişkenlik katsayısı  $V = \frac{S}{\bar{R}} \times 100 = \% 4.2$

O Aralık  $R_a = R_{\text{maks.}} - R_{\text{min.}} = 28 - 24 = 4$

O Müsade edilebilir maksimum ve minimum yüzey Sertlik Değerlerinin bulunması (Arıoğlu, Ergin, Arıoğlu, N, 1998) :

O Müsade edilebilir  $R_{\text{maks.}} = \bar{R} + \frac{2}{3} R_a = 25.9 + \frac{2}{3} \times 4 = 28.57$

O Müsade edilebilir  $R_{\text{min.}} = \bar{R} - \frac{2}{3} R_a = 25.9 - \frac{2}{3} \times 4 = 23.1$

Yukarıdaki maks. ve min. Yüzey Sertlik değerlerinin dışında kalan bir Yüzey sertlik ölçüm değeri olup olmadığı tahkik edilir. Görüldüğü üzere elde edilen okuma değerleri bu değerlerin içinde kalmaktadır. Kısaca,  $\bar{R} = 25.9$  değeri değerlendirme için esas alınabilir.

- Betonun yerinde dayanımının belirlenmesi :

O Basınç dayanımı-Yüzey Sertlik ilintilerinden hareketle yerinde dayanımın belirlenmesi :

$$f_b = 0.0052(R^3)^{1.066}$$

bağıntısından basınç dayanımı

$$f_b = 0.0052(25.9^3)^{1.066} = 172.08 \text{ kgf/cm}^2$$

olarak kestirilir.

Bu değer (Yapı Merkezi, 1994) kaynağındaki (200 mm küp)

$$f_b = -213.76 + 17.918R - 0.215R^2 + 0.00438R^3$$

$$(100 \text{ kgf/cm}^2 < f_b < 1000 \text{ kgf/cm}^2) \text{ (n=124, r=0.995)}$$

bağıntısı ile tahkik edilirse

$$f_b = -213.76 + 17.918 \times 25.9 - 0.215 \times 25.9^2 + 0.00438 \times 25.9^3 = 182.19 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_b \cong 182.19 / 0.95 = 191.78 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (150 mm küp)}$$

değeri elde edilir.

- Yüzey Sertlik ölçümünden Ultrases hızının kestirilmesi :

$$V = 0.0814R + 1.835 \text{ (n=33, r=0.860)}$$

$$V = 0.0814 \times 25.9 + 1.835 = 3.94 \text{ km/sn}$$

Bu değer laboratuvarında standart-doygun numuneler üzerinde ölçülen Ultrases hızıdır. Şantiye şartlarında aynı beton "kuru" olacağından Ultrases hız büyüklüğü  $V_y$ ,

$$V_y = 0.95 \times V_{lab} = 0.95 \times 3.94 = 3.75 \text{ km/sn}$$

olarak kestirilir.

$V_y = 3.75 \text{ km/sn}$ ,  $\bar{R} = 25.9$  değeri bu çalışmada elde edilen bağıntıda kullanılarak,

$$f_b = 0.0153 \times (R^3 V^4)^{0.611} = 0.0153 \times (25.9^3 \times 3.75^4)^{0.611} = 150.73 \text{ kgf/cm}^2$$

değeri kestirilir.

Üç ayrı yaklaşımla elde edilen basınç dayanımının ortalaması alındığında betonun yerinde dayanımı,

$$f_b = (172.08 + 191.78 + 150.73) / 3 = 171.53 \text{ kgf/cm}^2 \text{ değeri elde edilir.}$$

Değerlendirme :

Mühendis, betonun makroskobik özellikleri (boşluk, genel görünüm, agrega ile hamur arasındaki aderansın niteliği ve sürekliliği, agreganın cinsi ve maksimum çapı) ve varsa üretimlerle ilgili küp dayanım değerlerinin özenli değerlendirmesi sonucunda betonun yerinde dayanımı konusunda nihai bir karara varmalıdır.

## 7. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında BS 16 ve BS 22.5 kalitesinde 33 adet 150 mm ve 18 adet 200 mm'lik küp numune üzerinde yürütülen bir seri deneysel çalışma ve bunların istatistiksel değerlendirmesinden elde edilen belli başlı sonuçlar şöyle özetlenebilir :

- BS 22.5 kalitesindeki betonlarda -150 mm'lik küp numune- basınç dayanım kazanımı-kür süresi ilintisi en düşük Toplam Mutlak Hata (IAE) değeri, IAE= %3.79 olan

$$\left( f_b = \frac{A t}{B + t} \right)$$

modundaki hiperbolik bağıntı ile elde edilmektedir (Çizelge 2, Şekil 1).

- $f_7/f_{28}$  oranı 0.63 olarak bulunmuştur, bu değer normal dayanımlı betonlardaki ( $f_b \leq 400 \text{ kgf/cm}^2$ - silindir)  $f_7/f_{28} = 0.60-0.80$  aralığının içine düşmektedir.

- Yüzey sertliği (R), Ultrases hızı (V) ve Basınç dayanımı ( $f_b$ ) -150 mm küp- arasında en yüksek korelasyon katsayısı (r),

$$f_b = A \cdot (R^3 V^4)^B, \text{ (r=0.981)}$$

modunda belirlenmiştir (Çizelge 4, Şekil 2). Bu bağıntının 150 mm'lik ve 200 mm'lik küp numunelerin tümü kullanılarak 1:1 yöntemi ile hesaplanan sapma miktarları  $\Delta = +\%9$  ve  $\Delta = -\%15$  mertebelerindedir (Şekil 3).



- Pratik kullanımı ve ölçüm kolaylığı nedeni ile uygulamada sıkça tercih edilen Yüzey Sertlik ölçümlerinden yararlanarak Ultrases hız değerlerinin kestirimi için uygulanan regresyon analizinde en yüksek korelasyon,

$$V = A.R^B, \quad (r=0.895)$$

bağıntısı ile elde edilmiştir (Çizelge 5, Şekil 4). Böylelikle, uygulamadaki basınç dayanımlarının kestirimi için Şekil 2’de verilen değişimlerden yararlanılabilir.

### TEŞEKKÜR

Yazarlar araştırmanın yapılmasında gösterdiği ilgi ve akademik destek için Yapı Merkezi Holding A.Ş. Yönetim Kurulu Başkanı Sn.Dr.Müh. Ersin ARIOĞLU 'na ve deneylerde kullanılan betonun temini konusunda gösterdikleri destekten dolayı RİTAŞ Hazır Beton firması (Rize)’nın yetkililerine teşekkür ederler. Burada ileri sürülen tüm görüş ve değerlendirmeler doğrudan doğruya yazarlara aittir, ilgili kuruluşları bağlamaz.

### KAYNAKLAR

- Arioğlu,Ergin, Alper, H, Odbay, O** “Beton Dayanımının Erken Kestirimi” *Beton Prefabrikasyon*, Nisan 1994, Sayı 30, s. 15-18.
- Arioğlu,Ergin, Odbay, O, Alper, H, Arioğlu, B** “Birleşik Yıkıntısız Yöntemle Beton Dayanımının Kestirilmesi İçin Yeni Formül ve Uygulama Sonuçları” *Beton Prefabrikasyon*, Ocak 1994, Sayı 29, s. 5-11.
- Arioğlu,Ergin, Manzak, O, Dondurmacı, A, Köylüoğlu, Ö.S** “Yapı Merkezi’nde Üretilen Çok Yüksek Dayanımlı Betonların (B170) Mühendislik Büyüklüklerinin Değerlendirilmesi”, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayını* No 26, Türkiye İnşaat Mühendisliği 14. Teknik Kongresi, 25-25 Ekim 1997, İzmir, s. 497-507.
- Arioğlu,Ergin, Arioğlu, N, Girgin, C** “Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonlarda Numune Şekil Boyut Etkisi”, *Hazır Beton*, Ocak-Şubat 1999.
- Arioğlu,Ergin, Arioğlu, N.** *Üst ve Alt Yapılarda Beton Karot Deneyleri ve Değerlendirilmesi*, Evrim Yayınevi, 1998, İstanbul.
- Gardner, N.J, Zhao, J.W** “Creep and Shrinkage Revisited”, *ACI Materials Journal*, May-June 1993, pp. 236-246.
- Neville, A.M** *Properties of Concrete*, Longman Group Limited, 4<sup>th</sup> Edition, 1995
- Yapı Merkezi Raporu** “Şantiyelerdeki Beton Basınç Dayanımı ve Yüzey Sertlik Ölçümlerinin İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi”, Çalışma Raporu, Çamlıca, 1994.

### COMPRESSIVE STRENGTH VERSUS AGING, PULSE VELOCITY AND REBOUND HAMMER RELATIONSHIPS IN CONCRETES WITH NORMAL STRENGTH

This study mainly consists of two parts. In the first part, for the time-dependent strength of moist cured concrete containing Normal Portland Cement the following regression model was derived :

$$\left( f_b = \frac{A t}{B + t} \right)$$

$f_b$ = Compressive strength of concrete ,  $t$ = Age of test, days

$A,B$ = Coefficients of equation

In the second part of paper, in-place strength of concrete compressive strength versus [pulse velocity “V”, rebound hammer “R” reading] relationship was obtained by performing regression analysis. The analysis under consideration led to the expression as follows :

$$f_b = A.(R^3 V^4)^B$$

By utilizing this equation the mean deviation from experimental results was determined to be around  $+\Delta = \% 9$  ,  $-\Delta = \% 15$ .