

## Grovak Agregalarının Tane Dayanım Büyüklüklerinin Beton Dayanım Büyüklükleri Üzerindeki Etkilerin Araştırılması

### Effect of Granuler Strength of Greywacke Aggregate on Concrete Compressive Strength

Gözde KURT, Ali Osman YILMAZ, Nihal ARIOĞLU, Ergin ARIOĞLU

Yapı Merkezi Holding Grubu, Ar-Ge Bölümü, Çamlıca, İstanbul  
[gozde.kurt@ym.com.tr](mailto:gozde.kurt@ym.com.tr), [aovilmaz@ktu.edu.tr](mailto:aovilmaz@ktu.edu.tr), [arioglu@itu.edu.tr](mailto:arioglu@itu.edu.tr), [ergin.arioglu@ym.com.tr](mailto:ergin.arioglu@ym.com.tr)

**ÖZ:** Bu çalışmada Bolomey bağıntısı kullanılarak, kırma ve çakıl grovak agregalarının kullanıldığı betonlara ait agrega faktörü “ $K_a$ ” belirlenmiştir. Verilen su/çimento oranı için kırma grovağın, çakıl grovağın basınç dayanımından % 10 mertebesinde büyük olduğu ortaya konulmuştur. Kırmataşın normal dayanımlı betonlarda hesaplanan agrega faktörünün, agreganın tane dayanım büyüklüklerinden biri olan % 10 ince yük değerinden bağımsız olduğu görülmektedir. Bu çalışma kapsamında, betonun bir anlamda gevreklik ölçüsü olan (çekme dayanımı/basınç dayanımı) oranı, agrega türü ve basınç dayanımı bazında – 15 MPa <  $f_b$  < 55 MPa aralığı içinde – incelenmiştir. Yapılan istatistiksel çözümlenmeye göre sözkonusu oranın aynı litolojide kullanılan iri agrega için, sadece basınç dayanımının bir fonksiyonu olduğu gösterilmiştir. Artan basınç dayanımı ile (çekme dayanımı/basınç dayanımı) oranı azalmakta, diğer kelimelerle betonun daha kırılğan bir davranış sergileyeceği ifade edilebilir. Aynı basınç dayanım düzeyi için iri agrega litolojisinin değiştirilmesi durumunda ise, örneğin bazalt ve andezit türü kayaların betonların daha kırılğan – gevrek – yapıda olacağı ileri sürülebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Agregalar; agrega faktörü; beton basınç ve çekme dayanımları; grovak.

**ABSTRACT:** In this study, the effect of aggregate granuler strength – ten percent fines value – of greywacke on concrete compressive strength was investigated by means of the Bolomey relationship. Results obtained show clearly that the aggregate granuler strength has no influence on the aggregate factor “ $K_a$ ” for 15 MPa <  $f_b$  < 50 MPa – normal strength concrete -. In addition, the influence of aggregate type on the ratio between the splitting tensile and compressive strength for concretes containing greywacke andesite and bazalt was evaluated by carrying out regression analysis. The ratio under consideration can be expressed in terms of compressive strength and aggregate type.

**Keywords:** Aggregates; aggregate factor; compressive and splitting tensile strengths; greywacke.

## 1. GİRİŞ

Beton bileşiminde ağırlıkça % (70 ~ 80) yer alan agreganın türü, fiziksel özellikleri, granülometrik yapısı ve tane dayanımı, dolayısıyla mekanik büyüklükleri betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerini farklı düzeylerde etkiler. Verilen beton bileşim oranlarında (su/çimento, agrega/çimento vb.) sözkonusu etkilemenin boyutu, uygulamada çoğu kez tam olarak sayısallaştırılmaz. Daha açık anlatımıyla, beton karışım tasarımında agrega türünün ve litolojisinin sağlayabileceği somut faydalar gözardı edilmektedir [1,2,3]

Bu bildiride, [4,5] kaynağında rapor edilmiş, işlenmemiş deneysel verilerden yararlanılarak, kırma grovak ve grovak çakılının kullanıldığı betonlarda tane dayanım büyüklüğü olan % 10 ince yük değerinin beton basınç dayanımı üzerindeki etkisi Bolomey (dayanım – çimento/su oranı) ilişkisiyle analitik şekilde belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca; agrega türünün ve litolojisinin betonun gevreklik – kırılabilirlik – ölçütü olan çekme dayanımı/basınç dayanımı oranına [2] etkisi belirli bir ayrıntıda incelenmiştir. Çalışma kapsamında ele alınan konuların istatistiksel çıkarımları verilerek, uygulama açısından değerlendirmeleri yapılmıştır.

## 2. DENEYSEL VERİLERİN KISA TANIMI

### 2.1. Kullanılan Agregalar

Araştırmaya konu olan agregaların litolojisi grovak<sup>(\*)</sup> olup, beton karışımlarında kullanılan iri ve ince agrega (maksimum tane boyutu  $D_{mak}=19$  mm) agregalara ait kimi mühendislik özellikleri topluca Çizelge-1’ de takdim edilmiştir. Bildirinin yazarları tarafından yapılan istatistiksel değerlendirmenin sonuçları ise Çizelge-2’ de görülmektedir. Buna göre, iri agreganın ortalama yoğunluğu ve % 95 güven derecesine karşı gelen değişim aralığı sırayla

2,63 gr/cm<sup>3</sup> ve 2,65-2,61 gr/cm<sup>3</sup>’ dir. Su emme büyüklüğü açısından bakıldığında, aynı sırada istatistiksel değerlendirmenin sonuçları Çizelge-2’ de görülmektedir. Buna göre, iri agreganın ortalama yoğunluğu ve % 95 güven derecesine karşı gelen değişim aralığı sırayla 2,63 gr/cm<sup>3</sup> ve 2,65-2,61 gr/cm<sup>3</sup>’ dir. Su emme büyüklüğü açısından değerlendirildiğinde ise, aynı sırada anılan değer %0,93 ve %1,11-0,74 olmaktadır. Genellikle beton karışımlarında kullanılacak iri agregaların su emme değerinin %2’ den büyük olmaması istenir. İncelenen agregalar agregaların uygun olduğu ifade edilebilir. İri agreganın tane dayanım büyüklüklerinden biri olan “ %10 10 İnce Yük Değeri - % 10 İ.Y.D. – nin ortalama değeri 340 kN olup, hesaplanan değişkenlik katsayısı ise  $V=\%25$  mertebesindedir. Britanya Beton pratiğinde sıkça kullanılan değerlendirmeye göre ağır trafik yüklerine maruz beton yol kaplamalarında % 10 İ.Y.D.’nin 150 kN’ dan büyük olması istenmektedir [2]. Diğer kelimelerle sözü edilen iri agregaların mekanik yüklemelere karşı “dirençli” oldukları rahatlıkla söylenebilir.

### 2.2. Beton Karışımları, Kür koşulu ve Numune Boyutları

Beton karışımlarının genel özellikleri şöyledir: Çimento: Sülfata dayanıklı Portland çimento (ASTM V) ; Su/çimento oranı: 0.5, 0.6, 0.7 – ağırlıkça – ; karışım suyu miktarı: 145 – 175 lt/m<sup>3</sup>; İri agrega miktarı: 1020 – 1100 kg/m<sup>3</sup>; Katkı: Su/çimento oranı 0.5 ve 0.6 olan beton karışımlarında işlenebilirlik nedeniyle hava sürükleyici katkı. Karışımların çökmesi: 75 mm – (50 – 100 mm) – çökme değerini ayarlamak amacıyla, su azaltıcı katkı kullanılmıştır.

Karışımlar  $\Phi_{100 \times 200}$  mm’ lik silindir numunelerinde 24 saat saklandıktan sonra kalıplarından çıkartılarak – 28 gün – deney süresi boyunca 21° C sıcaklıktaki nemli oda – standart kür koşulları – kür edilmiştir. (Normal dayanım düzeylerinde  $\Phi_{100 \times 200}$  mm’ lik silindir dayanımı  $\Phi_{150 \times 300}$  mm silindir dayanımına eşdeğer alınabilir [6].

\* İnce kesitlerinde plajiolit, ortoz, kuvars, muskovit, biolit, pyroxene, hornblende ve Fe-Ti oksitleri belirlenmiştir. Kumtaşı dokusundaki bu kayaçlarda kristaller iri ve çok ince daneli olarak ayrılmaktadır [5].

Çizelge 1 Beton Karışımlarında Kullanılan Agrega Türleri ve Mühendislik Özellikleri \*

No**	İri Agrega	İnce Agrega	Tane Şekli	Yoğunluk, gr/cm <sup>3</sup>	Su Emme, ω, %	%10 İnce Yük Değeri, İ.Y.D., kN
1	Kırma Grovak	Kırma Grovak /Silis kumu	Yuvarlak/Köşeli	2,62	0,49	425
2	Kırma Grovak	Kırma Grovak /Silis kumu	Yuvarlak/Köşeli	2,67	0,72	360
3	Kırma Grovak	Kırma Grovak /Silis kumu	Yuvarlak/Köşeli	2,69	0,68	365
4	Kırma Grovak	Kırma / Doğal Grovak	Yuvarlak/Köşeli	2,61	0,88	410
5	Çakıl Grovak	Doğal Grovak	İri yuvarlak/Elips	2,63	1,35	305
6	Çakıl Grovak	Doğal Grovak	Yuvarlak köşeli/Elips	2,6	1,44	390
7	Çakıl Grovak	Doğal Grovak	Yuvarlak altlı/Uzun	2,62	1,00	312
8	Çakıl Grovak	Doğal Grovak	Yuvarlak/Elips	2,63	0,90	404
9	Çakıl Grovak	Grovak /Silis kumu	Yuvarlak/Altı köşeli/Elips	2,63	1,04	295
10	Çakıl Grovak	Kırma / Doğal Grovak	Yuvarlak köşeli/Elips	2,63	0,79	415
11	Çakıl Grovak	Doğal Grovak	Yuvarlak	2,63	0,78	432
12	Çakıl Grovak	Doğal Grovak	Yuvarlak	2,65	0,73	315
13	Çakıl Grovak	Grovak /Silis kumu	Yuvarlak	2,64	0,62	453
14	Grovak / Silttaşı	Doğal Grovak	Yuvarlak/Elips	2,60	1,72	220
15	Grovak / Çakıl Şist	Doğal Grovak	Yuvarlak/Elips	2,67	0,80	140

\* [4,5] kaynaklarından derlenmiştir.

\*\* Agrega işletmelerinin coğrafi bölgesini belirtir.

Çizelge 2. Beton karışımlarında kullanılan agregaların kimi mühendislik özelliklerine ait istatistiksel büyüklükler.

Mühendislik Özellikleri	n	$\bar{X}$	$\bar{X}_{alt}^{(*)}$	$\bar{X}_{üst}^{(*)}$	S	V
Yoğunluk, gr/cm <sup>3</sup>	15	2,63	2,61	2,65	0,03	0,98
Su Emme, ω, %	15	0,93	0,74	1,11	0,34	36,11
%10 İnce Yük Değeri, İ.Y.D., kN	15	349	300	399	86,33	24,71

$\bar{X}$  = Farklı mühendislik özelliklerine ait ortalama değer, n=Kullanılan data sayısı,  $\bar{X}_{alt,üst}$  = Ortalamanın alt ve üst değerleri, S=Standart Sapma, V= Değişkenlik katsayısı, % t=Student Sayısı; - %95 güvenlik katsayısı için-

$$\bar{X}_{alt,üst} = \bar{X} \mp t \cdot \frac{S}{\sqrt{n-1}}, \quad V = \frac{S}{\bar{X}} \cdot 100, \%$$

### 3. BOLOMEY (BASINÇ DAYANIMI – ÇİMETO/SU ORANI) BAĞINTISININ AGREGA FAKTÖRÜ

#### 3.1. Genel

Literatürde özellikle normal dayanımlı betonlarda kullanılan agreganın özelliklerini nümerik şekilde yansıtan amprik bağıntılardan biri de Bolomey 1926 (dayanım – çimento/su oranı) ilişkisidir [Alıntılayan 7].

$$f_b = f_c \cdot K_a \cdot \left( \frac{M_c}{M_{su}} - A \right)$$

Burada;

$f_b$  = Betonunu basınç dayanımı,

$f_c$  = Karışımda kullanılan çimentonun 28 günlük basınç dayanımı. (sülfata dayanıklı çimento, (Tür V) için  $f_c=30$  MPa alınmıştır.)

$K_a$  = Agreganın granülometrik özelliklerini ve dayanımını yansıtan amprik faktör. Granülometrik özellikleri – tane dağılımı, yüzey şekli – değişim göstermiyorsa, agrega faktörü doğrudan doğruya tane dayanım büyüklüğünün bir fonksiyonudur. [2,8].

$\frac{M_c}{M_{su}}$  = Karışımda kullanılan çimento miktarının, karışım suyuna oranı – ağırlıkça –

$A$  = Dayanım düzeyine ilişkin amprik faktör. 28 günlük dayanım sözkonusu ise  $A=0,5$  tir [alıntılayan 2].

Agrega faktörü Bolomey bağıntısından,

$$K_a = \frac{f_b}{f_c \cdot \left( \frac{M_c}{M_{su}} - 0,5 \right)}$$

olarak yazılabilir. Verilen karışım bileşenleri –  $M_c$ ,  $M_{su}$  – ve çimento norm dayanımı için agrega

faktörü “  $K_a$  ” yukarıdaki ifadeden hesaplanabilir.

#### 3.2. Kıрма Grovak ve Çakıl Agregaların Kullanıldığı Betonlarda Agreg Faktörünün Belirlenmesi

Mackechnie 2006 ham verileri (Bakınız Çizelge-2) kullanılarak hem kırma grovak, hem de grovak çakılı içeren betonlar için agrega faktörü hesaplanmıştır (Çizelge-3). Şekil-1’ de ise belirlenen “  $K_a$  ” değerlerinin aynı agregalara ait % 10 ince yük değerleriyle - % 10 İ. Y. D. – değişimleri görülmektedir. [4,5] kaynağında rapor edilen andezit, bazalt ve kireçtaşı iri agregalarının kullanıldığı betonlar için hesaplanan  $K_a$  faktörleri de Şekil – 1’ de belirtilmiştir. Aynı şekilde diğer bir tane dayanım faktörü olan agrega ezilme değerinin – A. E. D. – agrega faktörü ile ilişkisi işlenmiştir. (Sözü edilen ilişkinin %14<A. E. V.< % 30 aralığı için geçerli olduğu ve litoloji farklılığı keza dikkate alınmalıdır.) Çizelge-3 ve Şekil-1 yakından incelendiğinde pratik mühendislik açısından şu çıkarımlar yapılabilir:

- Kıрма grovağa ait agrega faktörünün ortalama değeri ( $K_a=0,963$ ) olup, çakıl grovak için hesaplanan ortalama değerden ( $K_a=0,87$ ) yaklaşık %10 büyüktür. Daha açık anlatımıyla verilen çimento türü ve su/çimento oranında kırma grovak betonun 28 günlük basınç dayanımı, grovak çakılının kullanıldığı betonun dayanımından %10 daha büyüktür. Her iki agrega türü için hesaplanan agrega faktöründe değişkenlik katsayısı %10’ un altında kalmıştır. Bu,  $K_a$  değerinin “üniform” olduğunu işaret eder. Petrografik yapıları grovaktan farklı olan andezit ve bazalt agregalarını içeren betonlara karşı gelen agrega faktörünün ortalama değeri ise 1,08 bulunmuştur. Buna göre, aynı su/çimento oranı için adı geçen iri agregaların kullanıldığı betonların 28 günlük dayanımlarından %12 daha büyük olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 3 Sertleşmiş Betonun Deney Sonuçları, 28 günlük basınç ve çekme dayanımları<sup>(\*)</sup>

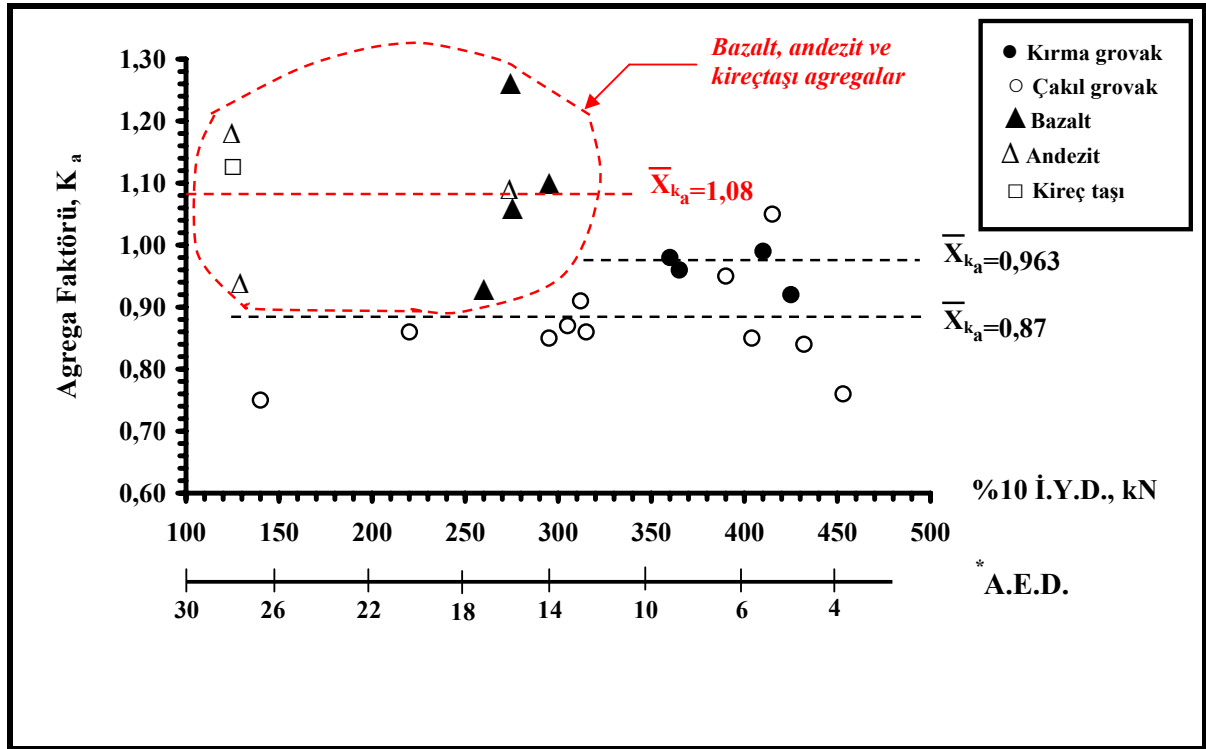
No	Su/Çimento oranı, $M_{su}/M_{çim}$	Basınç Dayanımı, $f_b$ , MPa	Yarma Çekme Dayanımı, $f_{ç,y}$ , MPa	$f_{ç,y} / f_b$ (**)	%10 İnce Yük Değeri, İ.Y.D., kN
1	0,5	43,5	4,2	0,10	425
	0,6	32,5	3,7	0,11	
	0,7	24,5	3,1	0,13	
2	0,5	44,8	3,7	0,08	360
	0,6	34,1	3,4	0,10	
	0,7	27,3	3,3	0,12	
3	0,5	43,4	4,2	0,10	365
	0,6	33,6	3,9	0,12	
	0,7	26,5	3,1	0,12	
4	0,5	41,5	3,9	0,09	410
	0,6	33,7	3,5	0,10	
	0,7	29,9	3,3	0,11	
5	0,5	38,8	3,5	0,09	305
	0,6	30,9	3,2	0,10	
	0,7	23,8	2,6	0,11	
6	0,5	50,4	4,7	0,09	390
	0,6	30,3	3,5	0,12	
	0,7	23,8	2,9	0,12	
7	0,5	47,1	4,4	0,09	312
	0,6	32,3	3,5	0,11	
	0,7	21,4	2,7	0,13	
8	0,5	38,5	3,5	0,09	404
	0,6	30,5	3,3	0,11	
	0,7	23,0	2,5	0,11	
9	0,5	46,5	3,7	0,08	295
	0,6	27,5	3,0	0,11	
	0,7	20,5	2,4	0,12	
10	0,5	49,5	4,5	0,09	415
	0,6	37,5	4,3	0,11	
	0,7	27,5	3,4	0,12	
11	0,5	40,0	4,3	0,11	432
	0,6	28,5	4,1	0,14	
	0,7	22,9	3,4	0,15	
12	0,5	45,5	4,2	0,09	315
	0,6	30,0	3,2	0,11	
	0,7	20,0	2,6	0,13	
13	0,5	38,5	3,9	0,10	453
	0,6	25,0	3,5	0,14	
	0,7	19,8	2,8	0,14	
14	0,5	37,5	4,1	0,11	220
	0,6	32,0	3,3	0,10	
	0,7	23,0	3,0	0,13	
15	0,5	37,5	3,2	0,09	140

(\*)[5] kaynağı., sayfa 394, 2006. Kaynağından alınmıştır

(\*\*)Bu oran, bildiri yazarları tarafından hesaplanmıştır.

- İncelenen  $K_a$  faktörü, tane dayanım faktörlerinden bir anlamda kaya numunesinin tek eksenli basınç değerinden " $\sigma_k$ " bağımsızdır. Bu olgu normal dayanımlı betonlarda gözlenmektedir. Diğer kelimelerle, anılan dayanım düzeylerinde – büyük su/çimento oranlı beton – agreganın mekanik büyüklüklerinin beton dayanımı üzerindeki etkileri büyük ölçüde maskelenmektedir. Beton basınç dayanımı

artıkça, diğer bir deyişle su/çimento oranı azaldıkça, agreganın mekanik büyüklükleri, beton basınç dayanımı ve elastik modülü üzerindeki etkisi daha belirgin şekilde ortaya çıkmaktadır [9]. Kireçtaşı agregasının kullanımı durumunda ise mekanik özelliklerin yanısıra kimyasal aderans – kenetlenme – olgusu da önem taşımaktadır. [10].



Şekil 1 Bolomey basınç-çimento/su bağıntısından kırma grovak ve çakıl agregalar için çıkarılan agrega faktörünün çeşitli tane dayanım büyüklükleri ile değişimi ( $\bar{X}_{k_a} = K_a$  değerlerinin ortalaması, % 10 İ. Y. D. = % 10 ince yük değeri, \* A. E. D.=Agrega ezilme değeri. A.E.D. = 38 - 0,08 . (%10 İ.Y.D.) - %14 <A. E. D.<%30 aralığında geçerli –alıntılanan [11]).

### 3.3. Agregasyon Türü Bazında (Basınç Dayanımı –Çimento/Su oranı) Bağıntılarının Çıkarılması

Çizelge-3’ de belirtilen ortalama agrega faktörleri dikkate alınır, Bolomey (basınç dayanımı- çimento/su oranı) ifadeleri şöyle ifade edilebilir:

- Agregasyon türü: Kırma grovak

$$f_b = 28,89 \cdot \left( \frac{M_\phi}{M_{su}} - 0,5 \right) \text{ ,MPa}$$

- Agregasyon türü: Grovak çakılı

$$f_b = 26,1 \cdot \left( \frac{M_\phi}{M_{su}} - 0,5 \right) \text{ ,MPa}$$

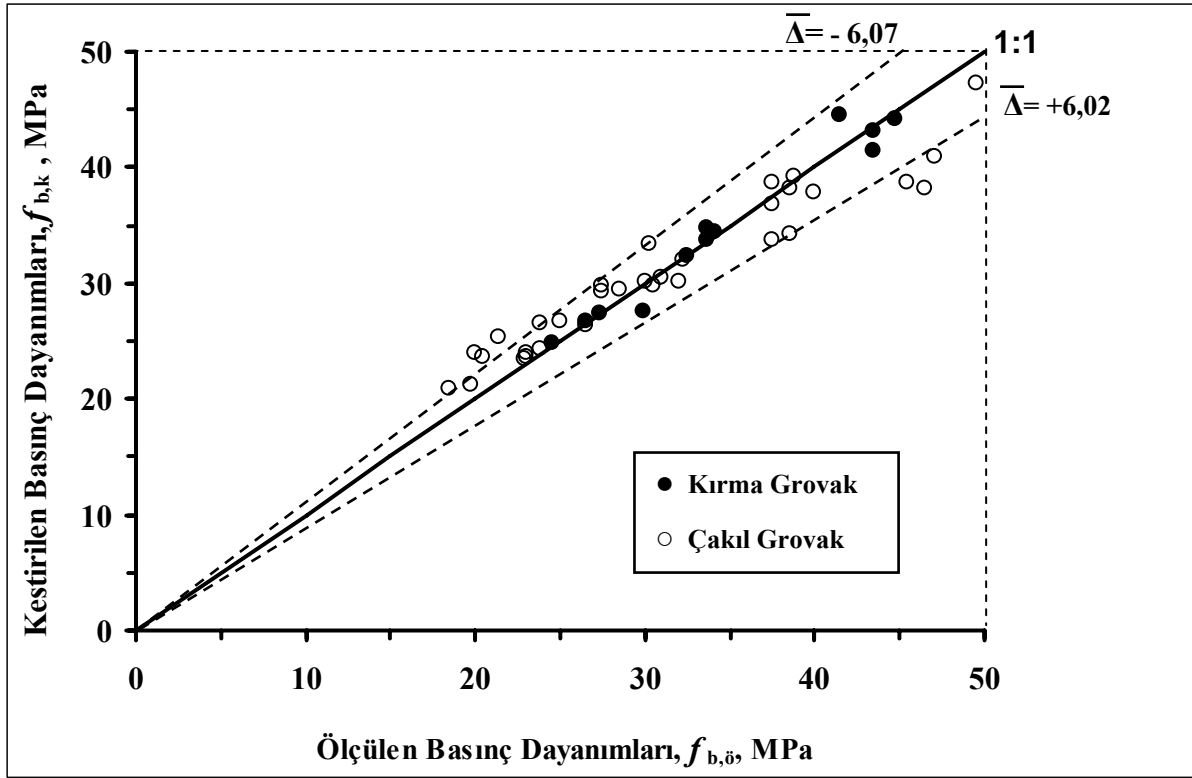
Bolomey bağıntısından hesaplanan basınç dayanımlarının ölçülen dayanım değerleriyle karşılaştırılması 1:1 tekniğiyle Şekil-2’ de

yapılmıştır. Şekilden görüleceği gibi ortalama sapmalar  $\Delta \pm \%10$ ' un altında kalmıştır. Ayrıca regresyon analiziyle her iki agrega türü için (dayanım – çimento/su oranı) ifadeleri çıkartılmıştır (Şekil-3a ve b). Aynı şekil üzerinde ortalama agrega faktörü ve verilen norm çimento dayanımına ait Bolomey bağıntıları işlenmiştir. İlginçtir ki, ifadelerin değişimleri aynıdır. Şekil-3a' da aynı kaynaktan rapor edilen andezit, bazalt ve kireçtaşı' nın iri agrega olarak kullanıldığı betonlara ait dayanım düzeyleri işlenmiştir. Açıkça ki, aynı (çimento/su) oranında agrega litolojisinin değişimi – kırma taş bazında – betonun 28 günlük basınç dayanım değeri üzerinde önemli etkisi olmaktadır. Kısacası, aynı (çimento/su) oranı için bazalt, andezit ve kireçtaşı agregalarının kullanıldığı betonların basınç

dayanımı, kırma grovaklı betonunkinden daha büyüktür.

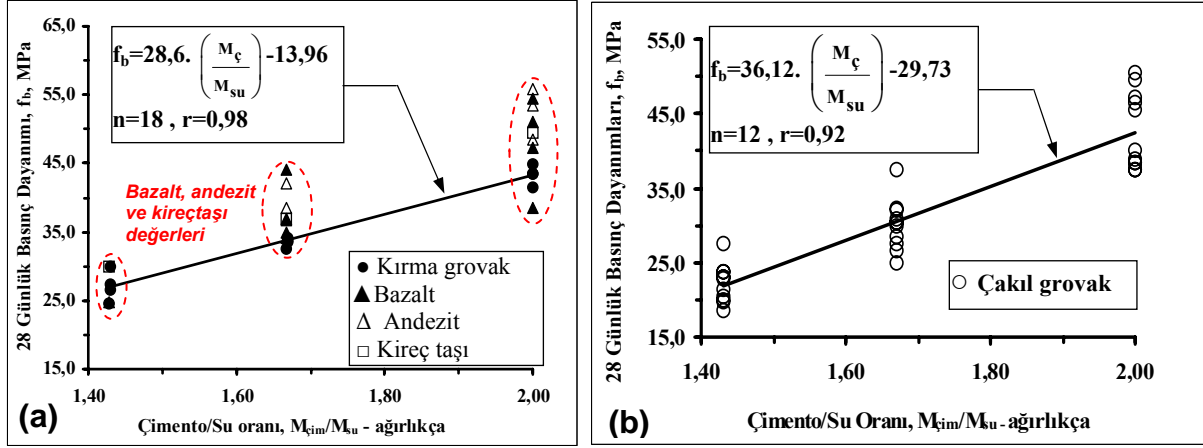
### 3.4. Yarma Çekme Dayanımı/Basınç Dayanımı Oranının Agrega Türü Bazında İncelenmesi

(Yarma çekme dayanımı/basınç dayanımı) oranı malzemenin önemli bir karakteristik büyüklüğü olup, betonun “gevreklik – kırılmalık – ölçütü”nü belirler. Anılan oranın büyük değeri alması, malzemenin “sünek” davranışını sergilerken, küçük değeri alması ise “kırılmalığı” gösterir. Bu oran, basınç dayanımına hassas bir şekilde bağımlıdır. Ve artan basınç dayanımıyla, sözü edilen oran azalır [12,13]. Grovak agregaları içeren betonlara ait ( $f_{c,y}/f_b$ ) oranı ile ( $f_b$ ) arasında, bu



Şekil 2 Kırma grovak ve çakıl grovak agregalarının kullanıldığı betonlarda ölçülen 28 günlük basınç dayanımları ve Bolomey bağıntısından elde edilen basınç dayanımlarının 1:1 tekniği ile gösterimi ve

hesaplanan ortalama sapma miktarları  $\left( \text{Sapma, } \Delta = \frac{f_{b,\text{ö}} - f_{b,k}}{f_{b,\text{ö}}} \cdot 100, \% \right)$



Şekil 3 (a) Kırma grovak agregasının kullanıldığı betonlarda 28 günlük basınç dayanımının (çimento/su oranı) ile değişimi ve bazalt, andezit, kireçtaşı betonlarla karşılaştırılması (b) Grovak agregalı betonlarda (28 günlük basınç dayanımı – su/çimento oranı) ifadesi. ( $f_c$  = Çimentonun 28 günlük basınç dayanımı,  $f_c=30$  MPa,  $n$ = Kullanılan veri sayısı,  $r$  = Korelasyon katsayısı).

bildirinin yazarları tarafından çıkartılan regresyon bağıntısının değişimi Şekil-4’ te görülmektedir. Aynı şekilde [13] kaynağından çıkartılmış regresyon bağıntısı da çizilmiştir. Ayrıca; [4] kaynağında rapor edilen andezit, bazalt ve kireçtaşı içeren betonlara ait dayanım değerlerinden hesaplanan ( $f_{c,y}/f_b$ ) oranları da Şekil-4’ de işlenmiştir.

Şekil-4 yakından incelendiğinde elde edilen sonuçlar şöyle sıralanabilir:

- Grovak agregalarının kullanıldığı betonlara ait sözkonusu oran basınç dayanımıyla ifade edilmektedir. Artan basınç dayanımıyla ( $f_b$ ), ( $f_{c,y}/f_b$ ) oranı belirgin biçimde azalmaktadır. Daha açık deyişle, basınç dayanımının büyük olduğu durumda malzeme “gevrek” özellik kazanmaktadır.
- Yaygın olarak kırmataş – kireçtaşı içeren betonlar için elde edilen  $f_{c,y}/f_b = 0,387 \cdot f_b^{-0,37}$  amirik bağıntısı bu çalışma kapsamında çıkartılan,  $15 \text{ MPa} < f_b < 50 \text{ MPa}$  aralığında geçerli olan regresyon bağıntısıyla iyi bir uyum içindedir.
- Andezit, bazalt iri agregalı betonlarda –  $32,5 \text{ MPa} < f_b < 55 \text{ MPa}$  – ise sözü edilen oran Şekil-4’ de belirtilen ifadelerin altında yer

almaktadır. Diğer kelimelerle andezit, bazalt gibi daha sağlam iri agregalardan üretilen betonlar aynı basınç dayanımı düzeyinde kırma grovaklı agregalı betonlara kıyasla daha gevrek bir davranış sergilemektedirler.

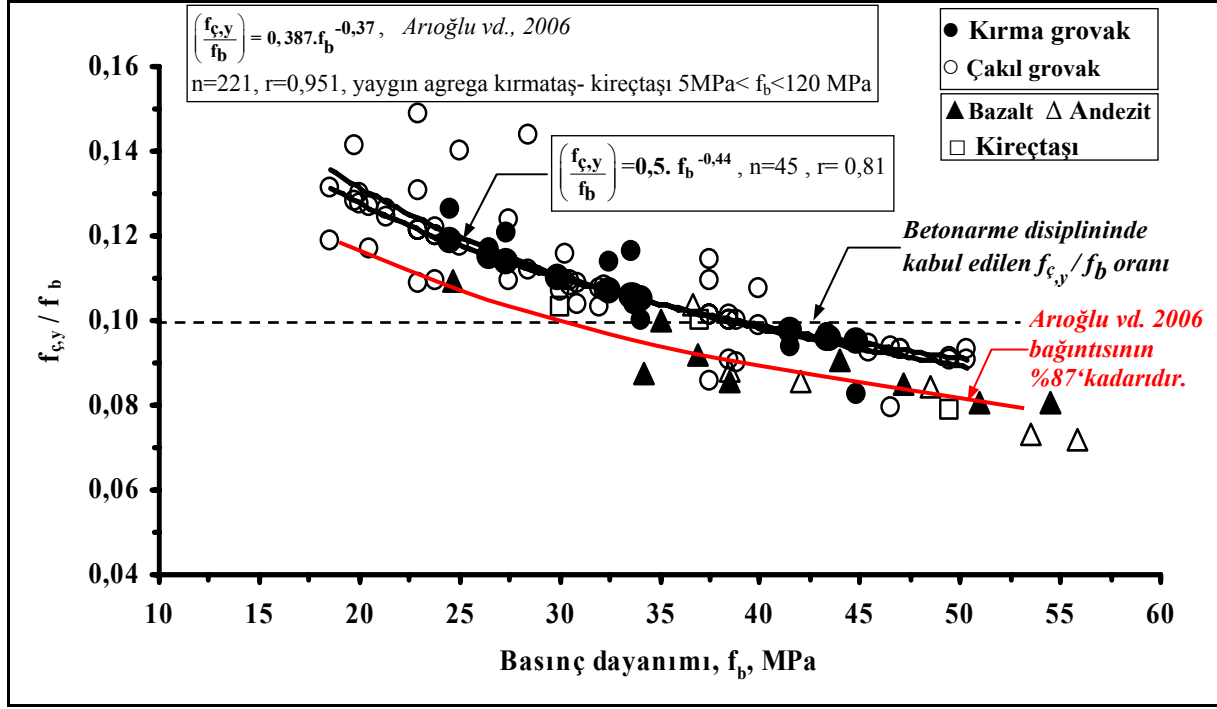
- Betonarme disiplinde yazılan kitaplarda yaygın bir şekilde kullanılan ( $f_{c,y}/f_b$ ) oranının değeri kesinlikle 0,10 olmamaktadır [14].

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında incelenen konulardan elde edilen belli başlı sonuçlar şöyle özetlenebilir:

- Aynı çimento norm dayanımı ve su/çimento oranı için kırma grovakların kullanıldığı betonların 28 günlük basınç dayanımı, çakıl grovaklı betonların basınç dayanımından yaklaşık %10 daha büyüktür (Çizelge-3). Bu sonuç büyük ölçüde kırmataş ile çimento hamuru arasında gelişen “mekanik aderans”ın daha güçlü olmasıyla ilişkilidir.





Şekil 4 Kırma ve çakıl grovak agregaların kullanıldığı betonlarda 28 günlük basınç dayanımının, yarma-çekme dayanımı / basınç dayanımı oranı arasında çıkartılan çeşitli regresyon bağıntıları değişimi ve regresyon analizinde yer almayan bazalt, andezit ve kırmataş betonlara ait dayanım değerleri ile karşılaştırılması ( $f_{c,y}$ =Yarma çekme dayanımı,  $f_b$ =Basınç dayanımı  $n$ =Kullanılan veri sayısı,  $r$ = Korelasyon katsayısı ).

- Her iki agrega türünde, Bolomey bağıntısının agrega faktörü, agrega tane dayanım büyüklüğünden – %10 ince yük değeri – tamamen bağımsızdır (Şekil-1). İncelenen dayanım düzeyinde – su/çimento oranı 0,7 ile 0,5 arasında değişmiştir – bu sonuç normaldir. Daha açık deyişle, agreganın mekanik büyüklüklerinin betonun basınç dayanımına etkisi yüksek/çok yüksek dayanım düzeyinde daha belirgin olmaktadır. (Aynı çimento türü ve su/çimento oranında iri agreganın tane dayanımının artması, betonun basınç dayanımını artırır.)
- Betonun gevreklik ölçütü olan  $\left( \frac{\text{yarma çekme dayanımı}}{\text{basınç dayanımı}} \right)$  oranı, basınç dayanımının bir fonksiyonudur (Şekil - 4).

Artan basınç dayanımıyla sözkonusu oran azalmakta, daha açık anlatımıyla malzeme “gevrek” davranış sergilemektedir. Verilen basınç düzeyi için karakteristik oranı denetleyen belli başlı etmenler agrega litolojisi ve yüzey özellikleridir. Örneğin, iri agreganın andezit, bazalt olması durumunda aynı dayanım düzeyinde incelenen oran grovak içeren betonlara ait değerden daha küçüktür.

- Betonarme disiplininde yazılan yerli/yabancı dildeki kitaplarda (Yarma çekme dayanımı/basınç dayanımı)oranı 0,10 olarak belirtilmektedir. Halbuki, anılan oran en genel anlamıyla  $f_{c,y}/f_b = f$  (Agrega litolojisi, basınç dayanımı) şeklinde değişmektedir ve büyüklüğü 0,10’ dan farklıdır (Bkz Şekil-4).

### Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmanın yapılması ve yayınlanması konusunda gösterdikleri akademik teşvikten ötürü başta Yapı Merkezi Holding A.Ş.'nin Onursal Başkanı Dr. Müh. Sayın Ersin ARIOĞLU olmak üzere, Yönetim Kurulu Başkanı Yüksek Mühendis Sayın Emre AYKAR' a ve diğer üyelere teşekkürlerini burada açıklamak isterler. *Çalışmada yapılan çıkarım ve görüşlerden yazarları sorumlu olup, çalıştıkları kurumu bağlamaz.*

### Kaynaklar

[1]Arioğlu, Ergin, Arioğlu, N., Yılmaz, A. O., Çözümlü Beton Agregaları, Evrim Kitabevi, İstanbul, 1999, s198.

[2]Arioğlu Ergin., Arioğlu N., Yılmaz A.O., “Beton Agregaları Çözümlü Problemler – Bilgi Föyleri –”, Evrim Yayınevi, İstanbul, 2006.

[3]Yılmaz, A.O., Arioğlu N., Arioğlu Ergin., Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonlarda Elastik Modül/Basınç Dayanımı Oranının Araştırılması, *Prefabrikasyon Dergisi*, Sayı 77-78, İstanbul, Nisan 2006.

[4]Mackechnie, J. R., “ Properties of New Zealand Concrete Aggregates”, Technical Report 11 (TR 11), September 2003.

[5]Mackechnie, J. R., “ Shrinkage of Concrete Containing Greywacke Sandstone Aggregate”, *ACI Materials Journal*/September-October 2006, Vol. 103, No. 5, pp 390-396.

[6]Arioğlu Ergin, Arioğlu N., Girgin C., “Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonlarda Numune – Şekil ve Boyut Etkisi, Hazır Beton , Ocak – Şubat, 1999, s 40-51.

[7]Popovics, S., “Strength and Related Properties of Concrete”, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1998.

[8]Arioğlu Ergin, Kurt G., Demirtunç H., Discussion of “*Using Clay Brick as Coarse Aggregate in Concrete*” by Fouad M. Khalaf, DOI: 10.1061/(ASCE)0899-1561(2006)18:4(518), *July/August 2006*, Vol. 18, No. 4, pp 18-26.

[9]Arioğlu, Ergin, Köylüoğlu, Ö., S., Discussion of “ *Coarse Aggregate Strength in High Strength Concrete by T. P. Chang, N. K. Su*”, *ACI Materials Journal* / November – December, 1996, pp 637 – 639.

[10]Arioğlu, Ergin, “ M. Tokyay’ ın Agregatı Tipinin Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Özelliklerine Etkileri” makalesine tartışma yazısı, İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergisi, Yazı:130, Ankara, 1998, s1829 – 1833.

[11] Alexander, M., Mindess, S., “ Aggregates in Concretes, Taylor & Francis, London and New York, 2005.

[12]Arioğlu Ergin, Girgin C., Arioğlu N., “Betonda Çekme/Basınç Dayanım Oranının İrdelenmesi”, *Hazır Beton*, Ocak – Şubat, 2002, s 58 – 63.

[13]Arioğlu Ergin, Arioğlu N., Girgin C., “Evaluation of Ratio between Splitting Tensile Strength and Compressive Strength for Concretes up to 120 MPa and its Application in Strength Criterion”, *ACI Materials Journals*, Vol.103, No.1, January–February 2006, pp 18-24.

[14]Arioğlu, Ergin, “V. Yerlici ve U. Ersoy tarafından yazılan “*Betonun Çekme ve Basınç Dayanımı arasındaki İlişki*” adlı makaleye ait tartışma yazısı. İ.M.O. Teknik Dergi, Ankara, 1996, s 1059 - 1062.