



## UÇUCU KÜL İKAMELİ BETONLARDA VİBRASYON SÜRESİNİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Serkan SUBAŞI<sup>1</sup>, Yılmaz KOÇAK<sup>1</sup>, Ahmet BEYÇİOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Düzce Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Düzce, serkansubasi@duzce.edu.tr, yilmazkocak@duzce.edu.tr

<sup>2</sup>Düzce Üniversitesi, Kaynaşlı Meslek Yüksekokulu, Teknik Programlar, Düzce, abeycioglu@duzce.edu.tr

*Geliş Tarihi: 29.03.2010      Kabul Tarihi: 18.05.2010*

### ÖZET

Bu araştırmanın amacı, beton sektöründe yaygın olarak kullanılan uçucu kül ikamelili betonlarda vibrasyon süresinin betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine olan etkisini belirlemektir. Bu amaçla, içerisinde %10 oranında uçucu kül ikamesi kullanılan C30 betonu hazırlanmıştır. Hazırlanan beton karışımından 21 adet 15x15x15 boyutlarında küp kalıba taze beton doldurulmuştur. Kalıplar içerisindeki taze betonlar 0, 5, 10, 15, 17, 20 saniye süre ile vibrasyona tabi tutulmuştur. Numuneler 28 gün kür edildikten sonra deneylere başlanmıştır. Hazırlanan numuneler, yoğunluk, görünür boşluk oranı, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve doğrudan çekme (pull-off) deneylerine tabi tutulmuştur. Deneylerden elde edilen veriler üzerinde istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, vibrasyon süresine bağlı olarak betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinde önemli değişikliklerin olduğu belirlenmiştir. Vibrasyon uygulanmayan numunelerin en düşük dayanıma, 15 saniye süre ile vibrasyon uygulanan numunelerin ise en büyük dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Beton, uçucu kül, vibrasyon süresi, basınç dayanımı, birim ağırlık.*

### THE EFFECT OF VIBRATION PERIOD ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES AT FLY ASH REPLACED CONCRETE

#### ABSTRACT

The purpose of this study is to determine the effect of vibration period on physical and mechanical properties in the fly ash replaced concrete widely used in the concrete industry. For this purpose, C30 concrete which used inside the 10% contribution of fly ash was prepared. Prepared by mixing concrete cube mold in size 15x15x15 cm and 21 pieces of fresh concrete was filled. Vibration operation was performed the fresh concrete in molds during 0, 5, 10, 15 and 20 seconds. Experiments on the samples were started after 28 days curing. Prepared samples, unit weight, percentage of space, pulse velocity, compressive strength resistance and direct capture (pull-off) have been subjected to experiments. The statistical analyses on the data obtained from experiments were carried out. As a result, depending on the vibration period of important changes in physical and mechanical properties of concrete that has been identified. Enforced minimum strength of vibration samples, 15 seconds for a period of vibration applied to the samples were determined to be the greatest strength.

**Key Words:** *Concrete, fly ash, vibration period, compressive strength, unit weight.*

#### 1. GİRİŞ

Betonun kalitesini sorgulamada en önemli parametre beton basınç dayanımı, beton basınç dayanımının da direkt olarak etkilendiği ana bileşen çimentodur [1]. Çimento yüksek mukavemeti nedeniyle inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat inşaat sektöründe çimento kullanımının fazla olması nedeniyle çimento hammaddeleri hızla tükenmektedir. Bu hammaddelerin yerine daha ucuz ve benzer kompozisyona sahip malzemelerin kullanılmasıyla beton kalitesi düşürülmeden, üretim maliyetleri azaltılabilmektedir [2]. Bu nedenle

inşaat sektöründe kaynakların tükenmesini azaltmak için geri dönüştürülmüş ikincil malzemelerin kullanımı son yıllarda üzerinde yoğun araştırmaların yapıldığı bir konudur [3]. Çimento ve betonda kullanılan ikincil malzemeler arasında puzolanik özellik gösteren malzemeler önemli bir yer tutmaktadır. Puzolan, tek başına bağlayıcılık özeliği olmayan ancak ince öğütülüp normal sıcaklıktaki nemli ortamda kalsiyum hidroksitle kimyasal reaksiyona girerek bağlayıcılık özeliği gösteren malzeme olarak tanımlanmaktadır. Puzolanlara örnek olarak uçucu kül, öğütülmüş yüksek fırın cürufu, tras ve silis dumanı gösterilebilir [4].

Uçucu kül puzolanik özeliği olan ve betonun birçok özeliğini olumlu etkileyen değerli bir beton katkısıdır. Son yıllarda inşaat mühendisliği yapılarında uçucu kül kullanımı giderek yaygın hale gelmektedir. Ekonomik ve çevresel faydalarının yanı sıra, kalıba kolay yerleştirilme ve sıkıştırılma gibi taze beton özelliklerini geliştirmesi, hidrasyon ısısını düşürmesi, sülfat saldırısı ile alkali silika reaksiyonunu önlemesi gibi birçok yapısal avantaj sağladığı yapılan çalışmalarda bildirilmektedir [1, 5, 6, 7]. Ayrıca dayanıklılığı daha yüksek betonlar elde etmek için uçucu kül ve benzeri çimento özeliği gösterebilen malzemelerin yüksek oranda kullanımı üzerinde de birçok çalışma yapılmaktadır [8].

Beton bileşiminde kullanılan malzemeler ne olursa olsun betonun kalıba yerleştirilme yöntemi ve uygulama süresi, betonun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde çok etkilidir. Üretilen taze betonun kalıbına yoğun ve homojen olarak yerleşmesini sağlamak için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Yerinde üretilen geleneksel betonarme yapı sistemleri için en uygun vibrasyon yöntemi dalgıç vibratörlerle betonun sıkıştırılmasıdır. Uygulanan vibrasyon sonucu beton kütlesi içerisinde titreşim dalgaları oluşmakta, tanelerin titreşime uğraması ve hareketliliği sonucu hava boşlukları yok edilerek beton sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırılmış taze betonda kompasitenin yükseltilmesi sonucu beton kalitesi, yani sertleşmiş betonun dayanım ve dayanıklılığı önemli oranda artırılmış olmaktadır. Ayrıca betonla donatı arasındaki aderans güçlenerek betonarmenin monolitik davranışına olumlu katkı sağlamaktadır [9, 10].

Taze betonun kalıba yerleştirilmesinde iki önemli hedef vardır. Bunlardan birincisi, betonu kalıbın her tarafına yaymak ve donatıları devamlı bir şekilde kaplamasını sağlamaktır. İkincisi ise, kalıba dökülen betonu sıkıştırmak, böylelikle hava boşluklarını dışarıya çıkartarak kompasiteyi artırmaktır. Bu iki hedefe ulaşabilmek için de betonun iyi bir şekilde sıkıştırılması gerekmektedir [11]. İyi bir sıkıştırma işleminde uygulanan vibrasyon süresi çok önemlidir. Vibrasyon süresi çok kısa tutulduğu zaman taze beton içerisinde hapsolmuş havanın önemli bir bölümü dışarıya çıkartılamamaktadır. Bu nedenle gözenekli, yoğunluğu az, geçirgenliği yüksek, dayanımı ve dayanıklılığı düşük bir beton elde edilmektedir. Aşırı sürede vibrasyon yapılması halinde ise, betonda segregasyon, beton yüzeyindeki bazı bölgelerinde daha kumlu bir beton oluşması (bu durum özellikle düşük dozlu betonlarda görülür), kalıplarda aşırı deformasyon ve/veya çökme gibi olumsuzluklar görülmektedir [12].

Bu amaçla yapılan çalışmada, beton sektöründe yaygın olarak kullanılan uçucu kül ikameli betonlarda vibrasyon süresinin betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine olan etkisi araştırılmıştır. Bu etkileri belirleyebilmek için yoğunluk, boşluk oranı, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve doğrudan çekme (pull-off) dayanımı deneyleri yapılmış ve elde veriler üzerinde istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

Deney numunelerinin hazırlanmasında beton içerisinde Bolu Çimento Fabrikasında üretilmiş olan CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 1’de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Çalışmada kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal kompozisyon (%)	
SiO <sub>2</sub>	19,62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,59
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,49
CaO	63,8
MgO	1,74
SO <sub>3</sub>	2,98
Na <sub>2</sub> O	0,24
K <sub>2</sub> O	0,51
Kızdırma kaybı	2,57
Çözünmeyen kalıntı	0,31
Serbest CaO	2,53
Fiziksel özellikler	
Priz başlangıcı (dakika)	150
Priz sonu (dakika)	180
Hacim sabitliği (mm)	1
Özgül yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3872
Mekanik özellikler	
Basınç dayanımı (MPa)	
2. Gün	25,8
7. Gün	34,6
28. Gün	53,3

Hazırlanan beton karışım tasarımında çimento ağırlığının %10'u kadar Orhaneli termik santralinden temin edilen C sınıfı uçucu kül (UK) çimento ile ikame edilerek kullanılmıştır. Kullanılan UK'ya ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Çalışmada kullanılan UK'nın kimyasal analiz sonuçları

Bileşenler	(%)
SiO <sub>2</sub>	41,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,95
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,84
CaO	17,95
MgO	7,04
SO <sub>3</sub>	2,59
Na <sub>2</sub> O	2,94
K <sub>2</sub> O	2,14

Beton karışımı içerisinde 0-5, 5-15 ve 15-25 mm boyutlarında Melen Nehrinden elde edilen doğal kırma taş agrega kullanılmıştır. Karışım suyu olarak Düzce ili Konuralp yerleşkesi şehir şebeke suyu katılmıştır. Beton karışımında istenilen işlenebilirliğin sağlanabilmesi amacıyla ayrıca % 1 oranında İKSA firmasından temin edilen süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılmıştır.

## 2.2. Metot

### 2.2.1. Deney numunelerinin hazırlanması

Beton numunelerinin karışımları TS 802 standardına uygun olarak tasarlanmıştır [13]. Tasarımı gerçekleştirilen C30 betonunun karışım miktarları Çizelge 3'de verilmiştir.

**Çizelge 3.** 1m<sup>3</sup> Beton karışımında bulunan malzeme miktarı

Malzeme	Ağırlık (kg)	Yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )
Çimento	370	3,1
Su	181	1
Kimyasal katkı	3,7	1,2
Agrega 0-5	526	2,60
Agrega 5-15	468	2,71
Agrega 15-25	454	2,74

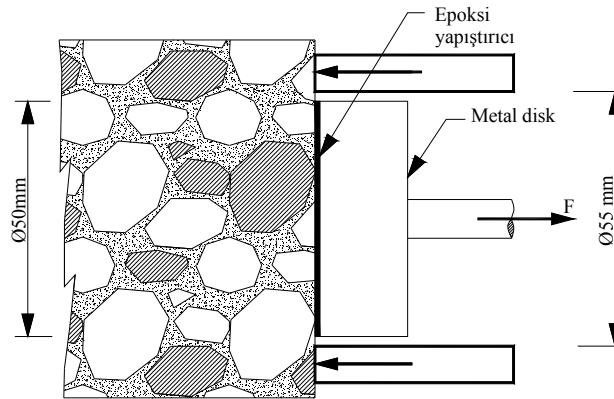
Vibrasyon süresinin beton basınç mukavemetine etkisini belirlemek için hazırlanan taze beton numuneleri 5, 10, 15, 17 ve 20 saniye (s) süre ile frekansı 3000 vuruş/dakika olan 50 Hz. motorlu vibratör masasında vibrasyona tabi tutulmuştur. Belirlenen her vibrasyon süresi için 3 adet 15x15x15 boyutlarında küp kalıplar içerisinde deney numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 28 gün suda kür edildikten sonra deneylere tabi tutulmuştur.

**2.2.2. Basınç dayanımı deneyi**

Basınç dayanımı deneyi, karot numuneler üzerinde TS EN 12390-3 standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır [14]. Deneyde, 3000 kN yükleme kapasiteli, dijital kumanda ünitesi ve yükleme hızı ayarlanabilen tek eksenli beton basınç deney cihazı kullanılmıştır.

**2.2.3. Betonun doğrudan çekme dayanımının tayini (Pull-off)**

Betonun doğrudan çekme dayanımı Şekil 1'deki gibi beton yüzeyine yaklaşık 2 mm kalınlığında sürülen çift komponentli epoksi ile yapıştırılan metal bir diskin çekilmesi ile belirlenmiştir. Deney beton döküm işleminden sonra numuneler üzerinde 6 farklı noktadan ASTM C1583-04 standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır [15].



**Şekil 1.** Betonun doğrudan çekme deney düzeneği

**2.2.4. Beton yoğunluğu ve görünür boşluk oranı tayini**

Beton yoğunluğunun tayini deneyi, TS 12390-7 standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir [16]. Görünür boşluk oranı tayini ise TS 3624 standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır. Boşluk oranının hesaplanmasında Eşitlik 1 kullanılmıştır [17].

$$B_o = \frac{C - A}{C - D} \cdot 100 \quad [1]$$

Formülde;

$B_o$ = Görünür boşluk oranı, %

C= Kaynatmadan sonraki doymuş kuru yüzey ağırlığı, g

A= Etüv kurusu ağırlığı, g

D= Kaynatmadan sonraki sudaki ağırlığı, g  
ifade etmektedir.

### 2.2.3. Ultrases geçiş hızı deneyi

Beton numunelerde ultrases geçiş hızı ölçümü beton presinde kırılacak olan numuneler üzerinde ASTM C597-83 standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır [18].

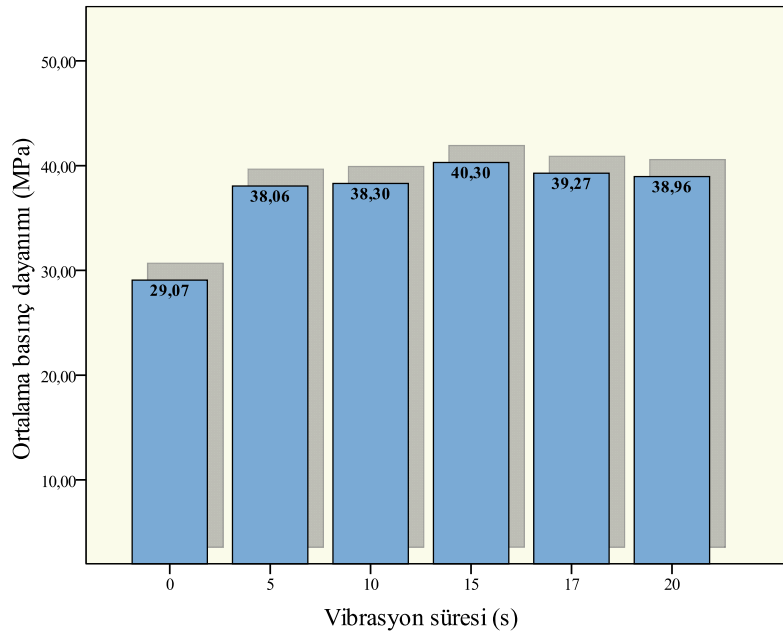
## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 3.1. Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı deneylerinin sonucunda elde edilen verilere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4'te verilmiştir. Ayrıca elde edilen ortalama basınç dayanımı değerlerine ait grafik Şekil 2'de görülmektedir.

**Çizelge 4.** Basınç dayanımı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Vibrasyon süresi (s)	Numune sayısı	Ortalama basınç dayanımı (MPa)	Std. hata	%95 Güven aralığında ortalamanın	
				Alt sınırı	Üst sınırı
0	3	29,0667	1,01604	24,6950	33,4383
5	3	38,0567	0,03930	37,8876	38,2258
10	3	38,2967	0,08876	37,9148	38,6786
15	3	40,3033	0,56922	37,8542	42,7525
17	3	39,2733	0,06936	38,9749	39,5718
20	3	38,9600	0,07572	38,6342	39,2858



Şekil 2. Ortalama basınç dayanımı değerlerine ait grafik

Şekil 2 incelendiğinde, vibrasyon uygulanmayan beton basınç dayanımı değerinin, vibrasyon uygulanan diğer tüm betonlardan daha düşük olduğu görülmektedir. 15 s süre ile vibrasyon uygulanan beton, en yüksek dayanım değerine ulaşmıştır.

Elde edilen deney sonuçlarının istatistiksel olarak karşılaştırılması amacıyla tek yönlü varyans analizi uygulanmıştır. Analiz sonucunda gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu görülmüştür. Bu sonuç beton basınç dayanımı değerlerinin vibrasyon süresine bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğini ifade etmektedir. Grupların karşılaştırılmasında SNK (Student-Newman-Keuls) çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Elde edilen SNK testi sonuçları Çizelge 5’te verilmiştir.

Çizelge 5. Basınç dayanımı değerlerine ait SNK testi sonuçları

Vibrasyon süresi (s)	Numune sayısı	Farklı olan gruplar ( $p \leq 0,05$ )		
		1	2	3
0	3	29,0667		
5	3		38,0567	
10	3		38,2967	38,2967
20	3		38,9600	38,9600
17	3		39,2733	39,2733
15	3			40,3033

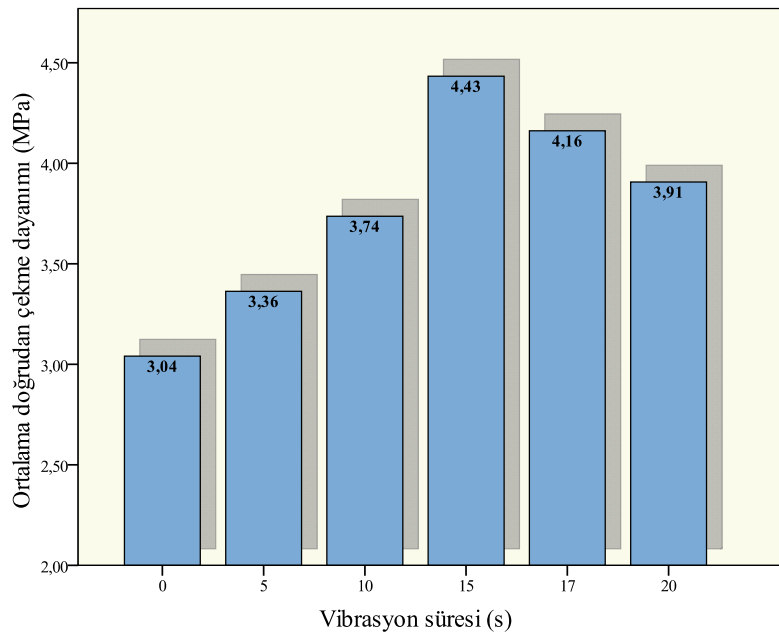
SNK testi sonuçlarına göre; 15s vibrasyon uygulanan betonun 40,30 MPa ile en yüksek, vibrasyonsuz betonun ise 29,06 MPa ile en düşük basınç dayanımı değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. 15 s vibrasyon uygulaması ile basınç dayanımında vibrasyon uygulanmayan betona göre %38,7 oranında bir artış sağlanabileceği görülmüştür. Diğer taraftan 17 ve 20 s süre ile vibrasyon uygulanan betonların dayanım değerlerinde 15 s vibrasyon süresine göre düşüş meydana gelmiştir. En yüksek dayanıma göre 20 s vibrasyon uygulandığında, dayanım değeri %4,7 oranında düşmektedir.

### 3.2. Betonun Doğrudan Çekme Dayanımı (Pull-off)

Doğrudan çekme dayanımı (Pull-off) deneyi sonucunda elde edilen verilere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 6'da, ortalama doğrudan çekme dayanımı değerlerine ait grafik ise Şekil 3'te verilmiştir.

Çizelge 6. Doğrudan çekme dayanımı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Vibrasyon süresi (s)	Numune sayısı	Ortalama doğrudan çekme dayanımı (MPa)	Std. hata	%95 Güven aralığında ortalamasının	
				Alt sınırı	Üst sınırı
0	3	3,0403	0,08988	2,6536	3,4270
5	3	3,3631	0,05884	3,1099	3,6162
10	3	3,7367	0,01699	3,6636	3,8098
15	3	4,4331	0,05096	4,2139	4,6524
17	3	4,1614	0,03397	4,0152	4,3075
20	3	3,9066	0,08988	3,5199	4,2933



Şekil 3. Ortalama doğrudan çekme dayanımı değerlerine ait grafik

Şekil 3'te vibrasyon uygulanmayan betonun doğrudan çekme dayanımı değerinin, vibrasyon uygulanan diğer tüm betonlardan daha düşük olduğu görülmektedir. Basınç dayanımında olduğu gibi 15 s süre ile vibrasyon uygulanan beton, en yüksek dayanım değerine ulaşmıştır.

Elde edilen deney sonuçları üzerinde tek yönlü varyans analizi uygulanmıştır. Analiz sonucunda gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu görülmüştür. Bu sonuç betonun doğrudan çekme dayanımı değerlerinin vibrasyon süresine bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğini ifade etmektedir. Grupların karşılaştırılmasında SNK çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Elde edilen SNK testi sonuçları Çizelge 5'te verilmiştir.

**Çizelge 7.** Doğrudan çekme dayanımı değerlerine ait SNK testi sonuçları

Vibrasyon süresi (s)	Numune sayısı	Farklı olan gruplar ( $p \leq 0,05$ )				
		1	2	3	4	5
0	3	3,0403				
5	3		3,3631			
10	3			3,7367		
20	3			3,9066		
17	3				4,1614	
15	3					4,4331

SNK testi sonuçlarına göre; 15s vibrasyon uygulanan betonun 4,43 MPa ile en yüksek, vibrasyonsuz betonun ise 3,04 MPa ile en düşük doğrudan çekme dayanımı değerine sahip olduğu ve 15 s vibrasyon uygulaması ile doğrudan çekme dayanımında %45,8 oranında artış sağlanabileceği görülmüştür.

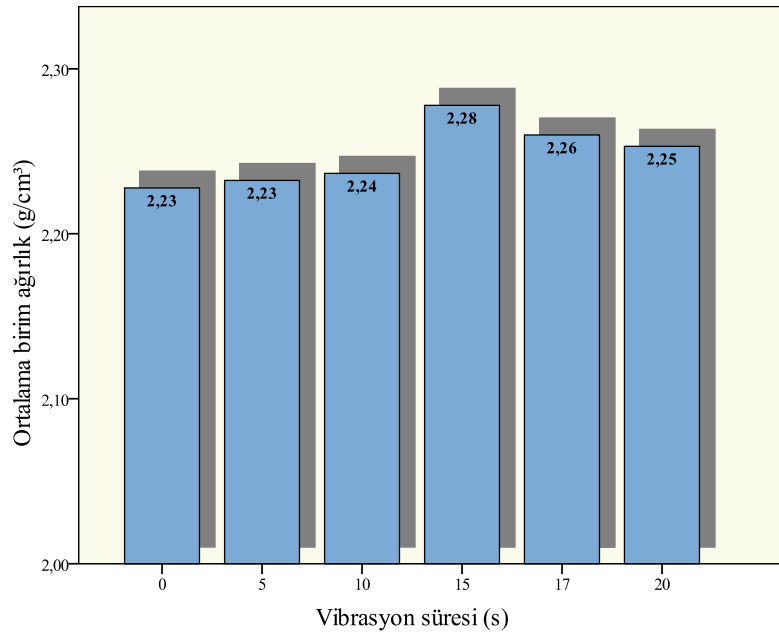
### 3.3. Beton Yoğunluğu ve Görünür Boşluk Oranı

Beton yoğunluğu deneyi sonucunda elde edilen verilere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 8’de, ortalama yoğunluk değerlerine ait grafik ise Şekil 4’te verilmiştir.

**Çizelge 8.** Beton yoğunluğu değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Vibrasyon süresi (s)	Numune sayısı	Ortalama beton yoğunluğu ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Std. hata	%95 Güven aralığında ortalamanın	
				Alt sınırı	Üst sınırı
0	3	2,2277	0,00213	2,2186	2,2369
5	3	2,2323	0,00083	2,2287	2,2359
10	3	2,2366	0,00094	2,2325	2,2406
15	3	2,2778	0,00730	2,2464	2,3093
17	3	2,2599	0,00405	2,2425	2,2773
20	3	2,2530	0,00048	2,2510	2,2551





Şekil 4. Ortalama beton yoğunluğu değerlerine ait grafik

Şekil 4’te vibrasyon uygulanmayan betonun yoğunluk değerinin vibrasyon uygulanan diğer tüm betonlardan daha düşük olduğu görülmektedir. Basınç dayanımı değerlerine paralel olarak 15 s süre ile vibrasyon uygulanan beton en yüksek yoğunluk değerine ulaşmıştır.

Elde edilen deney sonuçları üzerinde uygulanan tek yönlü varyans analizi sonucunda gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu görülmüştür. Diğer bir ifadeyle betonun yoğunluk değerlerinin vibrasyon süresine bağlı olarak önemli ölçüde değiştiği görülmüştür. Grupların karşılaştırılmasında SNK çoklu karşılaştırma testi kullanılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 9’te verilmiştir.

Çizelge 9. Beton yoğunluğu değerlerine ait SNK testi sonuçları

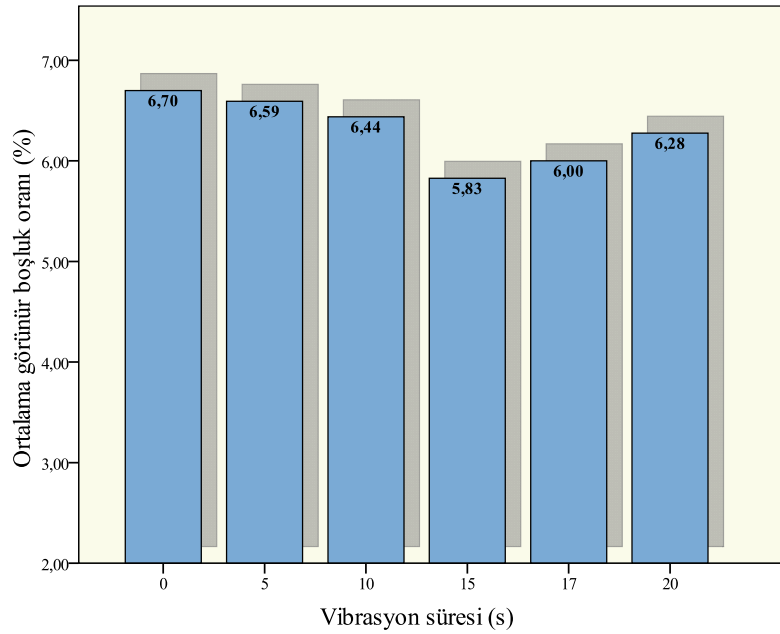
Vibrasyon süresi (s)	Numune sayısı	Farklı olan gruplar ( $p \leq 0,05$ )		
		1	2	3
0	3	2,2277		
5	3	2,2323		
10	3	2,2366		
20	3		2,2530	
17	3		2,2599	
15	3			2,2778

Elde edilen SNK testi sonuçlarına göre; 15s vibrasyon uygulanan betonun  $2,27 \text{ g/cm}^3$  ile en yüksek, vibrasyonsuz betonun ise  $2,22 \text{ g/cm}^3$  ile en düşük yoğunluk değerine sahip olduğu ve bu vibrasyon süresindeki beton yoğunluğunda %2,2 oranında artış sağlanabileceği görülmüştür. Yoğunluktaki artış her ne kadar küçük gibi görünse de, aslında %2,2 oranındaki bu artış, basınç dayanımında %38,7 oranında bir artışa karşılık gelmektedir.

Görünür boşluk oranı verilere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 10'da, ortalama boşluk oranı değerlerine ait grafik ise Şekil 5'te verilmiştir.

**Çizelge 10.** Boşluk oranı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Vibrasyon süresi (s)	Numune sayısı	Ortalama boşluk oranı (%)	Std. hata	%95 Güven aralığında ortalamamın	
				Alt sınırı	Üst sınırı
0	3	6,6998	0,03663	6,5422	6,8574
5	3	6,5926	0,01729	6,5182	6,6670
10	3	6,4384	0,01945	6,3547	6,5222
15	3	5,8273	0,03779	5,6647	5,9899
17	3	6,0006	0,05701	5,7553	6,2459
20	3	6,2758	0,03581	6,1217	6,4299



**Şekil 5.** Ortalama boşluk oranı değerlerine ait grafik

Şekilde vibrasyon uygulanmayan betonun boşluk oranı değerinin, vibrasyon uygulanan diğer tüm betonlardan daha yüksek olduğu görülmektedir. Beton yoğunluğu değerleri ile ters orantılı olarak boşluk oranı değerleri değişmiştir. 15 s süre ile vibrasyon uygulanan beton en küçük boşluk oranı değerine sahip olmuştur.

Elde edilen deney sonuçları üzerinde gerçekleştirilen tek yönlü varyans analizi sonucunda gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu görülmüştür. Diğer bir ifadeyle betonun boşluk oranı değerleri, vibrasyon süresine bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Grupların karşılaştırılmasında SNK çoklu karşılaştırma testi kullanılmış ve sonuçlar Çizelge 11'de verilmiştir.

**Çizelge 11.** Boşluk oranı değerlerine ait SNK testi sonuçları

Vibrasyon süresi (s)	Numune sayısı	Farklı olan gruplar ( $p \leq 0,05$ )				
		1	2	3	4	5
15	3	5,8273				
17	3		6,0006			
20	3			6,2758		
10	3				6,4384	
5	3					6,5926
0	3					6,6998

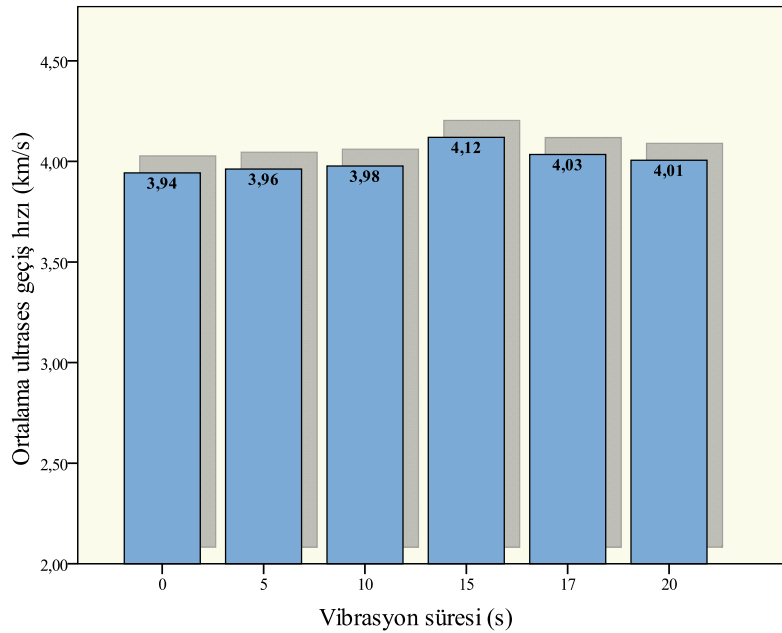
Elde edilen SNK testi sonuçlarına göre; 15 s vibrasyon uygulanan betonun %5,82 ile en küçük, vibrasyonsuz betonun ise %6,69 ile en yüksek boşluk oranı değerine sahip olduğu, bu sonuçlara göre de vibrasyon uygulaması ile beton boşluk oranında %13 oranında azalma sağlanabileceği görülmüştür.

### 3.4. Ultrases Geçiş Hızı

Ultrases geçiş hızı deneyi sonucunda elde edilen verilere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 12’de, ortalama ultrases geçiş hızı değerlerine ait grafik ise Şekil 6’da verilmiştir.

**Çizelge 12.** Ultrases geçiş hızı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Vibrasyon süresi (s)	Numune sayısı	Ortalama (km/s)	Std. hata	%95 Güven aralığında ortalamanın	
				Alt sınırı	Üst sınırı
0	3	3,943	0,0126	3,889	3,997
5	3	3,962	0,0020	3,953	3,971
10	3	3,977	0,0035	3,962	3,992
15	3	4,120	0,0100	4,077	4,163
17	3	4,034	0,0019	4,026	4,042
20	3	4,006	0,0092	3,966	4,046



Şekil 6. Ortalama ultrases geçiş hızı değerlerine ait grafik

Şekil 6 incelendiğinde vibrasyon uygulanmayan betonun ultrases geçiş hızı değerinin vibrasyon uygulanan diğer tüm betonlardan daha düşük olduğu görülmektedir. Basınç dayanımı değerlerine paralel olarak 15 s süre ile vibrasyon uygulanan betonun en yüksek ultrases geçiş hızı değerine sahip olduğu görülmektedir.

Elde edilen deney sonuçları üzerinde uygulanan tek yönlü varyans analizi sonucunda gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu görülmüştür. Diğer bir ifadeyle betonun ultrases geçiş hızı değerlerinin vibrasyon süresine bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Grupların karşılaştırılmasında SNK çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Elde edilen SNK testi sonuçları Çizelge 13'te verilmiştir.

Çizelge 13. Ultrases geçiş hızı değerlerine ait SNK testi sonuçları

Vibrasyon süresi (s)	Numune sayısı	Farklı olan gruplar ( $p \leq 0,05$ )				
		1	2	3	4	5
0	3	3,943				
5	3	3,962	3,962			
10	3		3,977			
20	3			4,006		
17	3				4,034	
15	3					4,120

SNK testi sonuçlarına göre; vibrasyonsuz betonun 3,94 km/s ile en küçük, 15 s vibrasyon uygulanan betonun 4,12 km/s ile en büyük ultrases geçiş hızı değerine sahip olduğu, vibrasyon uygulaması ile beton ultrases geçiş hızını %4,5 oranında arttırdığı görülmüştür. Bu durum beton boşluk oranı değerleri ile paralellik göstermektedir. Diğer taraftan 17 ve 20 s süre ile uygulanan betonların ultrases geçiş hızı değerlerinde, 15 s süre ile uygulanan ultrases geçiş hızı değerine göre düşüş meydana gelmiştir. En yüksek geçiş hızına göre 20 s vibrasyon uygulandığında %2,9 oranında ultrases geçiş hızı değerinin düştüğü görülmüştür.

#### 4. SONUÇLAR

Uçucu kül ikameli betonlarda vibrasyon süresinin betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine olan etkisini belirleyebilmek amacıyla içerisinde %10 oranında uçucu kül ikamesi yapılan C30 betonu 0, 5, 10, 15, 17, 20 s süre ile vibrasyona tabi tutulmuş ve elde edilen numuneler üzerinde yoğunluk, boşluk oranı, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve doğrudan çekme (pull-off) dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen veriler değerlendirildiğinde;

- ✓ Ölçülen tüm özellikler bakımından vibrasyon uygulanmayan betonlarda, vibrasyon uygulanan diğer betonlardan daha kötü sonuç verdiği,
- ✓ 15 s süre ile vibrasyon uygulanan betonun, tüm özellikler bakımından en iyi değerlere sahip olduğu, Basınç dayanımının vibrasyon uygulaması ile %38,7 oranında arttığı,
- ✓ Doğrudan çekme dayanımının %45,8 oranında arttığı,
- ✓ Beton yoğunluğunun %2,2 oranında arttığı ve bu artış ile basınç dayanımında %38,7 oranında bir artışın sağlandığı,
- ✓ Beton boşluk oranının %13 oranında azaldığı,
- ✓ Ultrases geçiş hızının %4,5 oranında arttığı görülmüştür.

Sonuç olarak, vibrasyon süresine bağlı olarak betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinde önemli derecede iyileşmeler sağlandığı, bu iyileşmeler için de uygun vibrasyon süresinin belirlenmesinin çok önemli olduğu görülmüştür. Uygun vibrasyon süresi ile sağlanan iyileşmeler sayesinde betonun dayanım ve dayanıklılığının artacağı düşünülmektedir.

#### KAYNAKÇA

- [1] Hui-sheng, S., Bi-wan, X., Xiao-chen, Z., “Influence of mineral admixtures on compressive strength, gas permeability and carbonation of high performance concrete”, *Construction and Building Materials* 23: 1980–1985, (2009).
- [2] Chusilp, N., Jaturapitakkul, C., Kraiwood Kiattikomol, “Utilization of bagasse ash as a pozzolanic material in concrete”, *Construction and Building Materials*, 23: 3352–3358, (2009).
- [3] Papayianni, I., Anastasiou, E., “Production of high-strength concrete using high volume of industrial by-products”, *Construction and Building Materials*, 24: 1412–1417, (2010).
- [4] Şengül, Ö., Taşdemir, M. A., Gjörv, O. E., “Puzolanik malzemelerin betonun mekanik özellikleri ve klor iyonu yayınına etkisi”, *İTÜ Dergisi/d Mühendislik*, 6 (1): 53-64 (2007).
- [5] Song H. W., Saraswathy V. “Studies on the corrosion resistance of reinforced steel in concrete with ground granulated blast-furnace slag – an overview”, *J Hazard Mater*, 138 (2): 226–33, (2006).
- [6] Bamforth PB., “The water permeability of concrete and its relationship with strength”, *Mag. Concr. Res.*, 43 (137): 233–41 (1991).
- [7] McCarthy M. J, Dhir R.K., “Development of high volume fly ash cements for use in concrete construction”, *Fuel*, 84 (11): 1423–1432, (2005).
- [8] Berndt M. L. , “Properties of sustainable concrete containing fly ash, slag and recycled concrete aggregate”, *Construction and Building Materials*, 23: 2606–2613, (2009).
- [9] ACI 309R-96, “Guide for Consolidation of Concrete”, *ACI Manual of Concrete Practice*, Detroit, (1996).  
ACI 309.1 R-98, “Behavior of fresh concrete during vibration”, *ACI Manual of Concrete Practice*, Detroit, (1998).

- [10] Uyan, M., Pekmezci B. Y., “Tekrarlı vibrasyonun beton özelliklerine etkisi”, Beton Prefabrikasyon Dergisi, 60: 5-8, (2001).
- [11] Erdoğan, T. Y., “Beton”, ISBN / ISSN: 975-7064-67-x, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim AŞ., Ankara, Türkiye, (2007).
- [12] Türk Standartları Enstitüsü (TSE), “Beton karışımı hesap esasları”, TS 802, Ankara, Türkiye (1985).  
Türk Standartları Enstitüsü (TSE), “Beton – Sertleşmiş beton deneyleri, Bölüm 5: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini”, TS EN 12390–3, Ankara, Türkiye, (2003).
- [13] American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard test method for tensile strength of concrete surfaces and the bond strength or tensile strength of concrete repair and overlay materials by direct tension (Pull-off method)”, ASTM C1583–04, USA, (2004).
- [14] Türk Standartları Enstitüsü (TSE), “Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Sertleşmiş betonun yoğunluğunun tayini”, TS 12390–7, Ankara, Türkiye, (2002).
- [15] Türk Standartları Enstitüsü (TSE), “Sertleşmiş betonda özgül ağırlık su emme ve boşluk oranı tayin metodu”, TS 3624, Ankara, Türkiye, (1981).
- [16] American Society for Testing and Materials (ASTM), “Standard test method for pulse velocity through concrete”, ASTM C597–02, USA, (2004).