

**KESİKLİ GRANÜLOMETRİLİ BETONLARIN  
MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**Beyhan ALİŞER**

**Yüksek Lisans Tezi  
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. Yüksel ESEN  
OCAK-2013**

T.C  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KESİKLİ GRANÜLOMETRİLİ BETONLARIN MEKANİK VE FİZİKSEL  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

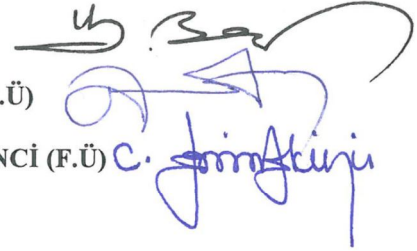
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Beyhan ALİŞER

(092125104)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07.01.2013  
Tezin Savunulduğu Tarih : 25.01.2013

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Yüksel ESEN (F.Ü)  
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Ömer KELEŞOĞLU (F.Ü)  
Yrd. Doç. Dr. Cevdet Emin EKİNCİ (F.Ü)



OCAK-2013

## ÖNSÖZ

Bu tezi yöneten ve çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve yardımları ile yanımda olan sayın hocam Doç. Dr. Yüksel ESEN'e,

Çalışmalarım süresince tecrübe ve bilgilerini esirgemeyen Yapı Eğitimi bölümündeki tüm hocalarıma,

Laboratuvarda birlikte çalıştığım Bihter GÖKÇER ve dönem arkadaşlarıma,

Çalışmalarım süresince hep yanımda olan Birsu ALİŞER'e

Gösterdikleri sevgi, destek ve üstün sabır için aileme,

Teşekkür ederim.

Beyhan ALİŞER

ELAZIĞ - 2013

## İÇİNDEKİLER

|   |           |
|---|-----------|
| ÖNSÖZ .....   | i         |
| İÇİNDEKİLER.....  | iii       |
| ÖZET .....  | v         |
| ŞEKİLLER LİSTESİ.....   | vii       |
| TABLolar LİSTESİ.....   | viii      |
| SİMGELER LİSTESİ.....   | ix        |
| KISALTMALAR LİSTESİ .....   | x         |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2. Betonda Agrega İle İlgili Genel Bilgiler .....</b>                      | <b>3</b>  |
| 2.1. Agregaların Fiziksel Özellikleri .....                                   | 3         |
| 2.1.1. Agreganın Porozitesi.....  | 3         |
| 2.1.2. Agregaların Birim ağırlığı, Özgül Ağırlığı ve Kompasitesi.....         | 4         |
| 2.2. Agregaların Betonun Mekaniksel Özellikleri Üzerine Etkisi.....           | 6         |
| 2.2.1. Tane dayanımı .....  | 6         |
| 2.2.2. Aşınma dayanımı .....  | 6         |
| 2.3. Agregaların İşlenebilirliğe Etkisi.....                                  | 7         |
| 2.4. Agrega Granülometrisi.....   | 7         |
| 2.4.1. Granülometri Bileşimi İle Su Miktarı Arasındaki Bağntı.....            | 8         |
| 2.4.2. Granülometri Bileşimi İle Karışımın Kompasitesi Arasındaki Bağntı..... | 8         |
| 2.4.3. Granülometri Bileşimi İle İşlenebilme Özelliği Arasındaki Bağntı ..... | 8         |
| 2.4.4. Granülometrinin Belirlenmesi .....                                     | 9         |
| 2.4.5. Agrega Yüzey Şekli ve Biçimi .....                                     | 10        |
| 2.4.6. Granülometri Bileşiminin Beton Özellikleri Üzerine Etkileri.....       | 11        |
| 2.4.7. Agregalarda Granülometri Bileşimi Açısından Aranılan Şartlar.....      | 12        |
| 2.5. Sürekli Granülometri Eğrisi .....  | 13        |
| 2.6. Kesikli Granülometri Eğrisi .....  | 13        |
| <b>3. MATERYAL VE METOT .....</b>   | <b>16</b> |
| 3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri .....                    | 16        |
| 3.1.1. Agregalar .....  | 16        |
| 3.1.2. Çimento .....  | 17        |
| 3.1.3. Karma Suyu .....   | 18        |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 3.2.      | Beton Karışımları.....                                      | 19        |
| 3.3.      | Üretimde İzlenen Sıra .....                                 | 20        |
| 3.4.      | Numune Boyutları ve Şekilleri .....                         | 20        |
| 3.5.      | Kür Programı .....  | 22        |
| 3.6.      | Numune Kodlarının Belirlenmesi.....                         | 22        |
| <b>4.</b> | <b>BULGULAR.....</b>  | <b>23</b> |
| 4.2.      | Sertleşmiş Beton Deneyleri .....                            | 24        |
| 4.2.1.    | Küp Basınç Dayanımı Deneyi .....                            | 24        |
| 4.2.2.    | Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi .....                         | 25        |
| 4.2.3.    | Aşınma Deneyi .....   | 27        |
| 4.2.4.    | Yüksek Sıcaklık Deneyi.....                                 | 29        |
| 4.2.5.    | Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi.....                         | 32        |
| 4.2.6.    | Kılcal (Kapiler) Su Emme Deneyi.....                        | 35        |
| 4.2.7.    | Ultrasonik Ses Geçirgenlik Deneyi.....                      | 36        |
| 4.2.8.    | Porozite, Birim Hacim Ağırlık ve Özgül Ağırlık Deneyi ..... | 41        |
| <b>5.</b> | <b>DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....</b>            | <b>43</b> |
| 5.1.      | Basınç Dayanımı Deneyi.....                                 | 43        |
| 5.2.      | Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi .....                         | 45        |
| 5.3.      | Aşınma Deneyi .....   | 46        |
| 5.4.      | Yüksek Sıcaklık Deneyi .....                                | 47        |
| 5.5.      | Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi.....                         | 50        |
| 5.8.      | Porozite Deneyi.....  | 52        |
| 5.9.      | Özgül Ağırlık ve Birim Hacim Ağırlık Deneyleri.....         | 53        |
|           | <b>KAYNAKLAR.....</b>                                       | <b>58</b> |
|           | <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                       | <b>60</b> |

## ÖZET

Bu tez çalışması kapsamında, kesikli ve sürekli granülometriye sahip agrega ile üretilen betonlar üzerinde mekaniksel ve fiziksel deneyler yapılarak sonuçları irdelenmiştir. Bunun için sürekli ve kesikli granülometriye sahip olan dere ve kırmataş agregası olmak üzere iki farklı agrega yığınyla 300 ve 400 dozlu beton numuneleri üretilmiştir. Bu karışımlarda 4 seri kesikli bir seri sürekli granülometride olmak üzere, her doz için 5 seri, toplamda 20 seri beton numunesi üretilmiştir. Bu karışımların hepsinde su/çimento oranı 0,50 olarak alınmıştır.

Deneylerde Türk standartlarındaki kare delikli elekler kullanılmış ve maksimum dane çapı ( $d_{max}$ ) 32 mm olarak alınmıştır. Kesikli granülometri oluşturmak için sırasıyla (0-4), (4-8), (8-16) ve (16-32)mm elek göz açıklıklarına karşılık gelen agrega yığından çıkarılarak kesikli granülometri oluşturulmuştur.

Kesikli ve sürekli granülometriye sahip agregalarla üretilen beton numuneleri ile fiziksel ve mekaniksel (basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı, yarmada çekme dayanımı, aşınma dayanımı, yüksek sıcaklık etkisi, Ultrasonik ses geçiş hızı vb.) deneyler yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçların literatürle uyumlu olduğu görülmüştür. Kırmataş agregası için sürekli granülometriye sahip numunelerin ve dere agregası için ise (8-16)mm'lik agreganın olmadığı kesikli granülometriye sahip numunelerin daha yüksek mekaniksel dayanım gösterdiği gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Beton, kesikli granülometri, mekanik özellikler

## SUMMARY

### **Mechanical and Physical Properties of Concrete Batch Graded**

In this thesis study, produced with a batch and continuous gradations with mechanical and physical experiments on the aggregates and concretes result scrutinized. To do this, composed of both continuous and batch gradations and two different aggregates one is crushed-stone aggregate, the other is angular aggregate two different doses of 300 and 400 with a stack of concrete samples. A series of continuous gradation this random mix 4 serial to be batch gradations, for each dose of 5 serial produced a total of 20 samples of concrete. Water/cement proportion is set as 0.50 in these all mixtures.

Experiments have been used by Turkish standard square hole sieves and maximum diameter (dmax) 32 mm was taken as a grain. In order to create a step gradation (0-4), (4-8), (8-16) and (16-32) mm sieve eye openings were created by subtracting the corresponding aggregates from the step gradations.

Batch and continuous gradations aggregates have produced concrete samples with physical and mechanical (compressive strength, splitting strength, flexural strength, bohme strength, high temperature effect, switching the ultrasonic sound speed, and so on.) experiments at the results are compared. Results were consistent with the literature. Crushing stone recommends having a permanent gradations generation, it is for the stream generation (8-16) mm aggregate has higher mechanical strength of the samples is not represented by a step gradations.

**Keywords:** Concrete, step gradation, mechanical properties

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|   |    |
|---|----|
| Şekil 2.1. Agregaların mümkün olan granülometrileri.....                                | 11 |
| Şekil 2.2. Maksimum tane büyüklüğü 8,0 mm olan karışık agrega granülometri eğrileri. .. | 14 |
| Şekil 2.3. Maksimum tane büyüklüğü 16 mm olan karışık agrega granülometri eğrileri. ... | 14 |
| Şekil 2.4. Maksimum tane büyüklüğü 32 mm olan karışık agrega granülometri eğrileri. .   | 15 |
| Şekil 2.5. Maksimum tane büyüklüğü 63 mm olan karışık agrega granülometri eğrileri .... | 15 |
| Şekil 3.1. Maksimum tane büyüklüğü 32 mm olan karışık agrega granülometri eğrileri ..   | 19 |
| Şekil 3.2. Değişik boyutlarda üretilen numuneler .....                                  | 21 |
| Şekil 3.3. Üretilen numuneler .....   | 21 |
| Şekil 3.4. Kür havuzundaki numuneler .....  | 22 |
| Şekil 4.1. Çökmenin dört çeşidi .....   | 23 |
| Şekil 4.2. Yük kontrollü pres .....   | 24 |
| Şekil 4.3. Numunenin pres tablasına yerleştirilmesi .....                               | 26 |
| Şekil 4.4. Numunelerin deney sonrası görüntüleri .....                                  | 26 |
| Şekil 4.5. Aşınma (böhme) deney aleti.....  | 28 |
| Şekil 4.6. Yüksek sıcaklık fırını .....   | 30 |
| Şekil 4.7. Yüksek sıcaklık sonrası numuneler.....                                       | 30 |
| Şekil 4.8. Yük kontrollü eğilmede çekme deney aleti .....                               | 33 |
| Şekil 4.9. Eğilmede çekme dayanımı deneyi sonrası numuneler .....                       | 34 |
| Şekil 4.10. Kapiler su emme deney düzeneği .....  | 35 |
| Şekil 4.11. Pundit cihazı .....   | 37 |
| Şekil 4.12. Arşimet terazisi .....  | 42 |
| Şekil 5.1. Numunelerin 28 günlük basınç dayanımları.....                                | 45 |
| Şekil 5.2. Numunelerin 28 günlük yarmada çekme dayanımları .....                        | 46 |
| Şekil 5.3. 28 günlük numunelerin hacimsel aşınma kayıpları .....                        | 47 |
| Şekil 5.4. Yüksek sıcaklık sonrası ultrasonik ses geçiş hızı .....                      | 47 |
| Şekil 5.5. Yüksek sıcaklık sonrası numunelerin basınç dayanımı .....                    | 49 |
| Şekil 5.6. Numunelerin eğilmede çekme dayanımları.....                                  | 50 |
| Şekil 5.7. Numunelerin aşınma öncesi ve sonrası kapiler su emme miktarları.....         | 51 |
| Şekil 5.8. 28 günlük numunelerin ultrasonik ses geçiş hızları.....                      | 52 |
| Şekil 5.9. Numunelerin görünür porozite değerleri.....                                  | 53 |
| Şekil 5.10. Numunelerin özgül ağırlıkları.....  | 54 |
| Şekil 5.11. Numunelerin birim hacim ağırlıkları.....                                    | 54 |



## TABLolar LİSTESİ

|   |    |
|---|----|
| <b>Tablo 2.1.</b> Agrega tane boyutlarına göre sınıflandırma.....                             | 9  |
| <b>Tablo 3.1.</b> Agregaların fiziksel özellikleri.....                                       | 17 |
| <b>Tablo 3.2.</b> Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri.....                            | 17 |
| <b>Tablo 4.1.</b> Küp Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları.....                                   | 25 |
| <b>Tablo 4.2.</b> Yarma-Çekme Dayanımı Deneyi Sonuçları .....                                 | 27 |
| <b>Tablo 4.3.</b> Aşınma Kaybı Deney Sonuçları.....   | 29 |
| <b>Tablo 4.4.</b> Yüksek Sıcaklık Sonrası Basınç Dayanımı Deney Sonuçları.....                | 31 |
| <b>Tablo 4.5.</b> Yüksek sıcaklık sonrası basınç numunelerinin 20°C'ye göre % kayıpları ..... | 32 |
| <b>Tablo 4.6.</b> Eğilmede Çekme Dayanımı Deney Sonuçları.....                                | 34 |
| <b>Tablo 4.7.</b> Aşınma öncesi ve aşınma sonrası kılcal su emme deney sonuçları.....         | 36 |
| <b>Tablo 4.8.</b> Ultrasonik test yöntemiyle beton kalitesinin değerlendirilmesi.....         | 37 |
| <b>Tablo 4.9.</b> Küp numunelerin ultrasonik ses geçirgenlik deneyi sonuçları .....           | 38 |

## SİMGELER LİSTESİ

|                    |   |
|--------------------|---|
| $A_{dh}$           | : Deney Numunesinin Havadaki Kütlesi                              |
| $A_{ds}$           | : Deney Numunesinin Su İçindeki Kütlesi                           |
| $\sigma_{\varphi}$ | : Yarma-Çekme dayanımı  |
| $A$                | : Kesit alanı   |
| $A$                | : Suya temas eden yüzeyin alanı                                   |
| $B$                | : Kiriş kesitinin yüksekliği                                      |
| $D$                | : Çap   |
| $H$                | : Numunenin hacmi   |
| $k$                | : Kapiler su emme katsayısı                                       |
| $L$                | : Kirişin uzunluğu  |
| $L$                | : Yükseklik   |
| $P$                | : Kırılma yükü  |
| $P$                | : Yük   |
| $Q$                | : Numunenin absorbe ettiği su miktarı                             |
| $S$                | : Dalga gönderilen yüzey ile dalga alınan yüzey arasındaki mesafe |
| $\sigma$           | : Beton deney numunesi basınç dayanımı                            |
| $T$                | : Yüzeyler arasında dalganın geçiş süresi                         |
| $t$                | : Zaman   |
| $V_o$              | : Deney Numunesinin Deneyden Sonraki Hacmi                        |
| $V$                | : Ses üstü dalga hızı   |
| $W_0$              | : Etüv kurusu ağırlık   |
| $W_1$              | : Su altındaki ağırlık  |
| $W_{dyk}$          | : Suya doymun kuru yüzey ağırlığı                                 |
| $\sigma_e$         | : Eğilme dayanımı   |

## KISALTMALAR LİSTESİ

- SG1-I-k** : Kırmataş agregayla üretilen 300 dozlu sürekli granülometrili beton  
**KG1-I-k** : Kırmataş agregayla üretilen 300 dozlu kesikli granülometrili beton(0-4 mm yok)  
**KG2-I-k** : Kırmataş agregayla üretilen 300 dozlu kesikli granülometrili beton (4-8 mm yok)  
**KG3-I-k** : Kırmataş agregayla üretilen 300 dozlu kesikli granülometrili beton (8-16 mm yok)  
**KG4-I-k** : Kırmataş agregayla üretilen 300 dozlu kesikli granülometrili beton(16-32 mm yok)  
**SG2-II-k** : Kırmataş agregayla üretilen 400 dozlu sürekli granülometrili beton  
**KG1-II-k** : Kırmataş agregayla üretilen 400 dozlu kesikli granülometrili beton(0-4 mm yok)  
**KG2-II-k** : Kırmataş agregayla üretilen 400 dozlu kesikli granülometrili beton(4-8 mm yok)  
**KG3-II-k** : Kırmataş agregayla üretilen 400 dozlu kesikli granülometrili beton(8-16 mm yok)  
**KG4-II-k** : Kırmataş agregayla üretilen 400 dozlu kesikli granülometrili beton(16-32 mm yok)  
**SG3-I-d** : Dere agregasıyla üretilen 300 dozlu sürekli granülometrili beton  
**KG1-I-d** : Dere agregasıyla üretilen 300 dozlu kesikli granülometrili beton(0-4 mm yok)  
**KG2-I-d** : Dere agregasıyla üretilen 300 dozlu kesikli granülometrili beton(4-8 mm yok)  
**KG3-I-d** : Dere agregasıyla üretilen 300 dozlu kesikli granülometrili beton(8-16 mm yok)  
**KG4-I-d** : Dere agregasıyla üretilen 300 dozlu kesikli granülometrili beton(16-32 mm yok)  
**SG4-II-d** : Dere agregasıyla üretilen 400 dozlu sürekli granülometrili beton  
**KG1-II-d** : Dere agregasıyla üretilen 400 dozlu kesikli granülometrili beton(0-4 mm yok)  
**KG2-II-d** : Dere agregasıyla üretilen 400 dozlu kesikli granülometrili beton(4-8 mm yok)  
**KG3-II-d** : Dere agregasıyla üretilen 400 dozlu kesikli granülometrili beton(8-16 mm yok)  
**KG4-II-d** : Dere agregasıyla üretilen 400 dozlu kesikli granülometrili beton(16-32 mm yok)  
**TS** : Türk Standartları

## 1. GİRİŞ

Beton, belirli esaslara göre karışım oranları hesaplanan; çimento, agrega, su ve gerekiyorsa akışkanlaştırıcı ya da priz geciktirici gibi katkı maddelerinden oluşan bir karışımı, boşluksuz olarak yerleştirmek ve uygun bakım koşulları altında sertleştirmek sureti ile elde edilen, sınıfı basınç dayanımına bağlı olarak ifade edilen kompozit bir malzemedir [1,2].

Beton, çağımızda irili ufaklı birçok yapıda kullanılmakta olan en yaygın malzeme durumundadır. Betonun en çok kullanılan yapı malzemesi olması, diğer yapı malzemelerine göre betonun sahip olduğu üstünlüklerden ileri gelmektedir. Karıldıktan sonra bir süre şekil verilebilir durumunu koruyan beton, istenilen şekil ve boyutlardaki kalıplara yerleştirilebilmekte ve böylece, istenilen şekil ve boyutlardaki sertleşmiş beton eleman elde edilebilmektedir. Sertleşmiş beton, ahşap gibi yanmamakta, çelik gibi kolayca korozyona uğramamakta, kısacası, çevrede oluşan yıpratıcı etkenlere karşı daha büyük dayanıklılık göstermektedir. Çevredeki yıpratıcı etkilerden korunabilmeleri için çelik ve ahşap malzemelerin boyanarak veya başka yöntemlerle bakım görmeleri gerekirken, sertleşmiş betonun bakım masrafı yok denebilecek düzeydedir [3].

Agregalar, beton yapımında çimento ve su ile birlikte kullanılan, kum, çakıl, kırmataş gibi taneli malzemelerdir. Agregası, betonun teknik özelliklerine önemli katkılarda bulunmaktadır. Çimento hamuru zamanla kuruyarak büzülme gösteren bir malzemedir. Agregası beton içerisindeki büzülmeden dolayı oluşabilecek hacim değişikliğini engellemektedir. Agregalar genelde dayanıklı ve sert malzemelerdir. Bu nedenle betonun dayanımının yüksek olmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca betonun aşınmaya karşı direncini artırmaktadır[4].

Agregası içerisindeki tanelerin büyüklüklerine göre dağılımına, gradasyon veya granülometri denir. Gradasyonun belirlenmesinin amacı, agregası yığını içerisinde hangi tane boyutundan ne kadar bulunduğunu tespit etmektir. Agregası numunesindeki tanelerin değişik boyutlarda olması, sabit bir hacim içerisinde yer alan agregası taneleri arasında daha az boşluk bulunmasına yol açmaktadır [5].

Dünyada bazı projelerde kütle betonunda kesikli granülometri kullanılabilir. Bu granülometride bir ya da daha fazla elekte kalan malzeme miktarının %0 olması anlamına gelmektedir. A.B.D.'de yaygın olarak kullanılmakta olan sürekli granülometri

yaklaşımıdır. Kesikli granülometri malzemenin doğal hali ile kesikli granülometriye sahip olması durumunda ekonomik olmaktadır. Bununla birlikte, deneysel çalışmalar sürekli granülometri yerine kesikli granülometrinin özellikle tercih edilmesinin bir avantaj yaratmadığını ortaya koymaktadır [6].

Yapılan bazı çalışmalarda sertleşmiş beton deney sonuçlarına göre, kesikli granülometri ile hazırlanan karışımların mekanik davranışının daha iyi olduğu görülmüştür. Taze beton deney sonuçlarına göre ise, sürekli granülometri ile hazırlanan karışımların kesikli granülometri ile hazırlanan karışımlara göre segregasyona daha dirençli oldukları görülmektedir [7].

Bu çalışmada maksimum dane çapı 32 mm olarak alınıp sırasıyla 0-4, 4-8, 8-16 ve 16-32 mm'lik elekler arasında kalan dane çaplarına karşılık gelen agrega çıkarılıp kesikli ve sürekli granülometriye sahip kırmataş ve dere agregasıyla betonlar üretilmiştir. Agregadaki bu süreksizliklerin değişik agrega türleri için betonun bazı mekaniksel ve fiziksel özelliklerine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır.

## 2. BETONDA AGREGA İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırmataş gibi malzemelerin genel adı agregadır. Beton içinde hacimsel olarak %60-75 civarında yer işgal eden agregaya önemli bir bileşendir. Agregalar tane boyutlarına göre ince (kum, kırma kum... gibi) ve kaba (çakıl, kırmataş) agregalar olarak ikiye ayrılır.

Agreganın kirli (kil, silt, mil, toz gibi) olması aderansı olumsuz etkilemekte, ayrıca bu küçük taneler su ihtiyacını da arttırmaktadır. Beton agregalarında elek analizi, yassılık, özgül ağırlık ve su emme gibi deneyler uygun aralıklarla yapılarak kalite sürekliliği takip edilmelidir. Betonda kullanılacak agregalar TS 706 EN 12620'ye uygun olmalıdır [8].

Agreganın biçimi ve yüzey pürüzlülüğü taze betonun iç sürtünmesinde önemli rol oynar. İç sürtünme taneler arası, tanelerle çimentolar hamuru arasındaki sürtünmedir. Dış sürtünme ise beton ile kalıp ve donatı arasındaki sürtünmedir. Dış sürtünme, istenilen kıvam düzeyine ulaşmak için ve seçilecek maksimum tane çapı için bir kıstas oluşturur. Dış sürtünmeyle ayrıca pompa betonlarında da karşılaşılır. İç sürtünme ise taze betona ait bir malzeme özelliğidir. İç sürtünmeye, agregaya yüzey ve şekil özellikleri dışında agregadaki ince malzeme oranı ve çimentonun bazı özellikleri de etki eder. Betonun kohezyonunu arttıran etkenler iç sürtünmeyi de arttırmaları. Tıpkı ince agregaya oranının artmasında olduğu gibi, çimentonun inceliğinin fazla olması ve çimentonun su tutma yeteneğinin artması da iç sürtünmeyi fazlaştıran olgulardır. Kumun biçimsizliği işlenebilirlik üzerinde olumsuz etki oluşturur.

Yassı taneler içeren ve çok ince kumlar sakıncalıdır. İşlenebilirliği etkileyen kuma ait bu özellikler, sertleşmiş betonda da direncin düşmesine yol açar [9].

### 2.1. Agregaların Fiziksel Özellikleri

#### 2.1.1. Agreganın Porozitesi

Agrega tanelerinde bir miktar boşluk bulunması doğaldır. Agregaya tanelerindeki boşluk su emme deneyi yapılarak belirlenir. Buna göre kurutulmuş iri agregaya tanelerinden  $W$  ağırlığında (2-5 kg arasında) malzeme alınarak 24 saat su içinde bırakılır. Bir havlu ile tanelerin yüzeyinden su alınır ve taneler böylelikle kuru yüzey doygun duruma getirilir. Bu tanelerden  $W_1$  ağırlığında malzeme alınarak etüvde kurutulur. Kurutulan malzemenin  $W_0$  ağırlığı bulunur.

O halde agreganın ağırlıkça su emme miktarı  $\frac{W_1 - W_0}{W_0}$  ifadesiyle % cinsinden bulunur. Agreganın porozitesi (P) ise, agreganın  $\text{gr/cm}^3$  cinsinden özgül ağırlığı,  $W_1$  ve  $W_0$  gr. cinsinden ağırlıklar olduğuna göre;

$$P = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100 \quad (2.1)$$

olarak ifade edilir.

İri agrega tanelerinin porozitesinin küçük olması ile bu tanelerin mukavemetinin yüksek bir değer alması sağlanır. Mukavemeti yüksek olan taneler kullanılarak üretilen betonların mekanik mukavemeti de artırılabilir.

### **2.1.2. Agregaların Birim ağırlığı, Özgül Ağırlığı ve Kompasitesi**

#### **Birim Ağırlık**

Belirli bir hacmi dolduran agreganın ağırlığına birim ağırlık denir. Agregayı kuru halde iken gevşek olarak bir kaba boşaltarak bulunan birim ağırlığa “gevşek birim ağırlık” ve yine kuru iken belli sayıda çubuk darbesi ile sıkıştırılarak bulunan birim ağırlığa ise “sıkışık birim ağırlık” denir.

Birim ağırlıktan agrega içindeki boşluk miktarı hesaplanabildiği gibi, özel amaçlar için agreganın uygun olup olmadığı da değerlendirilebilir. Ayrıca agreganın granülometri bileşimi ve kusurlu malzemenin varlığı hakkında fikir vermektedir.

Agreganın granülometrisine bağlı olarak boşluk miktarı değişmektedir. Boşluk miktarının az olması birim ağırlığı arttırır. Kusurlu malzemenin fazla miktarda olması boşluğu arttırdığından birim ağırlığı düşürecektir. Agreganın hacmine sahip bir kalıba yerleştirilirken sarsıntıya maruz bırakılırsa ve çubukla şişlenirse kabı az boşluk bırakarak doldurur. Bu da birim ağırlığın büyük bir değer almasıdır. Agreganın özgül ağırlığının fazla olması agrega ağırlığının büyük olduğunu gösterir. Dolayısıyla birim ağırlık artar. Birim ağırlığı yüksek bir betonun dayanımı, dayanıklılığı ve taşıma gücü fazladır. Beton agregalarının birim ağırlığı  $1300 - 1850 \text{ kg/m}^3$  arasında değişir.

Agreganın sıkışma oranı ne kadar yüksek olursa basınç dayanımı ve dış etkilere dayanımı da o kadar yüksek olur.

## Özgül Ağırlık

Belli hacim ve sıcaklıktaki bir malzemenin, havadaki ağırlığının aynı hacim ve sıcaklıktaki damıtık suyun havadaki ağırlığına oranıdır. Bu özellik agrega kökeni hakkında bilgi verir ve beton bileşenlerinin hesabında kullanılır. Betonda kullanılacak agreganın özgül ağırlığının  $2,2 - 2,7\text{kg/dm}^3$  arasında olması istenir.

Özgül ağırlık, agreganın uygunluğunu belirtir. Düşük özgül ağırlık sağlam olmayan malzemeyi, yüksek özgül ağırlık ise kaliteli betona uygun agregayı tanımlar.

Özgül ağırlık beton karışım hesabında, bu hesapların düzeltilmesinde ve beton homojenliğinin zorunluluğu durumlarında gereklidir. Düşük özgül ağırlık agreganın boşluklu ve zayıf olmasına bir işarettir.

## Agreganın Kompasitesi

Agreganın kompasitesi ile birim hacimdeki agregada tanelerin işgal ettiği hacmin toplamı anlaşılmaktadır. Agreganın özgül ve birim ağırlıkları bilinmek suretiyle kompasitesi hesaplanabilir. Agreganın birim ağırlığı her zaman için özgül ağırlıktan küçüktür. Dolayısıyla kompasite birden küçüktür.

V toplam hacim,  $V_d$  dolu hacim olmak üzere,

$$\text{birim ağırlık, } \Delta = \frac{W}{V} \quad (2.2)$$

$$\text{özgül ağırlık, } \delta = \frac{W}{V_d} \quad (2.3)$$

olduğuna göre;

$$\text{kompasite, } k = \frac{\Delta}{\delta} \text{ den} \quad (2.4)$$

$V_d/V$  özgül ve birim ağırlık cinsinden hesaplanabilir.

( $\Delta$ ) birim ağırlık ve ( $\delta$ ) özgül ağırlıktır.

Agreganın sıkıştırma işlemine tabi tutulmadan yerleştirilmesi sonucunda kompasite  $0,40 - 0,70$  arasında değer alır.

Agreganın kompasitesinin küçük olması şu zararları meydana getirir;

- Üretilen betonun kompasitesi ve mukavemeti düşük olur.
- Kullanılan çimento miktarı artar.
- Betonun maliyeti yükselir.
- Kusurlu malzeme miktarı artar.



Bu da işlenebilme özelliğine etki yaparak mukavemetin düşmesine neden olur. Dış etkilere karşı dayanıklılık azalır [10].

## **2.2. Agregaların Betonun Mekaniksel Özellikleri Üzerine Etkisi**

İri agregalar ile çimento hamuru arasındaki mekanik bağdan dolayı, mekanik özellikler etkilenmektedir. Agregada geometrisindeki aşırı değişikliklerden dolayı, betonda iç gerilme yığılmaları oluşabilmektedir. Böylece, agrega ile çimento hamuru arasındaki bağ kırılması daha kolay olmaktadır. Agreganın yüzeyinin pürüzlü olması mekanik özellikleri iyileştirmektedir. Ayrıca agreganın mineralojik yapısı, agrega ile çimento hamuru arasındaki bağın dayanımını etkilemektedir. Çünkü agrega ile çimento hamuru arasında kimyasal bir reaksiyon oluşmaktadır. Köşeli agregalarla yapılan betonlarda, su ihtiyacı artmakta fakat agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki aderans iyi olmaktadır.

### **2.2.1. Tane dayanımı**

Agreganın tane dayanımı, alındığı kayacın cinsi ve mevcut durumunun petrografik yönden incelenmesi ile yaklaşık olarak değerlendirilebilir. TS EN 706'ya göre taşın suya doymun haldeki küp basınç dayanımı veya çapı yüksekliğine eşit silindir basınç dayanımı en az 1000 kgf/cm<sup>2</sup> (98N/mm) ise mekanik özellik ile ilgili başka incelemeye gerek yoktur.

Tane dayanımı basınç dayanımının 1000 kgf/cm<sup>2</sup> den küçük olması halinde ve kuşku durumlarda agregalarda aşağıda açıklanan aşınmaya dayanıklılık deney sonuçlarına bakılır. Eğer iri agrega olarak çakıl kullanılıyor ise aşınmaya dayanıklılık deneyleri uygulanarak karar verilir [11].

### **2.2.2. Aşınma dayanımı**

Bu deneyde kullanılan cihaz iki tarafı kapalı, eksenini etrafında dönebilen, iç çapı 710 mm, boyu 508mm olan bir çelik silindirden oluşmaktadır. Silindir içinde belirli ağırlıkta ve sayıda çelik bilyeler mevcuttur. Alet 100 ve 500 devir sonunda silindirden çıkarılan numune 1,6 mm'lik kare gözlü elekten elenerek, alta geçen miktarın yüzdesi hesaplanır. Bu değer deney sonrasındaki kayıp yüzdesini ifade eder. TS EN 706'ya göre, 100 dönme sonunda ağırlıkça %10, 500 dönme sonunda %50'den az kayıp varsa agreganın yeterli dayanıma sahip olduğu kabul edilmektedir [12].

### **2.3. Agregaların İşlenebilirliğe Etkisi**

Agrega tanelerinin geometrik şekilleri, betonun işlenebilme özelliğini çimento hamurunun miktarından dolayı etkilemektedir. Karışım esnasında yeterli miktarda çimento hamurunun olmaması nedeniyle, agreganın yüzeyi tam olarak çimento hamuru ile sarılamaz ve agregaların birbiri ile sürtünmesi meydana gelir. Açılı (köşeli) tanelerde, agrega yüzeyinin hacmine oranı oldukça büyüktür. Dolayısıyla, agrega tanelerinin yüzeyini kaplamak için oldukça fazla çimento hamuruna ihtiyaç duyulmaktadır. İğne şekilli ve uzun olan agregalardan sakınılmalıdır. Çünkü bu taneler arasındaki etkileşim oldukça fazladır ve yüzeyin hacme oranı oldukça fazla olduğundan fazla miktarda çimento hamuruna ihtiyaç duyulacaktır. Yine bu agregalarda zayıf kırılma bölgelerinin oluşması kaçınılmazdır.

### **2.4. Agreganın Granülometrisi**

Agrega yığını içerisindeki tanelerin büyüklüklerine göre dağılımına, gradasyon veya granülometri ismi verilmektedir. Gradasyonun belirlenmesinin amacı, agreganın yığını içerisinde hangi tane boyutundan ne kadar bulunduğunu tespit etmektir. Agreganın granülometrisinin üretilen beton üzerinde büyük etkisi vardır. Agreganın numunesindeki tanelerin değişik olması, sabit bir hacim içerisinde yer alan agreganın taneleri arasında daha az boşluk bulunmasına yol açmaktadır.

Granülometri betonun kompozitesini, yoğurma suyu miktarını, dayanım ve dayanıklılığını büyük ölçüde etkiler. Bu nedenle betonda kullanılacak agregaların, özelliği olmayan işlerde kullanılmalarında dahi granülometrik bileşimleri mutlaka belirlenmelidir. Karışımındaki su miktarı, taze betonun işlenebilme özelliğini etkilemektedir. Su miktarı arttıkça işlenebilirlik iyi olmaktadır. Ancak su/çimento oranı arttıkça beton dayanımı ve dayanıklılığı azalmaktadır. Taze betonun işlenebilme özelliği, agreganın gradasyonundan direkt olarak etkilenmektedir. Gradasyon uygun olmadığı zaman, istenilen işlenebilmeyi elde etmek için betona daha çok su katmak gerekmektedir ki, bu durumda su/bağlayıcı oranı artmakta, betonun dayanımı ve dayanıklılığı azalmaktadır. Agreganın tane boyutunun ayarlanmasında; çimento kumun boşluklarını, kumda çakılın boşluklarını dolduracak şekilde olmalıdır. Agreganın granülometrisi ile beton karışım elemanları ve betonun fiziksel özellikleri arasında şu bağıntılar mevcuttur.

#### **2.4.1. Granülometri Bileşimi İle Su Miktarı Arasındaki Bağntı**

Beton üretiminde kullanılan yoğurma suyu miktarı mukavemet üzerine çok büyük etki yapmaktadır. Belli bir değerden sonra su miktarı arttıkça beton mukavemetinde önemli azalmalar görülür. Betona konulan su öncelikle çimentonun hidrasyonunu sağlar, sonra kum ve çakıl tanelerini ıslatır ve taze betonun kalıba yerleştirilmesini kolaylaştırır. Agregatanelerini ıslatmak için kullanılan su agreganın granülometrik bileşimine bağlı bulunmaktadır.

#### **2.4.2. Granülometri Bileşimi İle Karışımın Kompasitesi Arasındaki Bağntı**

Agreganın kompasitesi granülometrik bileşimi değiştirmektedir. Agreganın kompasitesini karışımın bir fonksiyonu olarak almak gerekir. Granülometri bileşimin uniform bir hal alması, diğer bir ifade ile karışımında aynı çapa sahip tanelerin miktarının fazlalaşması kompasitenin azalmasına neden olmaktadır.

Orta kum miktarının artması genel olarak kompasiteyi önemli ölçüde azaltmaktadır. Yapılan deneylerde maksimum kompasite karışımında orta kum bulunmaması durumunda elde edilmiştir.

Agregayı meydana getiren tanelerin boyutu ne kadar büyük ise kompasite o kadar büyük değer almaktadır. Agregat kompasitesi üzerine etki yapan önemli bir faktör tanelerin şeklidir. Yuvarlak taneli karışımların kompasitesi, köşeli taneli karışımların kompasitelerinden büyüktür [2].

#### **2.4.3. Granülometri Bileşimi İle İşlenebilme Özelliği Arasındaki Bağntı**

Betonda aranan önemli özelliklerden biri de işlenebilme özelliğidir. Bu özelliğe sahip olmasında, o betonun yapımında kullanılan agreganın granülometri bileşiminin rolü büyüktür.

Düşük dozajlı betonlarda işlenebilmenin sağlanabilmesi için 0,25 mm'den küçük tanelerin bulunmasında büyük yararlar vardır. Yüksek dozajlı betonlarda ise bu ince agregaya gerek yoktur. Amaç betonun işlenebilirliğinin sağlanmasıdır. Düşük dozajlı betonlarda ekonomik bir beton elde edebilmek için çimento hamurunun boşluk doldurmada yetersiz kaldığı yerlerde 0,25 mm'den küçük kum, taş unu, mermer tozu ve uçucu kül kullanılması yoluna gitmekte büyük yarar vardır.

Granülometrik bileşim bakımından işlenebilme özelliğine etki yapan önemli bir faktör, agreganın en büyük tane boyutu Dmax değeridir. Dmax değerinin artması, işlenebilirlik özelliğinin azalmasına sebep olabilir. İşlenebilirlik özelliği yapı şartlarına bağlıdır. Bu sebepten dolayı Dmax değerleri yapı şartları ve yapı türleri göz önüne alınarak seçilmelidir.

#### 2.4.4. Granülometrinin Belirlenmesi

Bir agregada içindeki tanelerin büyüklüklerine göre kısımlara nasıl dağıldığı, her kısımda ne oranda malzeme bulunduğu deneysel olarak belirli miktardaki agregada çeşitli eleklerden elenerek belirlenir. Deneylerin yapılabilmesi için ayırım yapmaya uygun göz açıklığına sahip elek takımları gerekir. En büyük göz açıklığına sahip elek en üste gelecek şekilde üst üste yerleştirilir. Agregada örneği en üstteki eleğe dökülerek elendiğinde taneler büyüklüklerine göre çeşitli eleklerle takılır kalır. Elek üstünde kalan agregada miktarı tartılarak toplam agregada miktarına oranı hesaplanabilir.

Tane boyutlarına göre yapılan bu sınıflandırma ve adlandırma şu şekilde gösterilebilir.

**Tablo 2.1.** Agregada tane boyutlarına göre sınıflandırma

| Elek Üst ve Alt Boyutları | Malzeme Adı   |
|---------------------------|---------------|
| 63mm-31,5mm               | Balast        |
| 31,5mm-4mm                | İri Agregada  |
| 4mm-60 mikron             | İnce Agregada |
| 60 mikron-2 mikron        | Silt          |
| 2 mikron ve altı          | Kil           |

Normal beton agregaları 60  $\mu$ 'dan 31,5 mm'ye kadar olan taneleri içerir. Özel kütle betonlarında (baraj, yol vb.) daha büyük çaplı tanelerde kullanılmaktadır.

Beton agregada granülometrisinin düzenlenerek sınırlandırılması maksimum kompasite sağlamak, en az su miktarı ile kalıba iyi yerleştirilebilecek kıvamı sağlamak, taze betonda ayrışmayı önlemek ve yapışkanlığı sağlamak, taze betonun iyi ve kolay yerleşmesini sağlamak ve taze betonda terlemenin azalmasını sağlamak gibi amaçlara yöneliktir.

Agregada düzenlenmesi sonucunda taneler arasındaki boşluklar minimuma indirilerek en yüksek doluluk oranı sağlanmış olur. Böylece çok küçük çaptaki boşlukları daha az çimento hamuru ile doldurmak mümkün olur.

Ayrışmayı önlemek için granülometri ayarlarken, agrega içerisinde yeteri kadar orta ve ince büyüklükte malzeme kalacak şekilde düzenleme yapılır. Agrega içinde en küçük tane boyutu çok büyük olursa taneler arası boşlukların boyutu da oldukça büyük olur. Çimento harcı bu boşluklardan geçerek kütlede ayrıılır.

Taze beton kalıba yerleştirilince ağır olan agrega taneleri yavaş yavaş dibe oturur. Oturma sırasında karma suyunun bir kısmı dengeyi sağlamak üzere yüzeye doğru hareket ederek betonun yüzeyinde ince bir su tabakası meydana getirir.( Bu durum “kusma” olarak adlandırılır.)

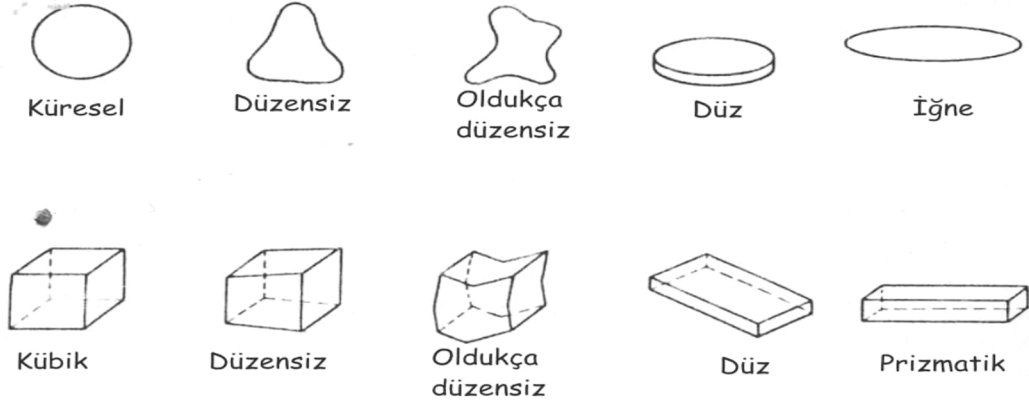
Terlemeyi önlemek için granülometri düzenlemesi yapılırken agrega içerisinde yeteri miktarda ince tane kalacak şekilde düzenleme yapılırsa ince taneler yukarı doğru hareket eden bu suyu yüzeylerinde tutarak terlemeyi önlerler. Bu hususlara uyulmadığı takdirde; İşlenebilmeyi sağlamak için gerekli olan su miktarı artar, dolayısıyla su/çimento oranı artarak dayanım ve dayanıklılık yönünden zayıf bir beton ortaya çıkar. Maksimum kompasiteyi sağlamak güçleşir ve boşluklu bir beton meydana gelir. Bunun sonucunda ekonomik olarak pahalı bir üretim ortaya çıkar. Ayrışma kolaylaşır ve kohezyonu zayıf bir beton ortaya çıkar. Terleme dediğimiz olay ortaya çıkar ve sonuç olarak zayıf geçirgenliği ve porozitesi yüksek dayanıksız bir beton ortaya çıkar.

#### **2.4.5. Agrega Yüzey Şekli ve Biçimi**

Agrega tanelerinin şekli olabildiğince yuvarlak (küresel, kübik) olmalıdır. Doğal agregalar oluşumları gereği dış tesirlerin etkisi ile yuvarlaklaşmışlardır. Tanenin en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 3'ten büyük olan tanelere şekilce kusurlu taneler denir. Şekilce kusurlu taneler (yassı veya uzun) oranı, 8mm tane büyüklüğündeki agrega içinde ağırlıkça %50'den fazla olmamalıdır. Kusurlu tanelerin önemli etkisi agrega yığınının boşluklu olması ve bu boşluğun çimento hamuru ile doldurulamamasıdır. Sonuçta taşıyıcı iskeleti sağlam olmayan bir yapı meydana gelir.

Yuvarlak doğal agreganın yığın olarak yerleşmesi geometrik yapısı gereği daha kolay olup, özgül yüzeyi de (kıрма agregaya göre) daha küçük olduğundan dolayı işlenebilirlik için az su gerektirir. Kıрма agregalar köşeli, kenarlı ve yüzeyleri pürüzlüdür. Kıрма agregalar konkasörlerin ayarsızlığına bağlı olarak yassı ve çivi türü biçimsiz taneler içerirler. Bunun mahsuru ise betonun yerleşmesi sırasında işlenebilirliğin güçleşmesidir.

İşlenebilirliği sağlamak için daha çok su gerekecektir. Kaliteli beton yapımında kusurlu tanelerin hiç bulunmaması arzu edilir.



**Şekil 2.1.** Agregaların mümkün olan granülometrileri

#### **2.4.6. Granülometri Bileşiminin Beton Özellikleri Üzerine Etkileri**

Beton strüktür malzemesi olarak düşünüldüğü vakit, bu malzemenin yüksek bir basınç mukavemetine sahip olması istenir. Betonun mukavemetinin istenilen değerden büyük olabilmesi için tabiatıyla betonun üretiminde bazı şartların yerine gelmesi gerekir. Şimdiye kadar yapılmış pek çok araştırma ve çalışmalardan kesin olarak anlaşılmıştır ki beton üretiminde kullanılan yoğurma suyu miktarı mukavemet üzerine büyük bir etki yapmaktadır. Kullanılan su miktarı, belirli bir değerden küçük olmamak üzere, arttıkça beton mukavemeti gayet önemli azalmalar gösterir. Betona konulan suyun birçok fonksiyonu vardır. Öncelikle su çimentonun hidrasyonunu sağlar sonra kum ve çakıl tanelerini ıslatır ve taze betonun kalıbına yerleşmesini kolaylaştırır. İşte agrega tanelerini ıslatmak için kullanılan su agreganın granülometri bileşimine bağlı olarak bulunmaktadır. Buradan granülometri bileşimin betonun mukavemeti üzerinde ne kadar büyük bir etki yapabileceği kolaylıkla anlaşılır. Bir cismin mukavemeti bilinmelidir ki içinde bulunduğu boşlukla ilgilidir. Boşluk fazla ise veya kompasite düşük ise malzeme büyük bir mukavemete sahip olamaz. Betonlarda da aynı durum söz konusudur. Betonlarda kompasitenin büyük olması ancak betonu teşkil eden agreganın kompasitesinin büyük olması ile mümkündür. Agreganın kompasitesi ise agreganın granülometri bileşimine bağlıdır. Granülometri bileşiminin bazı durumları kompasitenin büyük değerler almasına,

bazı durumları ise bu karakteristiğın küçülmesine sebep olur. Agreganın kompasitesinin çimento miktarı veya ve ya çimento dozajı üzerinde de önemli bir etkisi bulunmaktadır.

Düşük kompasiteli bir agrega ile beton üretilecekse fazla miktarda boşlukların doldurulması için çimento miktarını arttırmak gerekir. Bu tedbir aşıkârdır ki betonun maliyet fiyatını arttırır. Ayrıca fazla miktarda çimento kullanmanın teknik bakımdan, rötreyi artırması gibi, önemli sakıncaları da vardır.

Betonda aranan önemli özelliklerden biri de işlenebilme özeliğidir. Diğer bir deyişle taze betonun kalıbına kolaylıkla yerleştirilebilme kabiliyetine sahip olmalıdır. Betonun bu özeliğe sahip olmasında, o betonun yapımında kullanılan agreganın granülometri bileşiminin rolü büyüktür. Bileşim bazı şartları yerine getirmediği takdirde beton işlenebilme özeliğinden kısmen veya tamamen yoksun kalır. Böyle bir beton kalıbına iyi bir şekilde yerleştirilemez ve bundan dolayı malzeme içinde meydana gelen boşluklar betonun yüksek bir mukavemet kazanmasına engel olur. Kısaca yapılan bu açıklamadan kolaylıkla anlaşılacaktır ki agrega granülometri bileşiminin bazı şartları yerine getirmemesi halinde betonun mukavemeti düşecek, fazla miktarda çimento kullanmak zorunluluğu hâsıl olacak, bu ise çatlakların teşekkülünü kolaylaştırmak gibi bir takım sakıncaları ortaya çıkaracaktır. Granülometri bileşiminin beton için en elverişli durumunu saptayabilmek için;

- Granülometri bileşimi ile su miktarı,
- Granülometri bileşimi ile kompasite,
- Granülometri bileşimi ile işlenebilme özelliği arasında nasıl bir bağıntı bulunduğunu araştırmak lazımdır [13].

#### **2.4.7. Agregalarda Granülometri Bileşimi Açısından Aranan Şartlar**

Yukarıda verilen bilgiler granülometri bileşiminin yoğurma suyu, kompasite ve işlenebilme özelliği üzerindeki etkisini açıklamaktadır. Agreganın granülometri bileşimi bazı şartları yerine getirdiği takdirde agrega az miktarda suya ihtiyaç gösterecek, agreganın kompasitesi yüksek olacak betonun istenilen işlenebilme özeliğine sahip olması sağlanacaktır. Bütün bunların bir sonucu olarak bu agrega kullanılarak üretilen beton üstün özelliklere sahip olacak ve bu arada mukavemeti yüksek bir değer alacaktır.

## 2.5.Sürekli Granülometri Eğrisi

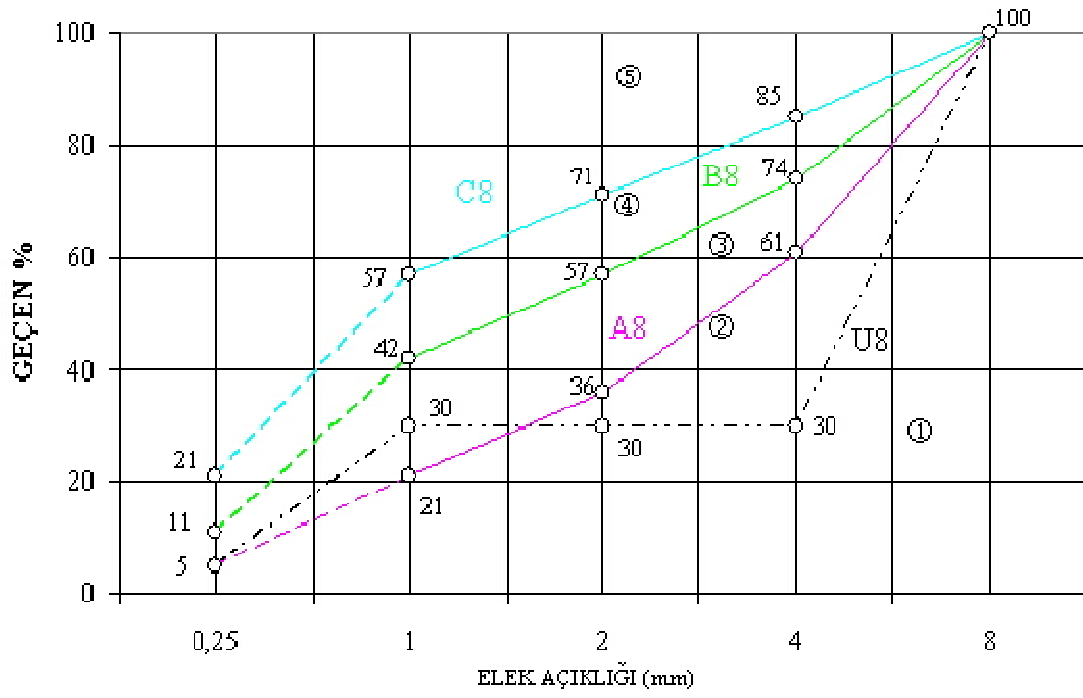
Sıfırdan belirli bir büyüklüğe kadar bütün taneleri içeren agreganın kümülatif (yığışımlı) % geçeniyle elde edilen sürekli eğridir. TS EN 802’de belirtildiği gibi Şekil 2.2, Şekil 2.3, Şekil 2.4 ve Şekil 2.5’te gösterilen 3 numaralı bölgeye düşecek tane dağılımları uygun bölge olduğu için kabul edilmelidir. Agreganın eğrisi x eksenine yakınsa kum oranı fazla, y eksenine yakınsa çakıl oranı fazladır. Eğer eğri köşegenden köşegene doğru bir eğri oluşturuyorsa ince ve iri agreganın oranı birbirine yakın ve uygun olduğu söylenebilir. Genel olarak iri agreganın %50’nin üstünde, ince agreganın ise %50’nin altında olması istenir. Şekilde 2.2, şekil 2.3, şekil 2.4 ve şekil 2.5’te görülen A, B, C eğrileri sürekli granülometri sınır eğrileridir. Agreganın granülometrisinin A ile C arasında olması istenir. A ile B eğrisi arasındaki 3.bölge, B ile C eğrisi arası 4. Bölge kullanılabilir bölge adını alır. A ile C eğrisi dışındaki 1 ve 5 nolu bölgelere düşen granülometri eğrilerine sahip alandaki agregalar kesinlikle beton yapımında kullanılmamalıdır.

## 2.6. Kesikli Granülometri Eğrisi

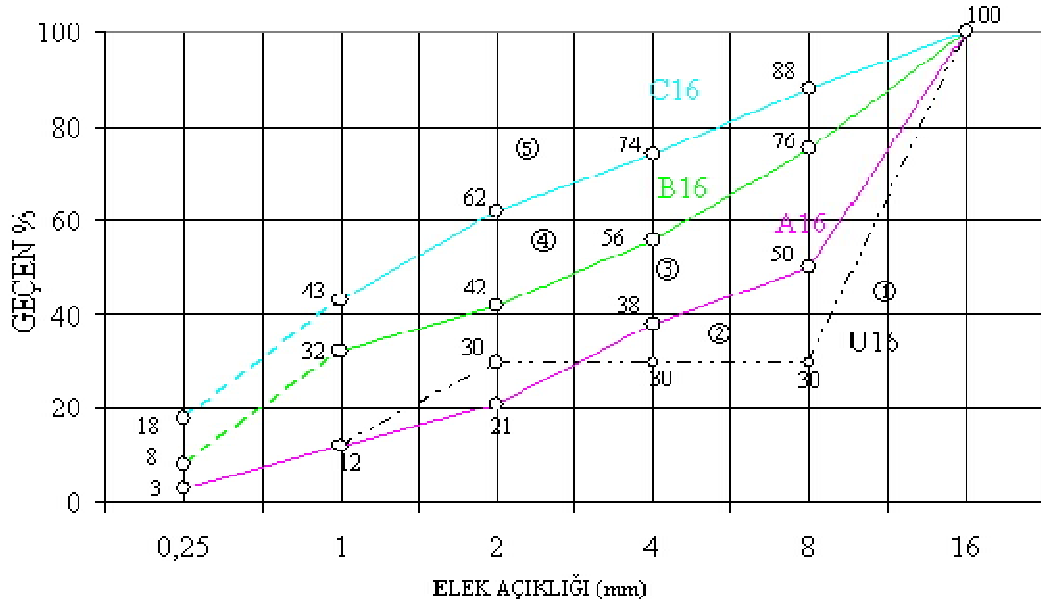
Orta büyüklüklerdeki taneleri içermeyen kesikli granülometri eğrileri, alt sınırı oluşturan U eğrisi ile A eğrisi arasında bulunmalıdır. Kesikli granülometri elde etmek için en az iki tane sınıf karıştırılmalıdır. Maksimum tane boyutu 32 mm’ye kadar olan kesikli granülometreli hazır karışık agreganın BS 25’den küçük olan betonlar için kullanılabilir [14].

Kesikli granülometrinin özel bir durumu da ince taneli bir beton olmasıdır. Bu tür betonlar düşük dayanımlı ve su geçirgendir. İri agregaları, ince agregalar yerine çimento hamuru sarmaktadır. Bu betonların avantajı ise düşük yoğunluklu, az rötre yapması ve yüksek ısı yalıtımı sağlamasıdır. Genellikle yapıların yük taşımayan kısımlarında kullanılır [15].

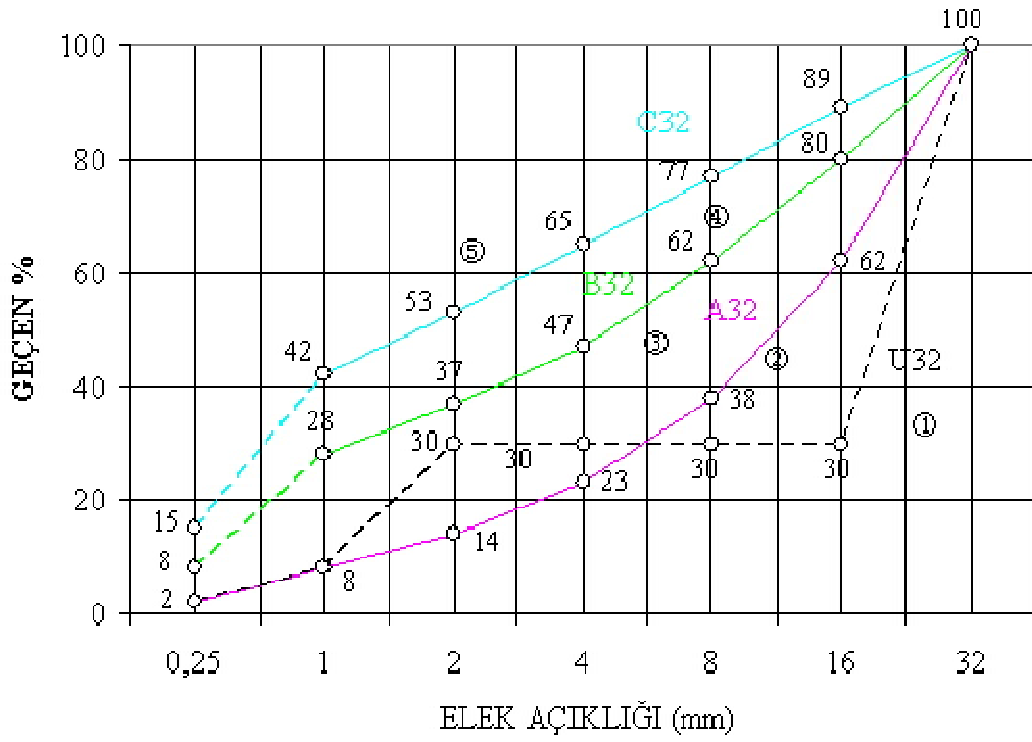




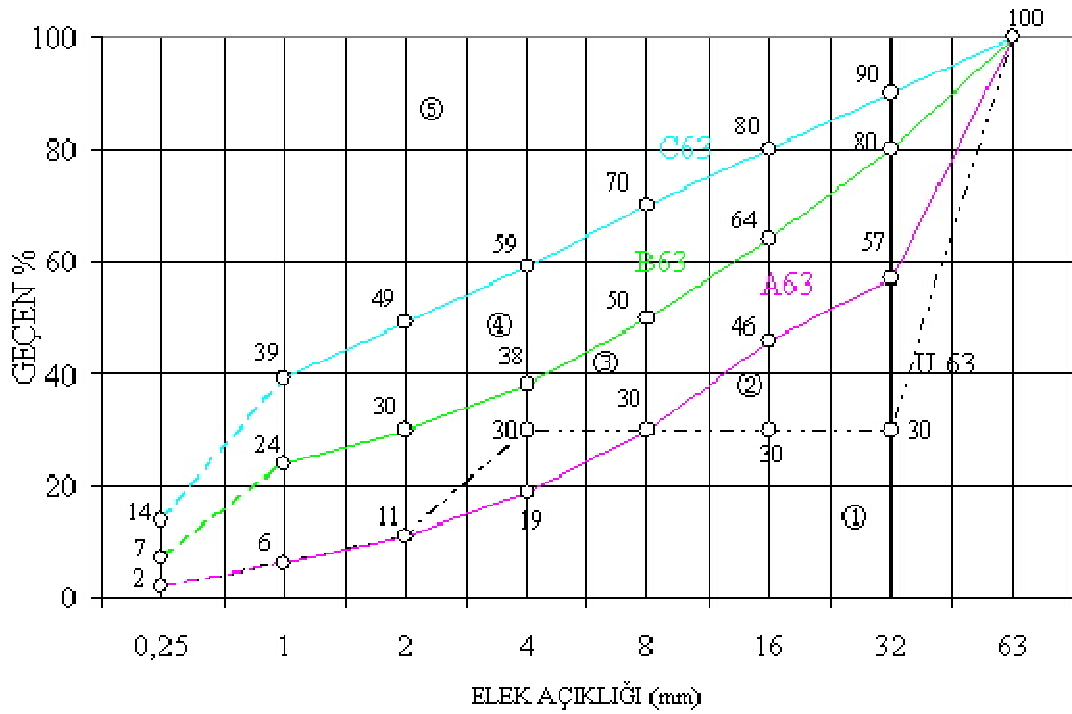
Şekil 2.2. Maksimum tane büyüklüğü 8,0 mm olan karışık agrega granülometri eğrileri.



Şekil 2.3. Maksimum tane büyüklüğü 16 mm olan karışık agrega granülometri eğrileri.



Şekil 2.4. Maksimum tane büyüklüğü 32 mm olan karışık agrega granülometri eğrileri.



Şekil 2.5. Maksimum tane büyüklüğü 63 mm olan karışık agrega granülometri eğrileri

### **3. MATERYAL VE METOT**

Tez çalışması kapsamında Fırat Üniversitesi Yapı Eğitimi Laboratuvarı'nda su/çimento oranı 0.50 olan, kesikli ve sürekli granülometriye sahip toplam 20 serilik karışım üretilmiştir.

#### **3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri**

##### **3.1.1. Agregalar**

Mineral kökenli olup boyutları genellikle 100 mm'ye kadar çıkan tanelerden oluşan malzemeye agrega denir. Betonun hacim bazında %60-%80'ini, ağırlıkça da 4/5'ini agrega oluşturur. Taze ve sertleşmiş betonun özellikleri, karışım oranları ve maliyet agreganın özelliklerinden önemli derecede etkilenir.

Beton agregası doğal kum ve çakıl karışımlarından, ayrıca yapay kırmataş (mıcır) malzemeden meydana gelir. Doğal agregalar taş ocaklarından, kurak mevsimde dere yataklarından deniz ve nehir tabanlarından elde edilirler. İstenen agrega boyutlarının elde edilebilmesi için ise büyük taş kütleleri konkasörde kırılırlar. Bu şekilde oluşan köşeli ve pürüzlü yüzeye sahip malzemelere mıcır adı verilir ve mıcır bu özellikleriyle doğal kum ve çakıldan ayrılır.

Beton üretimine uygun bir agrega temiz, sert ve sağlam olmalıdır. Beton agregalarıyla çimento arasındaki bağıntı fiziksel ve mekanik karakter taşımalı, agregalar çimentoyla kimyasal etkileşime girmemelidir. Beton üretiminde kullanılacak agregaların yuvarlak olması, işlenebilirlik yeteneğini ve betonun doluluğunu artırır. Yassı ya da uzun taneli mıcırlar ise betonun işlenebilme yeteneğini azaltırlar.

Uygun karışımın sağlanması, önce agreganın elek serisinden elenip, tane boyutu sınırlarına göre kümelenmesi, daha sonra standartlarla saptanmış küme miktarlarına göre ilgili boyut eksikliklerinin hesaplanması ve gereken miktardaki agrega külesinin eklenmesi yöntemiyle gerçekleştirilir.

Agreganın granülometik yapısı, üretilecek betonun doluluğuna, mekanik direncine ve geçirimsizliğine etki eder [9]. Beton üzerinde yapılan araştırmaların sonuçları, maksimum tane büyüklüğü için en uygun boyutun 25mm olduğunu ve maksimum tane büyüklüğünün yaklaşık 40mm den daha büyük olmaması gerektiğini göstermektedir [3]. Dolayısıyla bu çalışmada kullanılan maksimum dane boyutu olarak 32mm seçilmiştir.

Deneysel çalışmalarda Elazığ Palu yöresine ait dere agregası ve Elazığ Sütlüce yöresine ait kırmataş agrega kullanılmıştır. Karışımlarda kullanılan en büyük agrega çapı 32 mm'dir. Kum olarak 0-4, iri agrega olarak ise 4-8, 8-16 ve 16-32 mm büyüklüğünde agregalar kullanılmıştır. Agregaların temin edildiği yerlerden alınan deney sonuçları Tablo 3.1.'de verilmiştir.

**Tablo 3.1.** Agregaların fiziksel özellikleri

| Agrega türü          | Özgül ağırlık(gr/cm <sup>3</sup> ) | Su emme(%) |
|----------------------|------------------------------------|------------|
| Dere agregası (ince) | 2.67                               | 3.46       |
| Dere agregası (iri)  | 2.73                               | 2.00       |
| Kırmataş (ince)      | 2.64                               | 2.25       |
| Kırmataş (iri)       | 2.70                               | 3.00       |

### 3.1.2. Çimento

Çimento su ile karıştırıldığında az veya çok akıcı niteliğe kavuşan, sadece suyun etkisiyle priz yapan, katılaştıran ve sertleşen ince taneli malzemedir. Çimento, kimyasal yönden duyarsız çakıl, kırmataş, kum gibi mineral malzemelerin büyük miktarlarda ve değişik oranlarda bir araya gelerek katı bir cisim oluşturmasında bağlayıcılık rolü üstlenir.

Çimentonun temin edildiği yer olan Elazığ Altınova Çimento Fabrikasından alınan fiziksel, kimyasal ve mekanik deney sonuçları Tablo 3.2.'de verilmiştir.

**Tablo 3.2.** Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri

| Kimyasal bileşim %                 | Çimento<br>(CEM I 42.5 N) |
|------------------------------------|---------------------------|
| <b>Kimyasal Özellikler</b>         |                           |
| S(SiO <sub>2</sub> )               | 21.12                     |
| A(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | 5.62                      |
| F(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | 3.24                      |
| C(CaO)                             | 62.94                     |
| MgO                                | 2.73                      |
| SO <sub>3</sub>                    | 2.30                      |
| Na <sub>2</sub> O                  | --                        |
| K <sub>2</sub> O                   | --                        |
| Cl                                 | 0.009                     |
| Kızdırma kaybı                     | 1.78                      |
| <b>Fiziksel Özellikler</b>         |                           |
| Yoğunluk(g/cm <sup>3</sup> )       | 3.13                      |
| Özgül yüzey(cm <sup>2</sup> /g)    | 3370                      |
| Priz başlama süresi(dk)            | 168                       |
| Priz bitiş süresi(dk)              | 258                       |
| <b>Basınç Dayanımı</b>             |                           |
| 2. gün(MPa)                        | 25.8                      |
| 7. gün(MPa)                        | 41.8                      |
| 28. gün(MPa)                       | 50.7                      |

Çimentonun karışımdaki ana görevi katılacak betona mekanik mukavemetini sağlamaktır. Çimentonun ince taneli dokusunun, kaba yerleştirilmiş betonun yoğunluğunun artmasında ve priz öncesi karışımın işlenebilirliğinde önemli rolü bulunur. Betonun mukavemetinin yükseltilebilmesinde işlenebilirlik ve yoğunluk en önemli iki etkidir [9].

Deneysel çalışmalarda Elazığ Altınova Çimento fabrikasında üretilen CEM I 42.5 N tipi çimento kullanılmıştır.

### **3.1.3. Karma Suyu**

Beton karışımının üretilmesinde kullanılan suya çok dikkat edilmesi gerekmektedir. Çünkü karma suyu bulunabilecek eriyik veya askıdaki çeşitli maddeler çimentonun priz sürelerini, beton direncini ve işlenebilme yeteneğini etkilerler ve donatının korozyonuna yol açarlar. Beton karma suyundan istenen en temel nitelik içilebilir su olmasıdır.

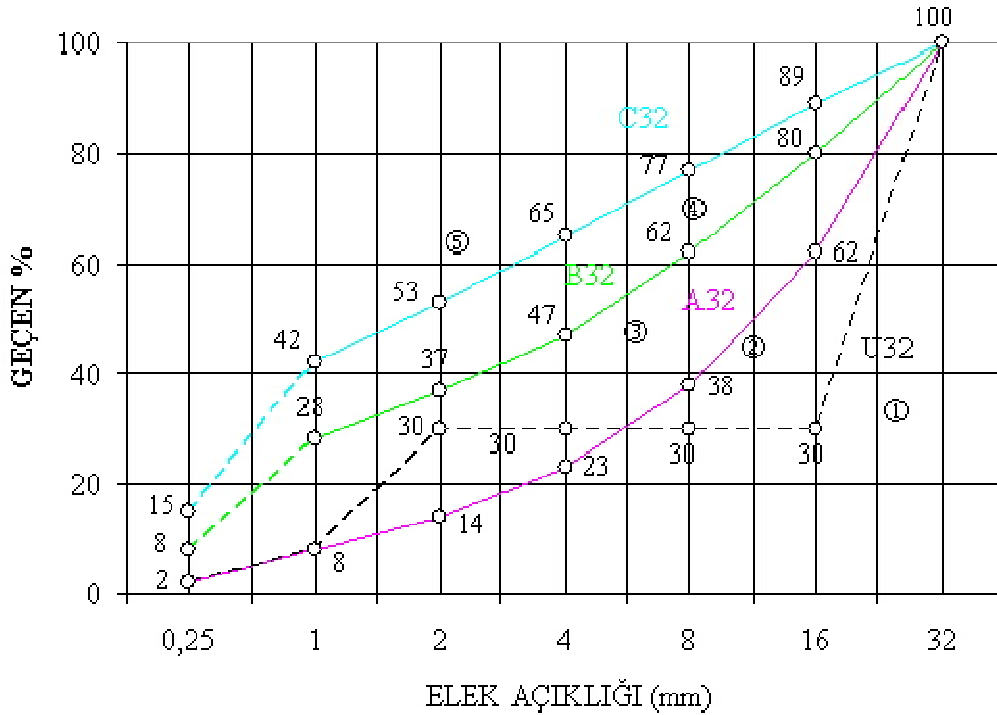
Beton karma suyuyla ilgili olarak TS 500 ve TS 1247 standartlarında çeşitli kısıtlamalar getirilmiştir. Bu standartlarda betonarme betonunda kullanılacak karma suyu asitli ortam bulunmaması yani pH değerinin 7'nin üzerinde olması istenmektedir. Suya kanalizasyon karışırsa, şeker ve nişasta gibi organik maddelerin varlığı prizi geciktirir. Endüstriyel bölge atık sularında rastlanabilecek ağır metal oksitleri ve tuzları (Hg, Pb, Zn) priz süresini etkiler. Manganez, magnezyum, amonyum ve tuzları, hidrate olmuş çimento bileşenlerini iyon değişme yolu ile tahrip ederler. Donatı demirlerinin paslanmasına yol açacak klor ve sülfat iyonlanma üst sınırları sırasıyla 0,5 g/l ve 1 g/l dir. Bulanık suların, bulanıklığa neden olan askıdaki kil ve silt gibi maddelerin miktarı, 2 g/l den fazla değilse beton karışım suyu olarak kullanılmasına izin verilmektedir. Çözülmüş tuzlarda bu sınır bir miktar yüksek tutulabilir.

Yapılan araştırmalar, karma suyunun bir optimum değeri için dayanımın maksimum olduğunu ve su miktarının bu değerden sapsması durumunda mukavemetin bir kısmının kaybolduğunu göstermiştir. Karma suyu, uygulamada genellikle bu optimum miktardan biraz daha fazla kullanılır. Bu fazlalık, elde edilecek betonun kullanılacağı amaca göre saptanır. Betonun yoğunlaşması için, karışıma eklenmesi gerekli olan su miktarı agreganın mineralojik özellikleri ve suya karşı ilgisi, agregada içindeki nemin değeri ve kullanılan çimentonun cinsi gibi etkenlere bağlıdır. Karma suyunun bu etkenlere göre çok incelikli bir şekilde saptanması gereklidir. Su ağırlığının çimento ağırlığına oranına su/çimento oranı adı verilir. Bu oran 0,3 ile 0,6 arasında olabilir. Ancak mümkün olduğu kadar küçük olması gerektiği de unutulmamalıdır. Eklenmesi gereken su, bu yöntemle belirtilecek miktardan,

kullanılan agreganın içindeki nem değeri çıkarılmak suretiyle elde edilir. Agregatanelerinin yüzeyi, iç kısmına göre çoğunlukla daha kuru durumda bulunduğundan beton yapım sırasında sık sık agreganın nem içeriğinin saptanması ve eklenecek su miktarının ayarlanması gerekir [9].

### 3.2. Beton Karışımları

Bu çalışmada her bir dozaj için, 5 farklı beton numunesi üretilmiştir. Bunların 4 adeti kesikli granülometri ile 1 adeti ise sürekli granülometri ile oluşturulmuştur. İki değişik dozajda ( $300\text{kg/m}^3$ - $400\text{kg/m}^3$ ) ve iki değişik agrega türü (dere agregası- kırmataş agrega) için, 20 serilik beton karışımı hazırlanmıştır. Bütün bileşimlerde su/çimento oranı 0.50 alınmıştır. Sürekli granülometri ile yapılan karışımlarda, beton karışım hesabı TS 802'de belirtilen esaslara göre yapılmıştır. Kesikli ve sürekli granülometriye sahip agrega karışımlarını hazırlamak için, TS802'de belirtilen A32 ve C32 referans eğrileri arasında kalacak şekilde B32 eğrisi kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Maksimum tane büyüklüğü 32 mm olan karışık agrega granülometri eğrileri

**Tablo 3.3.** Beton Karışım Oranları (1m<sup>3</sup> için)

| Seriler  | Su/çimento oranı | Çimento (kg) | Su (lt) | Agrega(kg) |        |        |         |
|----------|------------------|--------------|---------|------------|--------|--------|---------|
|          |                  |              |         | 0-4mm      | 4-8mm  | 8-16mm | 16-32mm |
| SG1-I-k  | 0.50             | 300          | 150     | 930.6      | 297    | 356.4  | 396     |
| KG1-I-k  | 0.50             | 300          | 150     | -          | 1227.6 | 356.4  | 396     |
| KG2-I-k  | 0.50             | 300          | 150     | 930.6      | -      | 653.4  | 396     |
| KG3-I-k  | 0.50             | 300          | 150     | 930.6      | 297    | -      | 752.4   |
| KG4-I-k  | 0.50             | 300          | 150     | 1108.8     | 396    | 475.2  | -       |
| SG2-II-k | 0.50             | 400          | 200     | 826.2      | 263.7  | 316.4  | 351.6   |
| KG1-II-k | 0.50             | 400          | 200     | -          | 1089.9 | 316.4  | 351.6   |
| KG2-II-k | 0.50             | 400          | 200     | 826.2      | -      | 580.1  | 351.6   |
| KG3-II-k | 0.50             | 400          | 200     | 826.2      | 263.7  | -      | 668.1   |
| KG4-II-k | 0.50             | 400          | 200     | 984.4      | 351.6  | 421.9  | -       |
| SG3-I-d  | 0.50             | 300          | 150     | 895.8      | 285.9  | 343.08 | 381.2   |
| KG1-I-d  | 0.50             | 300          | 150     | -          | 1181.7 | 343.08 | 381.2   |
| KG2-I-d  | 0.50             | 300          | 150     | 895.8      | -      | 628.9  | 381.2   |
| KG3-I-d  | 0.50             | 300          | 150     | 895.8      | 285.9  | -      | 724.2   |
| KG4-I-d  | 0.50             | 300          | 150     | 1067.3     | 381.2  | 457.4  | -       |
| SG4-II-d | 0.50             | 400          | 200     | 795.7      | 253.9  | 304.7  | 338.6   |
| KG1-II-d | 0.50             | 400          | 200     | -          | 1049.6 | 304.7  | 338.6   |
| KG2-II-d | 0.50             | 400          | 200     | 795.7      | -      | 558.6  | 338.6   |
| KG3-II-d | 0.50             | 400          | 200     | 795.7      | 253.9  | -      | 643.3   |
| KG4-II-d | 0.50             | 400          | 200     | 948.08     | 338.6  | 406.3  | -       |

### 3.3. Üretimde İzlenen Sıra

- Agregalardan oluşan kuru karışımın 60 saniye süreyle karıştırılması,
- Çimento ve karma suyunun yarısı eklenerek 60 saniye süreyle karıştırılması,
- Karma suyunun kalan yarısının eklenmesi ve 60 saniye süreyle karıştırılmaya devam edilmesi,
- Çökme deneyinin yapılması, (uygun değer sağlandıktan sonra)
- Betonun kalıplara alınması,
- Sıkıştırılması

İşlemlerinden sonra sertleşmiş beton numuneleri üretimden 1 gün sonra kalıptan çıkartılarak daha önceden belirlenmiş olan kür ortamında 28 gün süreyle bekletilmiştir.

### 3.4. Numune Boyutları ve Şekilleri

Bu çalışmada, yarmada çekme deneyi için 60 adet Ø150×300mm'lik silindir numune, basınç deneyi için 60 adet 150×150×150 mm ebatlarında küp numune, eğilmede çekme

deneyi için 60 adet  $100 \times 100 \times 500$  mm ebatlarında kiriş numunesi, yüksek sıcaklık deneyi için 180 adet  $100 \times 100 \times 100$  mm küp numune ve aşınma deneyi için 60 adet  $70,7 \times 70,7 \times 70,7$  mm ebatlarında küp numuneler üretilmiştir.



Şekil 3.2. Değişik boyutlarda üretilen numuneler



Şekil 3.3. Üretilen numuneler



### 3.5. Kür Programı

Beton karışım hazırlandıktan sonra boyutları belli olan hazır kalıplara dökülür. Bir gün süreyle kalıpta bekletilir. Daha sonra kalıplardan çıkarılan numuneler, içerisinde karma suyuyla aynı niteliklere sahip olan su ile dolu havuza yerleştirilir. Üretilen numunelerin tamamına kür işlemi uygulanmıştır. İzlenen kür programında numuneler 28 gün süreyle  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de kirece doymun su içinde saklanmıştır.



Şekil 3.4. Kür havuzundaki numuneler

### 3.6. Numune Kodlarının Belirlenmesi

Bu çalışmada üretilen 20 farklı serinin kodlanmasında ilk bölüm karışımın kesikli veya sürekli granülometri ile üretildiğini açıklamaktadır. K ile gösterilen karışımlar kesikli granülometri ile S ile gösterilen karışımlar sürekli granülometri ile oluşturulmuşlardır. Kodlamanın ikinci bölümü kesikli granülometride aralıkları, sürekli granülometride ise kaç numaralı karışım olduğunu göstermektedir. Kodlamanın üçüncü bölümü karışımda kullanılan dozajı temsil etmektedir. Kodlamada son olarak kullanılan agrega türleri belirtilmektedir.

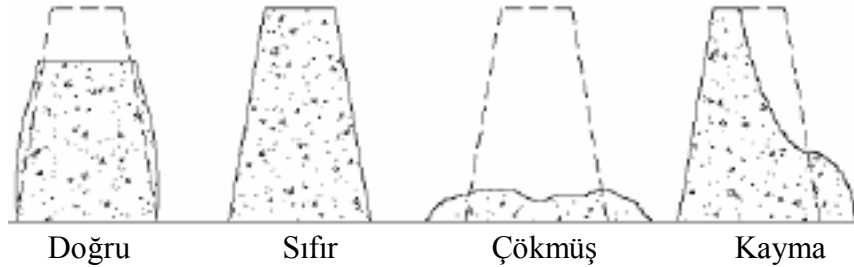
Örneğin; KG4-II-d kodu, 400 dozlu (16-32) nolu aralığın kullanılmadığı kesikli granülometrilere dere agregasıyla üretilen karışımı ifade etmektedir.

## 4. BULGULAR

### 4.1. Çökme (Slump) Deneyi

Taze beton deneyi olarak çökme (slump) deneyi yapılmıştır. Bu deney TS EN 12350-2' de tanımlandığı şekilde yapılır. Çökme deneyi için üst çapı 10 cm, alt çapı 20 cm ve yüksekliği 30 cm olan bir kesik koni, Abrams konisi kullanılır. Koni, düz ve su emmeyen bir yüzeye oturtularak üç eşit yükseklikte tabakalar halinde taze betonla doldurulur. Her tabaka, çapı 16 mm olan özel deney çubuğu ile 25 kez şişlenerek sıkıştırılır. Kalıp tamamen doldurularak üzeri mala ile düzeltilir. Daha sonra kalıp bekletilmeden kulplarından tutularak yavaşça ve sarsılmadan kaldırıldığında taze betonun kendi ağırlığı etkisiyle yaptığı çökme gözlenir. Çökme miktarı bir bakımdan betondaki su içeriğinin bir fonksiyonu olup aynı zamanda da en etkin göstergesidir.

Çöken betonun aldığı şekil kohezyon hakkında fikir verir. Kohezyonsuz betonlarda karışım, eğimli düzlemler boyunca kayar. Kohezyonun düşük olması ince malzemenin eksikliğini gösterir. Şekil 4.1.'de çökmenin dört farklı çeşidi görülmektedir.



Şekil 4.1. Çökmenin dört çeşidi

Basit araçlarla yapılabilen çökme deneyi şantiyelerde de kolaylıkla uygulanabilir. Bu deney plastik ve akıcı betonlarda bir anlam taşır. Numunede yıkılma olmaksızın, koni çıkartıldıktan itibaren betonun çöktüğü miktar, karışım kıvamının ölçütü olarak değerlendirilir. Plastik kıvamdaki karışımlar 5-10 cm aralığında çökme gösterirler. Numunedeki çökme sınır değerleri en az 2,5 cm, en çok 18-20 cm olmalıdır. Bu sınırların dışındaki değerler (0,5-2 cm) aşırı kohezyonlu veya (21-24 cm) aşırı akıcı betonları gösterirler [9].

Bu çalışmadaki çökme değerleri 7 cm ve 17 cm arasındadır. Dolayısıyla sınır aralıklarına uygundur.

## 4.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Sertleşmiş beton deneyleri olarak küp basınç deneyi, yarmada çekmedayanımı deneyi, eğilmede çekme dayanımı deneyi, ultrasonik ses geçiş hızı, kılcal (kapiler) su emme deneyi, yüksek sıcaklık deneyi ve aşınma deneyi deneyi uygulanmıştır.

### 4.2.1. Küp Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı deneyinde 150×150×150 mm ebadında küp numuneler kullanılmıştır. 28 gün 20°C ±2°C'lik su küründe beklemiş küp numuneler su havuzundan alınmış ve tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmuşlardır. Belirlenen beton yaşlarına ulaşan numuneler Şekil 4.2.'deki 3000 kN yükleme kapasitesine sahip otomatik kontrollü preste kırılarak dayanım değerleri bulunmuştur. Numuneler basınç dayanımı deneyi TS EN 12390-3 standardındaki hususlar dikkate alınarak uygulanmıştır [16].



Şekil 4.2. Yükleme kontrollü pres

Kırım sonrası preste okunan değer aşağıdaki formülde yerine konularak basınç dayanımı hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (4.1)$$

$\sigma$ = Beton deney numunesi basınç dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)

P= Kırılma yükü (N)

A= Kesit alanı (mm<sup>2</sup>)

**Tablo 4.1.** Küp Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

| Numune kodu | Basınç Dayanımı<br>(MPa) |
|-------------|--------------------------|
| SG1-I-k     | 41.3                     |
| KG1-I-k     | 9.4                      |
| KG2-I-k     | 28.2                     |
| KG3-I-k     | 28.4                     |
| KG4-I-k     | 29.8                     |
| SG2-II-k    | 43.1                     |
| KG1-II-k    | 12.8                     |
| KG2-II-k    | 30.1                     |
| KG3-II-k    | 30.4                     |
| KG4-II-k    | 32.8                     |
| SG3-I-d     | 41.3                     |
| KG1-I-d     | 14.1                     |
| KG2-I-d     | 46.1                     |
| KG3-I-d     | 50.1                     |
| KG4-I-d     | 39.4                     |
| SG4-II-d    | 47.1                     |
| KG1-II-d    | 27.5                     |
| KG2-II-d    | 52.1                     |
| KG3-II-d    | 58.4                     |
| KG4-II- d   | 48.7                     |

#### 4.2.2.Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi

Yarmada çekme dayanımı deneyi 20°C±2°C'lik su küründe beklemiş Ø150×300 mm'lik silindirik numuneler üzerinde TS EN 12390-6'da verilen bilgiler ışığında gerçekleştirilmiştir [17]. Numuneler prese yanal yerleştirilmişlerdir. Yükün tek noktadan uniform dağılması için demir levha yerleştirilmiştir.



Şekil 4.3. Numunenin pres tablasına yerleştirilmesi



Şekil 4.4. Numunelerin deney sonrası görüntüleri

Gerilme hesaplamalarında (4.2) bağıntısı kullanıldı. Bu bağıntıda;

$$\sigma = \frac{2P}{\pi DL}, \text{ N/mm}^2 \quad (4.2)$$

$\sigma_c$  = Yarma-Çekme dayanımı (MPa),

P = Yük (N),

D = Çap (mm),

L = Yükseklik (mm)dir.

**Tablo 4.2.** Yarma-Çekme Dayanımı Deneyi Sonuçları

| Numune kodu | Yarmada Çekme Dayanımı (MPa) |
|-------------|------------------------------|
| SG1-I-k     | 2.92                         |
| KG1-I-k     | 1.03                         |
| KG2-I-k     | 3.31                         |
| KG3-I-k     | 2.55                         |
| KG4-I-k     | 3.20                         |
| SG2-II-k    | 3.14                         |
| KG1-II-k    | 1.27                         |
| KG2-II-k    | 3.44                         |
| KG3-II-k    | 2.72                         |
| KG4-II-k    | 3.81                         |
| SG3-I-d     | 4.03                         |
| KG1-I-d     | 2.04                         |
| KG2-I-d     | 3.69                         |
| KG3-I-d     | 3.88                         |
| KG4-I-d     | 3.10                         |
| SG4-II-d    | 4.85                         |
| KG1-II-d    | 2.58                         |
| KG2-II-d    | 3.88                         |
| KG3-II-d    | 4.23                         |
| KG4-II- d   | 4.31                         |

#### 4.2.3. Aşınma Deneyi

TS 699'a göre sürtünme ile yüzey aşındırma deneyi numunelerin kalınlıklarında veya hacimlerinde meydana gelen kaybın ölçülmesi suretiyle yapılır. Aşınma kaybı hacim azalmasının ölçülmesi yoluyla tayin edilmek istendiğinde deney numunelerinin her birinin önce hacimleri tayin edilir. Bunun için deney numuneleri içerisinde  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta bulunan bir kap içerisinde yarısına kadar daldırılır. Bu durumda 1 saat bekledikten sonra  $20\pm 5$  mm kalınlıkta su ile örtülecek şekilde en az 24 saat süre ile su içerisinde bırakılır. Bu şekilde su ile doymun hale getirilen deney numuneleri sudan çıkarılarak Arşimet terazisinde su içerisinde 0,1 gr hassasiyetle tartılır. ( $A_{ds}$ ) Bundan sonraki deney numunesi üzerindeki su damlaları ıslatılıp sıkılmış bir bez veya süngerle alınır ve bekletilmeksizin havada 0.1 gr hassasiyetle tartılır ( $A_{dh}$ ).

Deney numunesi hacmi,

$$V_0 = A_{dh} - A_{ds} \quad (4.3)$$

denklemleri yardımıyla hesaplanır.

$V_0$  : deney numunesinin deneyden sonraki hacmini ( $cm^3$ ),

$A_{dh}$  : deney numunesinin havadaki kütlesini (gr),

$A_{ds}$  : deney numunesinin su içindeki kütlesini (gr) ifade etmektedir.

Bulunan sonuçlar  $0.1\text{ cm}^3$ 'e yuvarlatılarak kaydedilir. ( $V_1$ ) Sürtünme şeridi üzerine  $20\pm 0.5\text{ g}$  zımpara tozu serpilmiş ve deney numunesine çelik manivela aracılığıyla  $30\text{ kgf}$  yük uygulanarak deney numunesinin sürtünme şeridine  $0.6\text{ kgf/cm}^2$ 'lik bir basınç ile bastırılması sağlandıktan sonra cihaz çalıştırılıp disk harekete geçirilir. Diskin dönme hareketi sırasında sürtünme şeridi dışına çıkan zımpara tozları deney aleti üzerinde yer alan uygun bir tertibat ile tekrar sürtünme şeridi üzerinde toplanır. Her 22 devir sonunda otomatik olarak duran disk üzerindeki zımpara tozları ve aşınma ile deney numunesinden ayrılan kısımlar uygun bir fırça ile temizlendikten sonra sürtünme şeridi üzerine yeniden  $20\pm 0.5\text{ g}$  zımpara tozu serpilir. Deney numunesi düşey ekseninde  $90^\circ$  çevrilmek suretiyle 22'şer devirlik 20 aşınma periyodu, yani toplam 440 devir uygulanır [18]. Aşınma kaybı deney sonuçları tablo 4.3.'te verilmiştir.



**Şekil 4.5.** Aşınma (böhme) deney aleti

**Tablo 4.3. Aşınma Kaybı Denev Sonuçları**

| Numune kodu | Aşınma Kaybı<br>(50cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup> ) |
|-------------|---|
| SG1-I-k     | 4.04  |
| KG1-I-k     | 5.53  |
| KG2-I-k     | 4.4   |
| KG3-I-k     | 4.39  |
| KG4-I-k     | 4.4   |
| SG2-II-k    | 3.75  |
| KG1-II-k    | 3.99  |
| KG2-II-k    | 3.69  |
| KG3-II-k    | 3.11  |
| KG4-II-k    | 3.02  |
| SG3-I-d     | 3.53  |
| KG1-I-d     | 5.14  |
| KG2-I-d     | 3.18  |
| KG3-I-d     | 3.25  |
| KG4-I-d     | 2.49  |
| SG4-II-d    | 3.49  |
| KG1-II-d    | 4.69  |
| KG2-II-d    | 3.37  |
| KG3-II-d    | 3.98  |
| KG4-II- d   | 3.40  |

#### 4.2.4. Yüksek Sıcaklık Deneyi

Bu çalışmada 10×10×10 cm boyutlarındaki numuneler, ısınma hızı 6°C/ dakika olan 1200°C kapasiteli Protherm HLF 150 laboratuvar tipi fırında 1 saat süre ile 400°C, 600°C, 800°C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Her bir sıcaklık değeri için üçer numune kullanılmıştır. Hedef sıcaklıkta 1 saat süre çalışan fırın daha sonra otomatik olarak kapanmış ve numuneler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Tüm numunelere ultrases ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır [19].





Şekil 4.6.Yüksek sıcaklık fırını



Şekil 4.7.Yüksek sıcaklık sonrası numuneler

**Tablo 4.4.** Yüksek Sıcaklık Sonrası Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

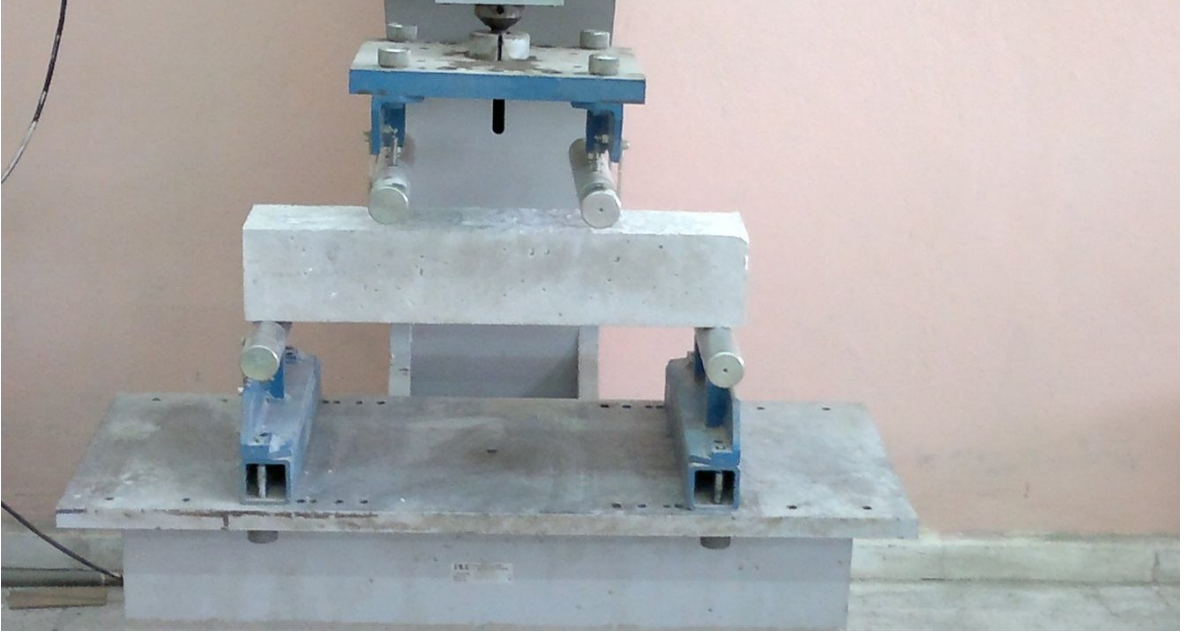
| Numune kodu | Basınç dayanımı (MPa) |       |       |       |
|-------------|-----------------------|-------|-------|-------|
|             | 20°C                  | 400°C | 600°C | 800°C |
| SG1-I-k     | 41.3                  | 36.24 | 27.36 | 14.87 |
| KG1-I-k     | 9.4                   | 7.27  | 3.84  | 1.07  |
| KG2-I-k     | 28.4                  | 26.02 | 21.90 | 14.05 |
| KG3-I-k     | 28.2                  | 23.78 | 18.17 | 6,44  |
| KG4-I-k     | 29.8                  | 21.25 | 16.46 | 6.95  |
| SG2-II-k    | 43.1                  | 38.79 | 32.80 | 15.57 |
| KG1-II-k    | 12.8                  | 8.64  | 5,58  | 2.01  |
| KG2-II-k    | 39.1                  | 37.05 | 31.15 | 15.52 |
| KG3-II-k    | 30.1                  | 27.09 | 21.41 | 14.43 |
| KG4-II-k    | 30.2                  | 27.89 | 21.10 | 13.06 |
| SG3-I-d     | 41.3                  | 38.52 | 28.53 | 11.80 |
| KG1-I-d     | 14.1                  | 12.99 | 9.69  | 6.08  |
| KG2-I-d     | 46.1                  | 42.42 | 27.85 | 12.72 |
| KG3-I-d     | 50.1                  | 39.30 | 23.83 | 13.93 |
| KG4-I-d     | 39.4                  | 35.73 | 22.80 | 9.04  |
| SG4-II-d    | 47.1                  | 43.28 | 32.20 | 11.93 |
| KG1-II-d    | 27.5                  | 23.58 | 14.04 | 8.59  |
| KG2-II-d    | 52.1                  | 47.20 | 35.08 | 24.16 |
| KG3-II-d    | 58.4                  | 50.19 | 35.42 | 18.81 |
| KG4-II- d   | 48.7                  | 42.94 | 32.20 | 13.82 |

**Tablo 4.5.** Yüksek sıcaklık sonrası basınç numunelerinin 20°C'ye göre % kayıpları

| Numune kodu | Yüksek sıcaklık sonrası basınç numunelerinin 20°C'ye göre % kayıpları |       |       |       |
|-------------|---|-------|-------|-------|
|             | 20°C  | 400°C | 600°C | 800°C |
| SG1-I-k     | %0  | %13   | %34   | %64   |
| KG1-I-k     | %0  | %23   | %60   | %89   |
| KG2-I-k     | %0  | %9    | %23   | %51   |
| KG3-I-k     | %0  | %16   | %36   | %78   |
| KG4-I-k     | %0  | %29   | %45   | %77   |
| SG2-II-k    | %0  | %10   | %24   | %64   |
| KG1-II-k    | %0  | %33   | %57   | %85   |
| KG2-II-k    | %0  | %6    | %21   | %61   |
| KG3-II-k    | %0  | %10   | %29   | %53   |
| KG4-II-k    | %0  | %8    | %31   | %57   |
| SG3-I-d     | %0  | %7    | %31   | %72   |
| KG1-I-d     | %0  | %8    | %32   | %57   |
| KG2-I-d     | %0  | %8    | %40   | %73   |
| KG3-I-d     | %0  | %22   | %53   | %73   |
| KG4-I-d     | %0  | %10   | %43   | %78   |
| SG4-II-d    | %0  | %9    | %32   | %75   |
| KG1-II-d    | %0  | %15   | %49   | %69   |
| KG2-II-d    | %0  | %10   | %33   | %54   |
| KG3-II-d    | %0  | %15   | %40   | %68   |
| KG4-II- d   | %0  | %12   | %34   | %72   |

#### 4.2.5. Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi

Eğilmede çekme dayanımı deneyi için 100x100x500 mm ebadında kiriş numuneler kullanılmıştır. Her seri için 3'er adet numune üretilerek 28 günlük dayanımlarına bakılmıştır. Numunelerin eğilmede çekme dayanımı deneyi TS EN 12390-5 standardındaki hususlar dikkate alınarak üçte bir noktalarından yüklenmiş basit kiriş metodu uygulanmıştır [20]. Eğilmede çekme dayanımı deneyinin uygulanmasında şekildeki yük kontrollü eğilmede çekme aleti kullanılmıştır. Eğilmede çekme dayanımı deney sonuçları tablo 4.6.'da verilmiştir.



**Şekil 4.8.**Yük kontrollü eğilmede çekme deney aleti

Yükleme sonrası preste okunan değer formülde yerine konularak, numunenin eğilmede çekme dayanımı hesaplanmıştır.

$$\sigma_e = \frac{PL}{bd^2} \quad (4.4)$$

$\sigma_e$  = Eğilme dayanımı,

P = Yük (N),

L = Kirişin uzunluğu (mm),

b = Kiriş kesitinin yüksekliği (mm)

**Tablo 4.6.** Eğilmede Çekme Dayanımı Deney Sonuçları

| Numune kodu | Eğilmede çekme dayanımı<br>(MPa) |
|-------------|----------------------------------|
| SG1-I-k     | 4.74                             |
| KG1-I-k     | 3.06                             |
| KG2-I-k     | 4.65                             |
| KG3-I-k     | 4.83                             |
| KG4-I-k     | 5.30                             |
| SG2-II-k    | 5.91                             |
| KG1-II-k    | 4.29                             |
| KG2-II-k    | 5.14                             |
| KG3-II-k    | 4.98                             |
| KG4-II-k    | 5.42                             |
| SG3-I-d     | 6.63                             |
| KG1-I-d     | 3.38                             |
| KG2-I-d     | 5.61                             |
| KG3-I-d     | 6.46                             |
| KG4-I-d     | 6.42                             |
| SG4-II-d    | 7.28                             |
| KG1-II-d    | 4.61                             |
| KG2-II-d    | 5.82                             |
| KG3-II-d    | 6.60                             |
| KG4-II- d   | 6.69                             |



**Şekil 4.9.** Eğilmede çekme dayanımı deneyi sonrası numuneler

#### 4.2.6. Kılcal (Kapiler) Su Emme Deneyi

Kılcal su emme deneyi için etüv kurusu numunelerin yan yüzeyleri tamamen parafin ile kaplanarak sadece alt yüzeyinden su emmesi sağlandı [21]. Deney süresince beton numunenin tabanından itibaren 5 mm su içerisinde kalması sağlandı. Numuneler belirli zamanlarda (0, 5, 10, 20, 30, 60, 180, 360, 1440 dak.) tartılarak kapiler su emme katsayıları no'lu denklem kullanılarak hesaplandı [22].

$$K = \frac{Q}{A \times \sqrt{t}} \quad (4.5)$$

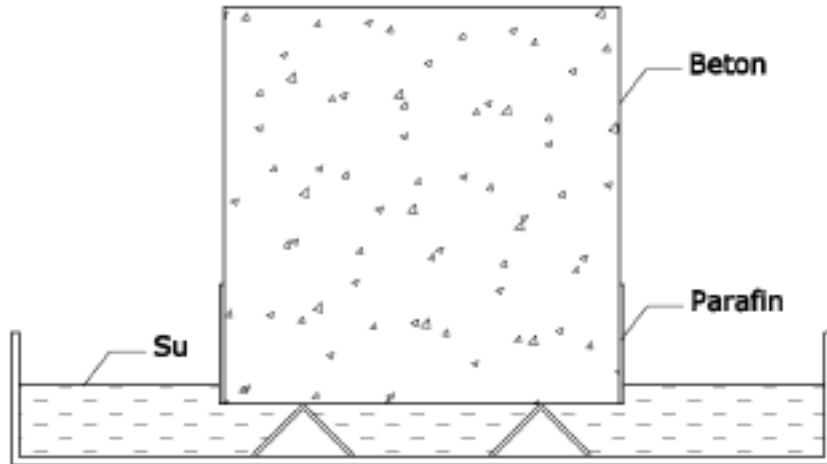
denklemden yer alan

Q = Numunenin absorbe ettiği su miktarı, (cm<sup>3</sup>);

A = Suyu temas eden yüzeyin alanı, (cm<sup>2</sup>);

K = Kapiler su emme katsayısı (cm/sn<sup>1/2</sup>) ve

t = Zaman, (s) parametrelerini ifade etmektedir [23].



Şekil 4.10. Kapiler su emme deney düzeneği

**Tablo 4.7.** Aşınma öncesi ve aşınma sonrası kılcal su emme deney sonuçları

| Numune kodu | Aşınma Öncesi (cm/sn <sup>1/2</sup> ) | Aşınma Sonrası (cm/sn <sup>1/2</sup> ) |
|-------------|---------------------------------------|--|
| SG1-I-k     | 1.65                                  | 3.01                                   |
| KG1-I-k     | 4.11                                  | 4.24                                   |
| KG2-I-k     | 1.63                                  | 3.31                                   |
| KG3-I-k     | 1.97                                  | 3.38                                   |
| KG4-I-k     | 1.28                                  | 2.40                                   |
| SG2-II-k    | 1.21                                  | 2.65                                   |
| KG1-II-k    | 3.58                                  | 4.00                                   |
| KG2-II-k    | 1.55                                  | 3.04                                   |
| KG3-II-k    | 3.28                                  | 3.32                                   |
| KG4-II-k    | 2.1                                   | 2.34                                   |
| SG3-I-d     | 2.77                                  | 2.91                                   |
| KG1-I-d     | 3.24                                  | 3.41                                   |
| KG2-I-d     | 3.05                                  | 3.24                                   |
| KG3-I-d     | 2.58                                  | 2.67                                   |
| KG4-I-d     | 3.00                                  | 3.23                                   |
| SG4-II-d    | 2.22                                  | 2.88                                   |
| KG1-II-d    | 3.20                                  | 3.25                                   |
| KG2-II-d    | 3.00                                  | 3.12                                   |
| KG3-II-d    | 2.31                                  | 2.34                                   |
| KG4-II-d    | 2.21                                  | 2.79                                   |

#### 4.2.7. Ultrasonik Ses Geçirgenlik Deneyi

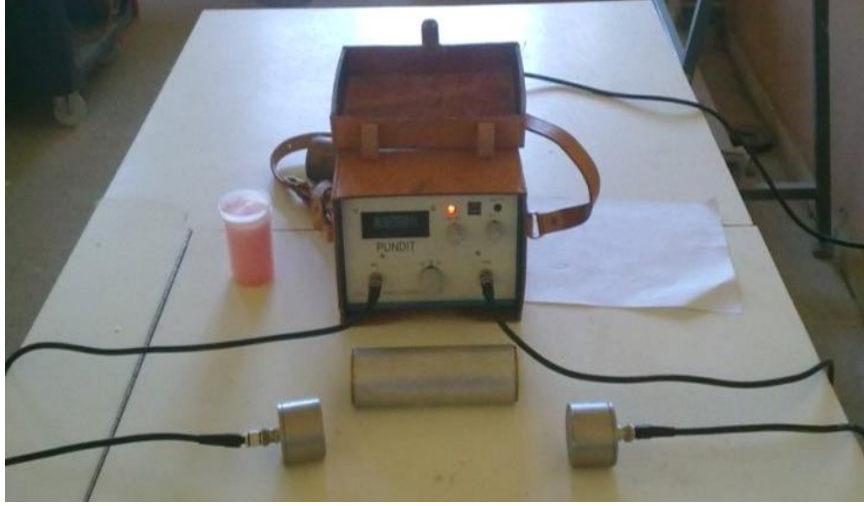
Ultrasonik ses cihazı ile betonun içersine gönderilen ses üstü dalgalarının betonun bir yüzeyinden diğerine geçme süresi ölçülüp, dalga hızı hesaplanmaktadır. Hesaplanan ses üstü dalga hızı ile betonun basınç dayanımı ve diğer özellikleri arasındaki ilişki yaklaşık olarak elde edilmektedir. Ses üstü dalga hızı aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır;

$$V = \frac{S}{T} \times 10^6 \quad (4.6)$$

V = Ses üstü dalga hızı (metre/saniye)

S = Dalga gönderilen yüzey ile dalga alınan yüzey arasındaki mesafe (metre)

T = Yüzeyler arasında dalganın geçiş süresi (mikrosaniye)



**Şekil 4.11.** Pundit cihazı

Ses üstü dalga hızı, betonun içerdiği boşluk miktarı ile bağlantılı olduğundan elde edilen ses üstü hız ile beton kalitesi hakkında genel bir ilişki kurulabilir. Whitehurst tarafından yoğunluğu yaklaşık  $2400 \text{ kg/m}^3$  olan betonlar üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonucu betonu, Tablo 4.8'e göre değerlendirmek mümkündür [3]. Numunelerin ultrasonik ses geçirgenlik deneyi sonuçları tablo 4.9.'da verilmiştir. Yüksek sıcaklık öncesi numunelerin ultrasonik ses geçiş hızları 4.10.'da verilmiştir.

**Tablo 4.8.** Ultrasonik test yöntemiyle beton kalitesinin değerlendirilmesi

| Dalga hızı (metre/saniye) | Beton kalitesi |
|---------------------------|----------------|
| >4500                     | Mükemmel       |
| 3500-4500                 | İyi            |
| 3000-3500                 | Normal         |
| 2000-3000                 | Zayıf          |
| <2000                     | Çok zayıf      |



**Tablo 4.9.** Küp numunelerin ultrasonik ses geçirgenlik deneyi sonuçları

| <b>Numune kodu</b> | <b>Ultrasonik ses geçiş hızı<br/>(m/s)</b> |
|--------------------|--|
| SG1-I-k            | 4716                                       |
| KG1-I-k            | 4322                                       |
| KG2-I-k            | 4611                                       |
| KG3-I-k            | 4550                                       |
| KG4-I-k            | 4416                                       |
| SG2-II-k           | 5084                                       |
| KG1-II-k           | 4615                                       |
| KG2-II-k           | 4803                                       |
| KG3-II-k           | 4978                                       |
| KG4-II-k           | 4950                                       |
| SG3-I-d            | 4798                                       |
| KG1-I-d            | 4319                                       |
| KG2-I-d            | 4792                                       |
| KG3-I-d            | 4924                                       |
| KG4-I-d            | 4573                                       |
| SG4-II-d           | 4881                                       |
| KG1-II-d           | 4649                                       |
| KG2-II-d           | 5028                                       |
| KG3-II-d           | 4990                                       |
| KG4-II- d          | 4611                                       |

**Tablo 4.10.** Yüksek sıcaklık öncesi numunelerin ultrasonik ses geçiş hızları

| Numune kodu | Ultrasonik ses geçiş hızı<br>(m/s) |       |       |       |
|-------------|------------------------------------|-------|-------|-------|
|             | 20°C                               | 400°C | 600°C | 800°C |
| SG1-I-k     | 4716                               | 4630  | 4525  | 4762  |
| KG1-I-k     | 4322                               | 4049  | 4167  | 4033  |
| KG2-I-k     | 4611                               | 4673  | 4609  | 4695  |
| KG3-I-k     | 4550                               | 4693  | 4425  | 4425  |
| KG4-I-k     | 4416                               | 4292  | 4330  | 4348  |
| SG2-II-k    | 5084                               | 4717  | 4652  | 4630  |
| KG1-II-k    | 4615                               | 4167  | 4185  | 4146  |
| KG2-II-k    | 4803                               | 4695  | 4588  | 4717  |
| KG3-II-k    | 4978                               | 4902  | 4673  | 4673  |
| KG4-II-k    | 4950                               | 4348  | 4274  | 4311  |
| SG3-I-d     | 4798                               | 4082  | 4567  | 4567  |
| KG1-I-d     | 4319                               | 4311  | 4185  | 4090  |
| KG2-I-d     | 4792                               | 4567  | 4525  | 4598  |
| KG3-I-d     | 4924                               | 4367  | 4855  | 4717  |
| KG4-I-d     | 4513                               | 4348  | 4311  | 4211  |
| SG4-II-d    | 4881                               | 4485  | 4588  | 4556  |
| KG1-II-d    | 4649                               | 4505  | 4066  | 4167  |
| KG2-II-d    | 5028                               | 4740  | 4609  | 4609  |
| KG3-II-d    | 4990                               | 4717  | 4220  | 4396  |
| KG4-II- d   | 4611                               | 4465  | 4386  | 4358  |

Yüksek sıcaklık sonrası numunelerin ultrasonik ses geçiş hızları tablo 4.11.'de verilmiştir.

**Tablo 4.11.** Yüksek sıcaklık sonrası numunelerin ultrasonik ses geçiş hızları

| Numune kodu | Ultrasonik ses geçiş hızı<br>(m/s) |       |       |       |
|-------------|------------------------------------|-------|-------|-------|
|             | 20°C                               | 400°C | 600°C | 800°C |
| SG1-I-k     | 4716                               | 3985  | 2740  | 1943  |
| KG1-I-k     | 4322                               | 3040  | 1710  | 1593  |
| KG2-I-k     | 4611                               | 4185  | 2532  | 2021  |
| KG3-I-k     | 4550                               | 4017  | 2151  | 1913  |
| KG4-I-k     | 4416                               | 3760  | 2294  | 2422  |
| SG2-II-k    | 5084                               | 4445  | 2882  | 2179  |
| KG1-II-k    | 4615                               | 3312  | 1946  | 1849  |
| KG2-II-k    | 4803                               | 4386  | 2933  | 2233  |
| KG3-II-k    | 4978                               | 4425  | 2591  | 2075  |
| KG4-II-k    | 4950                               | 4082  | 2809  | 2484  |
| SG3-I-d     | 4798                               | 3961  | 2545  | 1512  |
| KG1-I-d     | 4319                               | 3068  | 2381  | 943   |
| KG2-I-d     | 4792                               | 3862  | 2404  | 1569  |
| KG3-I-d     | 4924                               | 3704  | 2310  | 1417  |
| KG4-I-d     | 4513                               | 3175  | 2268  | 1261  |
| SG4-II-d    | 4881                               | 4365  | 2891  | 1717  |
| KG1-II-d    | 4649                               | 3356  | 2404  | 1380  |
| KG2-II-d    | 5028                               | 4202  | 2907  | 1840  |
| KG3-II-d    | 4990                               | 4167  | 3145  | 1676  |
| KG4-II- d   | 4611                               | 4185  | 2907  | 1637  |

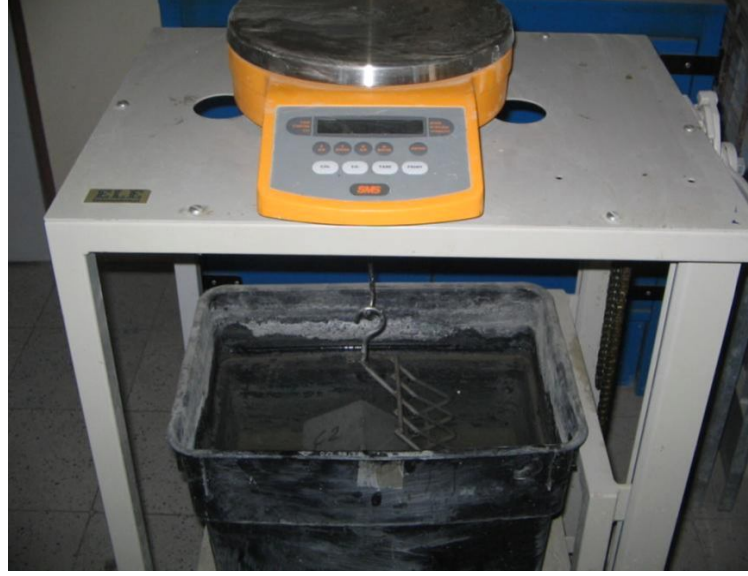
Yüksek sıcaklık sonrası ultrasonik ses geçirgenlik deneyi yapılan numunelerin 20°C'ye göre % kayıpları tablo 4.12.'de verilmiştir.

**Tablo 4.12.** Yüksek sıcaklık sonrası ultrasonik ses geçirgenlik deneyi yapılan numunelerin 20°C'ye göre % kayıpları

| Numune kodu | Yüksek sıcaklık sonrası ultrasonik ses geçirgenlik deneyi yapılan numunelerin 20°C'ye göre % kayıpları |       |       |       |
|-------------|--|-------|-------|-------|
|             | 20°C   | 400°C | 600°C | 800°C |
| SG1-I-k     | %0   | %16   | %42   | %59   |
| KG1-I-k     | %0   | %30   | %61   | %64   |
| KG2-I-k     | %0   | %10   | %46   | %57   |
| KG3-I-k     | %0   | %12   | %53   | %58   |
| KG4-I-k     | %0   | %15   | %49   | %46   |
| SG2-II-k    | %0   | %13   | %44   | %58   |
| KG1-II-k    | %0   | %29   | %58   | %60   |
| KG2-II-k    | %0   | %9    | %39   | %54   |
| KG3-II-k    | %0   | %12   | %48   | %59   |
| KG4-II-k    | %0   | %18   | %44   | %50   |
| SG3-I-d     | %0   | %18   | %47   | %69   |
| KG1-I-d     | %0   | %29   | %45   | %79   |
| KG2-I-d     | %0   | %20   | %50   | %68   |
| KG3-I-d     | %0   | %25   | %54   | %72   |
| KG4-I-d     | %0   | %30   | %50   | %73   |
| SG4-II-d    | %0   | %11   | %41   | %65   |
| KG1-II-d    | %0   | %28   | %49   | %71   |
| KG2-II-d    | %0   | %17   | %43   | %64   |
| KG3-II-d    | %0   | %17   | %37   | %67   |
| KG4-II- d   | %0   | %10   | %37   | %65   |

#### 4.2.8. Porozite, Birim Hacim Ağırlık ve Özgül Ağırlık Deneyi

Bu deneyler için 100 mm'lik küp numuneler hazırlanmıştır. Numuneler değişmez ağırlığa gelene kadar su içinde bekletilmiştir. Su altındaki ağırlıkları su altında ölçüm yapabilen tartı ile tartılmıştır. Sudan çıkarılıp doygun yüzey kuru hale getirilip tartılmıştır. Numuneler etüve bırakılarak değişmez ağırlığa gelene kadar kurutulmuştur. Etüvden çıkan numuneler tartılarak etüv kuru ağırlıkları bulunmuştur.



Şekil 4.12. Arşimet terazisi

Tartımlar sonucunda elde edilen değerler aşağıdaki formüllerde yerlerine konularak aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

$$\text{Su Emme (\%)} = \frac{W_{\text{dyk}} - W_0}{W_0} \times 100 \quad (3.7)$$

$$\text{Görünür Porozite (\%)} = \frac{W_{\text{dyk}} - W_0}{W_{\text{dyk}} - W_1} \times 100 \quad (3.8)$$

$$\text{Özgül Ağırlık (gr/cm}^3\text{)} = \frac{W_0}{W_{\text{dyk}} - W_1} \times 100 \quad (3.9)$$

$$\text{Numunenin Hacmi} = \frac{W_{\text{dyk}} - W_1}{998} \times 1000 \quad (3.10)$$

$$\text{Birim Hacim Ağırlık} = \left( \frac{W_0}{H} \right) \quad (3.11)$$

$W_{\text{dyk}}$  = Suya doymun kuru yüzey ağırlığı (gr)

$W_0$  = Etüv kuru su ağırlık (gr)

$W_1$  = Su altındaki ağırlık (gr)

$H$  = Numunenin hacmi (cm<sup>3</sup>)

## 5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

### 5.1.Basınç Dayanımı Deneyi

Şekil 5.1’de kırmataş ve dere agregasıyla üretilen sürekli ve kesikli granülometriye sahip betonların, iki farklı dozaj için, 28 günlük basınç mukavemetlerindeki değişim görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi aynı karakterdeki agregayla üretilen betonlarda dozaj artışıyla birlikte dayanımdaki değişikliklerde benzerlik göstermiştir.

Kırmataş agregayla üretilen 300 dozlu beton numunelerde sürekli granülometrilili SG1-I-k kodlu numunede en yüksek dayanıma ulaşılmış, en düşük dayanım ise KG1-I-k kodlu (0-4mm)’nin olmadığı kesikli granülometrilili betonda gözlenmiştir. Bu seride dayanımın düşük çıkması doğal olarak kaba agreganın boşluklarını dolduracak düzeyde ince malzeme olmamasından kaynaklanmaktadır. Kontrol betonunda %47 oranında bulunan (0-4mm)’lik agreganın bu seride bulunmaması, dayanımını kontrol betonuna göre %76 oranında azaltmıştır. 300 dozlu diğer serilerde (4-8, 8-16, 16-32mm’nin olmadığı) ise benzer dayanımlar elde edilmiş fakat bu serilerin dayanımları kontrol betonuna göre yaklaşık olarak %25 daha düşük çıkmıştır.

300 dozlu dere agregasıyla üretilen serilerde en yüksek dayanıma KG3-I-d kodlu numunede ulaşılmıştır. En düşük dayanım ise kırmataşla üretilen seride olduğu gibi (0-4mm)’nin bulunmadığı KG1-I-d kodlu numunede gözlenmiştir. Bu serinin dayanımında kontrol betonuna göre %66 oranında azalma görülmektedir. Burada kırma taştaki davranıştan daha farklı bir davranış söz konusudur. Kırmataş agregasıyla üretilen betonlarda en yüksek dayanım sürekli granülometriye sahip numunelerde elde edilirken burada 8-16mm lik agreganın olmadığı serilerde daha yüksek dayanımlar elde edilmiştir. Sürekli granülometriye sahip olana göre yaklaşık %25 daha fazla dayanım artışı göstermiştir. Aynı zamanda bu grafikten, dere agregasıyla üretilen betonların dayanımının kırma taş agregasıyla üretilene göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Kırmataş gibi köşeli agregalar, sürtünme etkisi ile taze betonun akıcılığını azaltmaktadır. O nedenle, yuvarlak agrega ile yapılan ve belirli bir kıvamı sahip olan betonların su ihtiyacı, aynı kıvamı sahip fakat kırma taş agrega ile yapılmış olan betonların su ihtiyacından daha az olmaktadır. İşlenebilmeyi arttırmak üzere, köşeli agregalarla yapılan betonlarda, daha çok ince agrega kullanılması gerekmektedir. Taze betonun su ihtiyacının artması, nispeten daha düşük dayanıma yol açmaktadır. Öte yandan, köşeli

agregalarla yapılan betonlarda, agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki aderans daha iyi olmaktadır. Bu çalışmada W/C oranının sabit tutulması bu sonucu doğurmuştur.

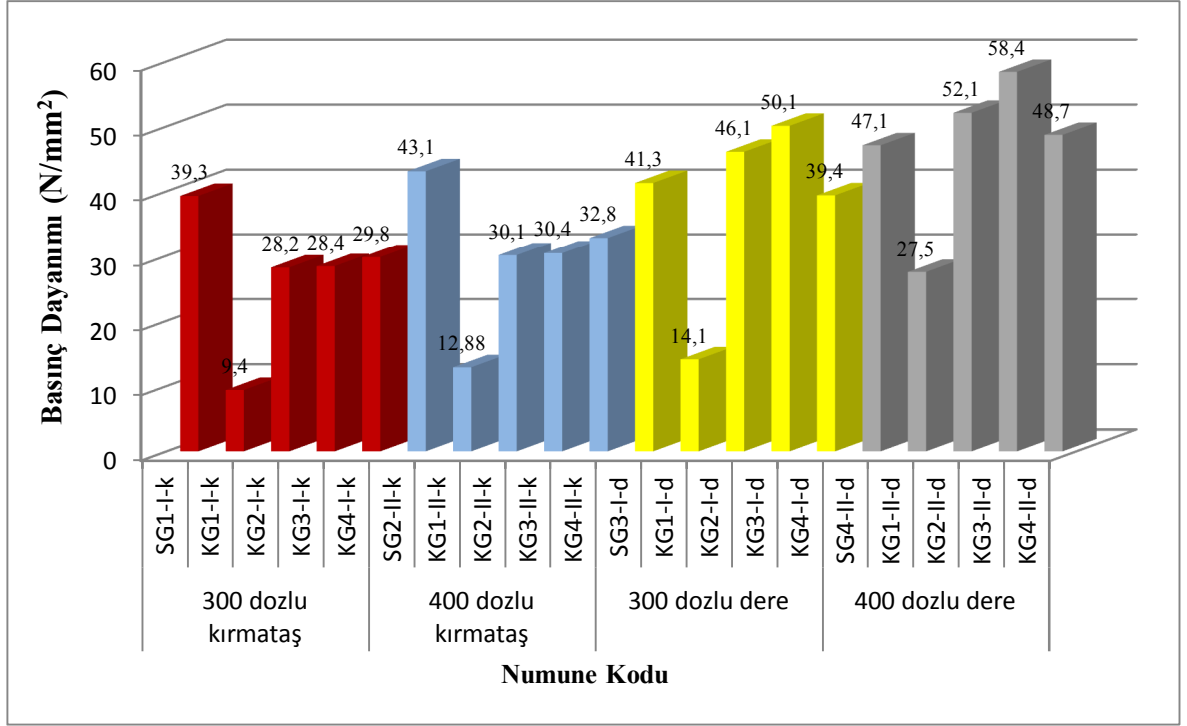
Genellikle dozajın artmasıyla dayanımın arttığı gözlenmektedir. 400 dozlu kırmataş agregayla üretilen serilerde, 300 dozlu kırmataş ile üretilen serilerde olduğu gibi sürekli gradasyona sahip kontrol betonu yani SG2-II-k kodlu numunede en yüksek dayanıma ulaşılmıştır. En düşük dayanıma 300 dozlu serilerde olduğu gibi (0-4 mm)'nin bulunmadığı KG1-II-k kodlu numunede rastlanmıştır. Bu serinin 300 dozlu seriye göre dozajın artmasıyla dayanımın %36 oranında arttığı görülmektedir.

Dere agregasıyla üretilen 400 dozlu serilerde, 300 dozlu serilerde olduğu gibi (8-16mm)'nin yer almadığı KG3-II-d kodlu numunede en yüksek dayanıma ulaşılmıştır. En düşük dayanım (0-4mm)'nin bulunmadığı KG1-II-d kodlu numunede gözlenmiştir. Bu seride 300 dozlu seriye göre dozajın artmasıyla dayanımın %96 oranında arttığı görülmektedir.

Eğer yerleşebilirlik sağlanamamışsa veya sınır değerde kalmışsa kalıba tam sıkışma ve yerleşme sağlanamayacağından basınç dayanımı düşecektir. Dere agregasının yuvarlak şekilli olup, yuvarlak agreganın yığın olarak yerleşmesi geometrik yapısı gereği daha kolay olup, özgül yüzeyi de (kıрма agregaya göre) daha küçük olduğundan dolayı işlenebilirlik açısından daha iyi sonuçlar verir. Ayrıca dokusunun camsı, parlak oluşu agreganın çimento ile aderansını olumsuz yönde etkiler. Dozaj artışıyla dayanımın artışı doğal bir sonuçtur. Dere agregası için en yüksek dayanımın sürekli granülometriye sahip numunelerde değil de 8-16mm'lik kesikli granülometriye sahip numunelerde elde edilmesini daha iyi bir işlenebilirliğe ve daha iyi bir gradasyona sahip olmasına bağlayabiliriz.

Genel olarak basınç dayanımı sonuçlarına bakıldığında KG3-II-d kodlu seride en yüksek dayanıma ulaşılmıştır. KG1-I-k kodlu numunede ise en düşük dayanımın sergilendiği görülmektedir.

Beton basınç dayanımı deneyi sonuçlarında dere agregasıyla üretilen sürekli granülometrilili betonların, kırmataş agregayla üretilen sürekli granülometrilili betonlara göre basınç mukavemetinin daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Betonda kullanılan çimento miktarı sabit tutulduğu takdirde, betonda kullanılan agreganın maksimum tane büyüklüğü arttıkça, su/çimento oranında azalma dolayısı ile beton dayanımında artma olmaktadır.



Şekil 5.1. Numunelerin 28 günlük basınç dayanımları

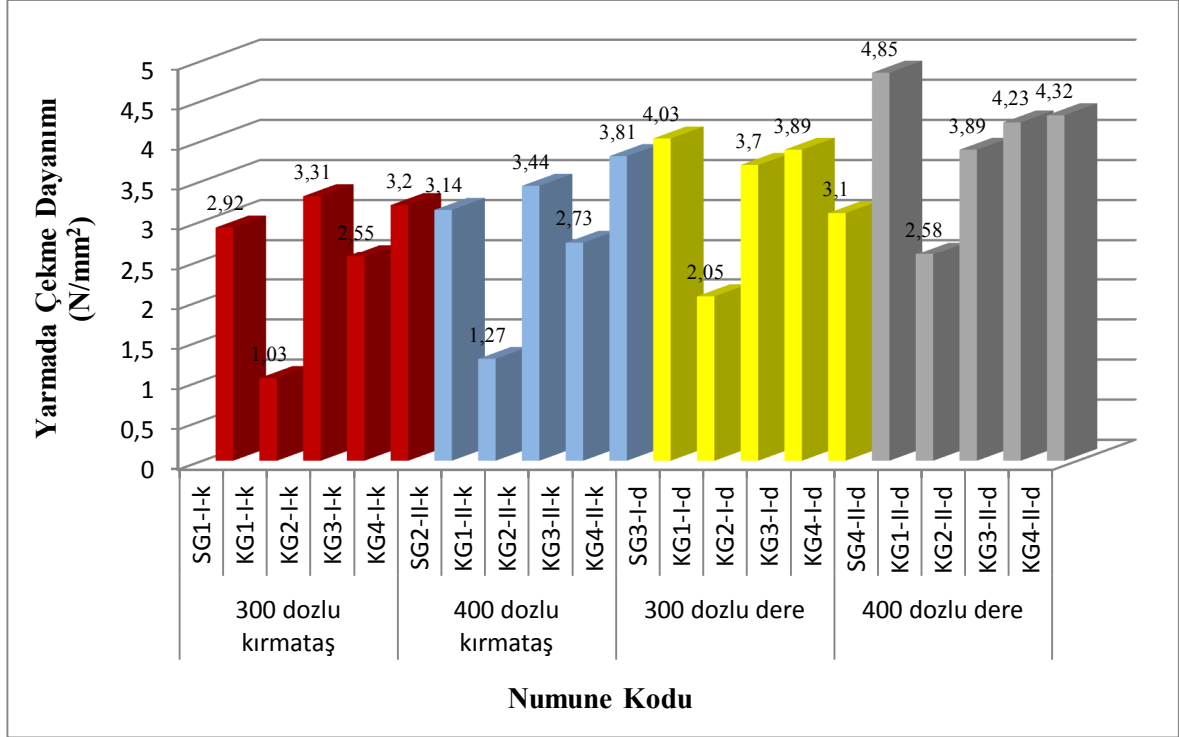
## 5.2. Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi

Yarmada çekme deneyinden elde edilen sonuçlar da genel olarak basınç dayanımı grafiğiyle benzerdir. Dozajın artırılması çimento hamurundaki boşlukları doldurarak, agregalarla çimento hamuru arasındaki aderansı kuvvetlendirir [24]. Beton numunesi sertleştikçe aderans artacağından yarmada çekme dayanımı değerleri yüksek çıkacaktır. Şekil 5.2’de 300 dozlu kırmataş agregayla üretilen serilerde KG2-I-k kodlu seride en yüksek dayanıma ulaşılmıştır. (0-4mm)’nin bulunmadığı KG1-I-k kodlu numunede yarmada çekme mukavemetinin en düşük değeri görülmektedir. 300 dozlu dere agregasıyla üretilen serilerde SG3-I-d kodlu seride en yüksek dayanıma ulaşılmıştır. 400 dozlu kırmataş agreganın bulunduğu serilerde en yüksek dayanıma KG4-II-k kodlu numunede ulaşılmıştır. En düşük dayanım ise KG1-II-k kodlu seride görülmektedir. Bu serideki dayanım 300 dozlu seriye göre %32 oranında artış göstermiştir. 400 dozlu dere agregasıyla üretilen betonlarda en yüksek dayanıma SG4-II-d kodlu numunede ulaşılmıştır. En düşük dayanımı KG1-II-d kodlu numune göstermiştir. Bu serideki dayanım 300 dozlu seriye göre %26 oranında artış göstermiştir.

Yarmada çekmede deneyi sonuçlarında SG4-II-d kodlu karışımın en yüksek mukavemeti gösterdiği gözlenmektedir. En düşük dayanıma KG1-I-k kodlu numunede rastlanmıştır. Yarmada çekme dayanımına tabi tutulan 28 günlük numunelerde kırılma



şekli tam ortadan yarıma şeklinde gözlenmiştir. Dolayısıyla kırılmanın kaba agregalarda olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.2. Numunelerin 28 günlük yarmada çekme dayanımları

### 5.3. Aşınma Deneyi

Hazırlanan karışımlardan üretilen beton numunelerinin böhme deneyi ile elde edilen aşınma kayıpları Şekil 5.3 'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi korundum tozunun aşındırıcı etkisine maruz kalan numuneler aşınma kaybına uğramışlardır.

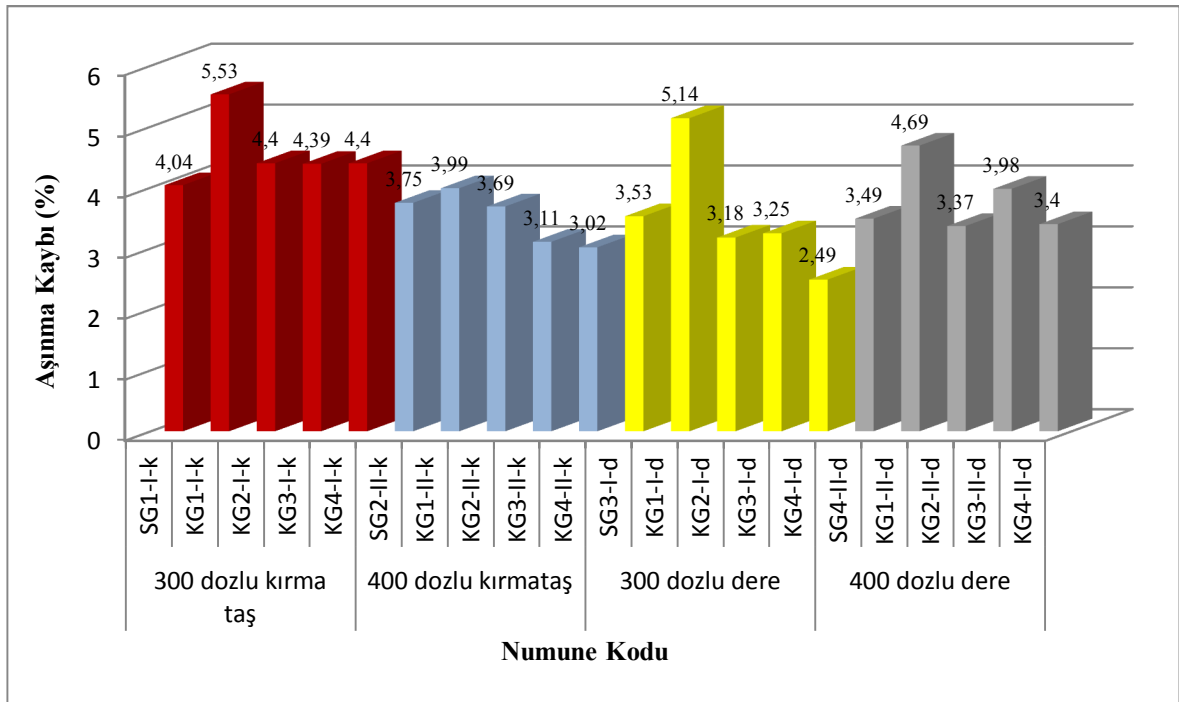
Yapılan araştırmaların sonuçlarına ve uygulamadan elde edilen deneyimlere göre, betonun basınç dayanımı, aşınma dayanıklılığını etkileyen en önemli faktör durumundadır. Betonun dayanımının yüksek olması, betonun içerisindeki kapiler boşlukların daha az miktarda yer almasından kaynaklanmaktadır. Dayanımı yüksek betonların aşınma dayanıklılığı da yüksek olmaktadır [3].

Aşınma deneyi sonuçlarına bakıldığında en az aşınma kaybı KG4-I-d kodlu numunede görülmüştür. Genel olarak numuneler dozajın artmasıyla daha az aşınma kaybına uğramışlardır. Dozajın artmasıyla numunelerde kılcal boşlukların azaldığı ve buna bağlı olarak daha az aşınma kaybının olduğu düşünülmektedir.

Aşınma kaybının en çok olduğu numune ise (0-4mm)'nin bulunmadığı 300 dozlu KG1-I-k kodlu numunedir. (0-4mm)'nin bulunmadığı karışımdaki serilerin boşluk oranı, sürekli ve diğer kesikli granülometrilik karışımlara göre fazladır. Bu nedenle boşluk oranının istenildiği gibi olmadığı bu numunede aşınma kaybının daha fazla olduğu görülmektedir.

Şekil 5.9'da görüldüğü gibi bünyesine en az su absorbe eden seri aşınma deneyi öncesinde, (4-8mm)'nin bulunmadığı 400 dozlu KG2-II-k kodlu seridir. Aşınma sonrasında en az su absorbe eden seri ise (16-32mm)'nin bulunmadığı KG4-II-k kodlu seridir.

Genel olarak sonuçlara bakıldığında aşınma deneyi öncesinde ve sonrasında dozajın artmasıyla serilerin bünyelerine de az su absorbe ettiği görülmüştür. Aşınma sonrasında numunelerde kılcal boşlukların artması sebebiyle aşınma öncesine göre bünyelerine daha fazla su absorbe ettikleri görülmüştür.



Şekil 5.3.28 günlük numunelerin hacimsel aşınma kayıpları

#### 5.4. Yüksek Sıcaklık Deneyi

Hazırlanan beton serilerinin yüksek sıcaklık dayanımı sonrası deney sonuçları Şekil 5.4 ve 5.5 'te verilmiştir. Yüksek sıcaklık sonrası, ultrasonik ses geçiş hızının belirlenmesi

ile numunelerde oluşan tahribat miktarı ölçülmüştür. Bu deneyde diğer deneylere benzer şekilde 0-4mm'lik agreganın bulunmadığı numuneler daha zayıf bir davranış göstermiştir.

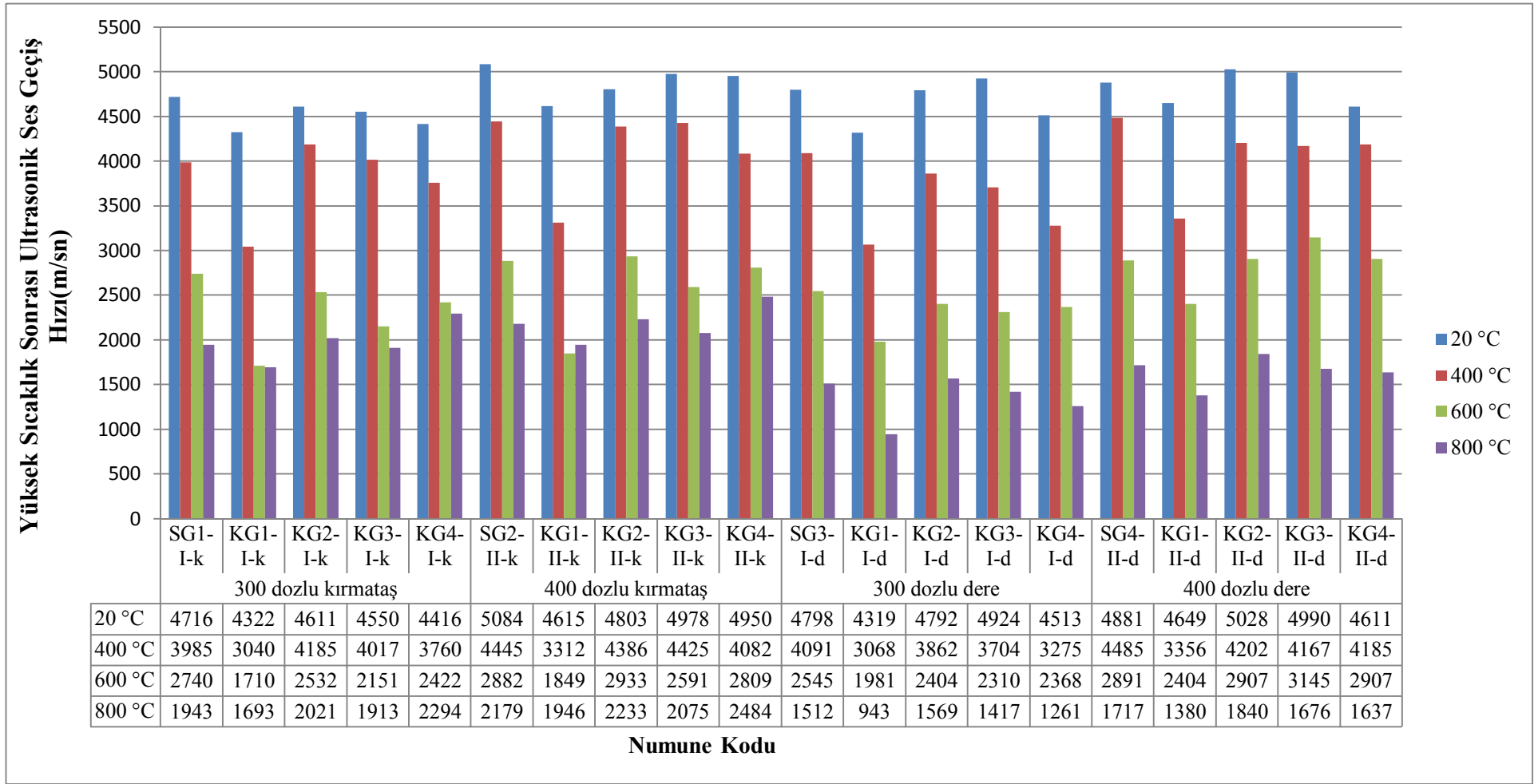
Şekil 5.4'te görüldüğü gibi sıcaklık artışı ile ultrasonik geçiş hızında azalma olmuştur. Bunun nedeni betonun içyapısında, su buharlaşması sonucu oluşan boşluklar ve içsel gerilmeler sonucunda oluşan kılcal çatlaklardan ses üstü dalga hızının, yüzeyler arasında yavaş geçiş yapmasıdır.

Yüksek sıcaklık sonrası ultrasonik ses geçiş hızı sonuçları tablo 4.8'e göre değerlendirilecek olursa, yüksek sıcaklık öncesi 20°C'de, sonuçların "mükemmel" ve "iyi" olduğu görülmektedir. Yüksek sıcaklık sonrası çatlakların artmasıyla birlikte numunelerin ses üstü dalga hızları düşmüştür. 400°C sonrası numuneler "iyi" ve "normal" olarak nitelendirilmekte, 600°C sonrasında "normal" ve "zayıf", 800°C sonrasında ise "çok zayıf" olduğu görülmektedir.

400°C sonrasındaki ultrasonik ses geçiş hızı değerleri 20°C ye göre aşırı bir değişim göstermemiştir. 400°C sonrası en düşük ultrasonik ses geçiş hızı KG1-I-k kodlu (0-4mm) nolu aralığın bulunmadığı 300 dozlu kırmataş agregayla üretilen numunede ölçülmüştür. Bu numunede ultrasonik ses geçiş hızı yüksek sıcaklık öncesine göre yaklaşık olarak %25 oranında azalmıştır. En yüksek değer ise sürekli granülometrilik 400 dozlu dere agregasıyla üretilen SG4-II-d kodlu numuneden ölçülmüştür.

600°C sıcaklıktan sonra ultrasonik ses geçiş hızı belirgin bir şekilde azalmıştır. 600°C sonrası sıcaklıktan en çok etkilenen numunenin KG1-I-k kodlu (0-4mm) nolu aralığın bulunmadığı kesikli granülometriye sahip numune olduğu gözlenmiştir. Bu numunede ultrasonik ses geçiş hızının 600°C sıcaklık öncesine göre, %59 oranında azaldığı görülmektedir. Ultrasonik ses geçiş hızı en yüksek olan numune ise, KG3-II-d kodlu (8-16mm) nolu aralığın bulunmadığı numunedir. Bu numune ultrasonik ses geçiş hızını, yüksek sıcaklık öncesine göre yaklaşık %26 oranında kaybetmiştir.

800°C sonrası ise sıcaklıktan en çok etkilenen numune KG1-I-d kodlu (0-4mm) nolu aralığın bulunmadığı kesikli granülometriye sahip dere agregasıyla üretilen numune olduğu gözlenmiştir. Bu numune ultrasonik ses geçiş hızının %77'sini 800°C sonrasında kaybetmiştir. 800°C sıcaklıktan en az etkilenen numune ise KG4-II-k kodlu (16-32mm) nolu aralığın bulunmadığı numunedir. Bu numune yüksek sıcaklık öncesi ultrasonik ses geçiş hızının yaklaşık %43'ünü 800°C sonrasında kaybetmiştir.

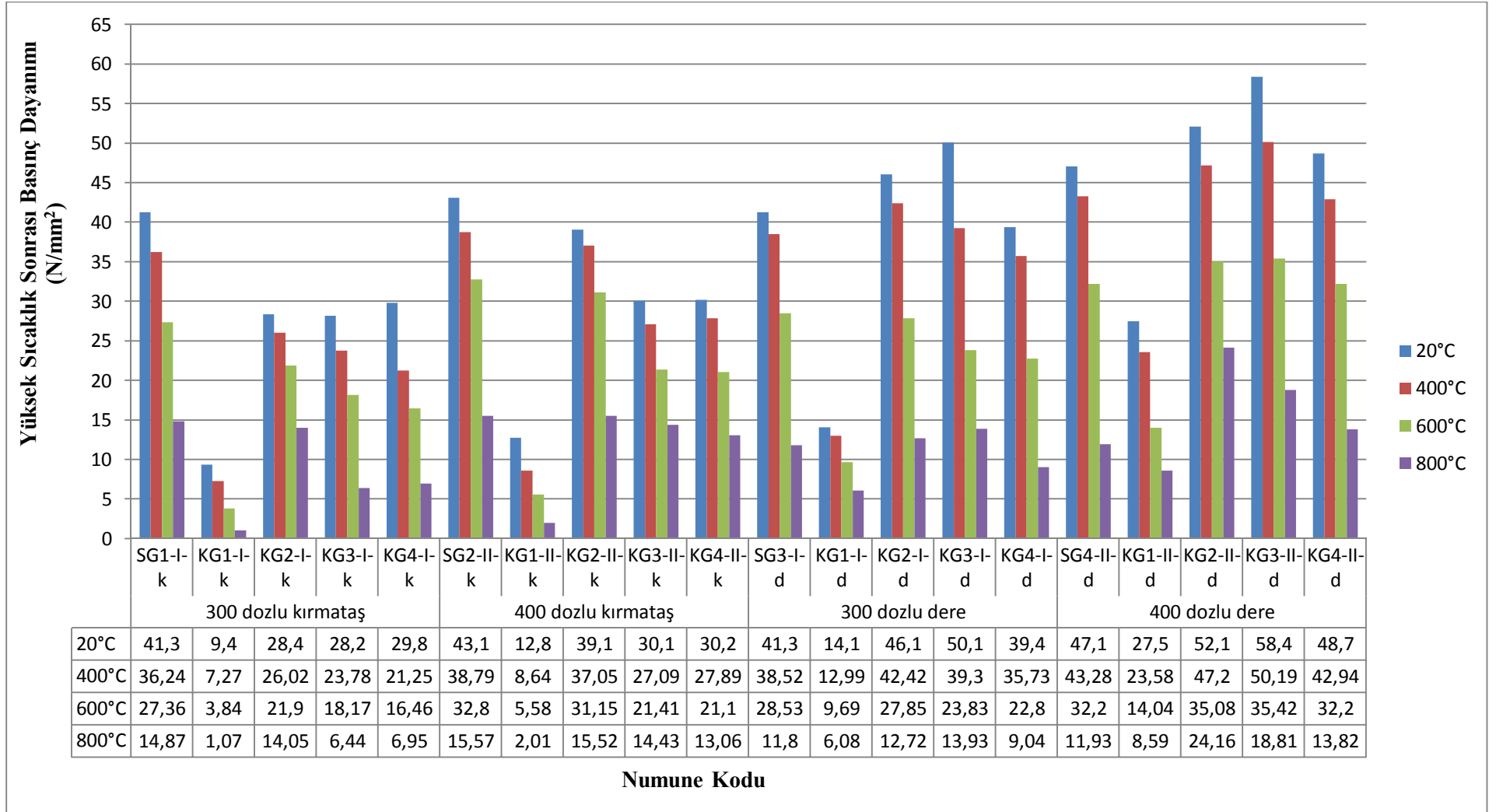


Şekil 5.4. Yüksek sıcaklık sonrası ultrasonik ses geçiş hızı

Numunelerin yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımları Şekil 5.5'te verilmiştir. 400°C'de, yüksek sıcaklık öncesine göre numunelerin dayanımları değişmekle birlikte dayanımın PGH ölçümünde olduğu gibi aşırı bir şekilde değişmediği görülmektedir. 400°C'de basınç dayanımının en düşük olduğu numune KG1-I-k kodlu (0-4mm) nolu aralığın bulunmadığı kesikli granülometrilik numunedir. Bu numune 400°C öncesine göre dayanımının yaklaşık %23'ünü kaybetmiştir. 400°C'de basınç dayanımının en yüksek olduğu KG3-II-d kodlu (8-16mm) nolu aralığın bulunmadığı numune ise yüksek sıcaklık sonrasında dayanımının yaklaşık %14'ünü kaybetmiştir.

600°C sıcaklık sonrası numunelerin, basınç dayanımlarının 400°C'ye göre daha belirgin bir şekilde düştüğü görülmektedir. 600°C'ye en çok direnç gösteren numune, KG3-II-d kodlu (8-16mm) nolu aralığın bulunmadığı numune olmakla birlikte, bu numune 600°C öncesine göre dayanımını % 40 oranında kaybetmiştir. 600°C sonrası dayanımın en düşük olduğu seri KG1-I-k kodlu (0-4) nolu aralığın olmadığı kesikli granülometrilik numunedir. Bu numune 600°C sonrasında dayanımının yaklaşık %60'ını kaybetmiştir.

400°C ve 600°C'ye göre numunelerin basınç dayanımının en düşük değerleri 800°C'de görülmüştür. 800°C'de numunelerdeki en düşük dayanım KG1-I-k kodlu (0-4mm) nolu aralığın bulunmadığı 300 dozlu kesikli granülometrilik kırmataş ile üretilen numunedir. Bu numune 800°C öncesine göre 800°C sıcaklığa maruz kaldıktan sonra dayanımının yaklaşık %89'unu kaybetmiştir. En yüksek dayanım KG2-II-d kodlu (4-8mm) nolu aralığın bulunmadığı numunede görülmüştür. (4-8mm) nolu aralığın olmadığı bu numunede ince agrega ve kaba agreganın 400 dozlu çimento hamuruyla bir araya gelmesiyle kaba agreganın oluşturduğu boşlukları ince agreganın doldurduğu ve en yüksek dayanıma ulaştığı düşünülmektedir. Bu numuneden sonraki yüksek değerler sürekli granülometriye ait numunelerde gözlenmektedir.



Şekil 5.5.Yüksek sıcaklık sonrası numunelerin basınç dayanımı

### 5.5. Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi

Hazırlanan beton serilerinin eğilmede çekme dayanımı deney sonuçları Şekil 5.6’da verilmiştir. Serilerin birim ağırlıklarının düşmesi ve porozite değerinin artması eğilmede çekme dayanımının düşmesine neden olacaktır.[25] Ayrıca basınç dayanımı ile eğilmede çekme dayanımı arasında büyük bir ölçüde benzerlik bulunmaktadır.

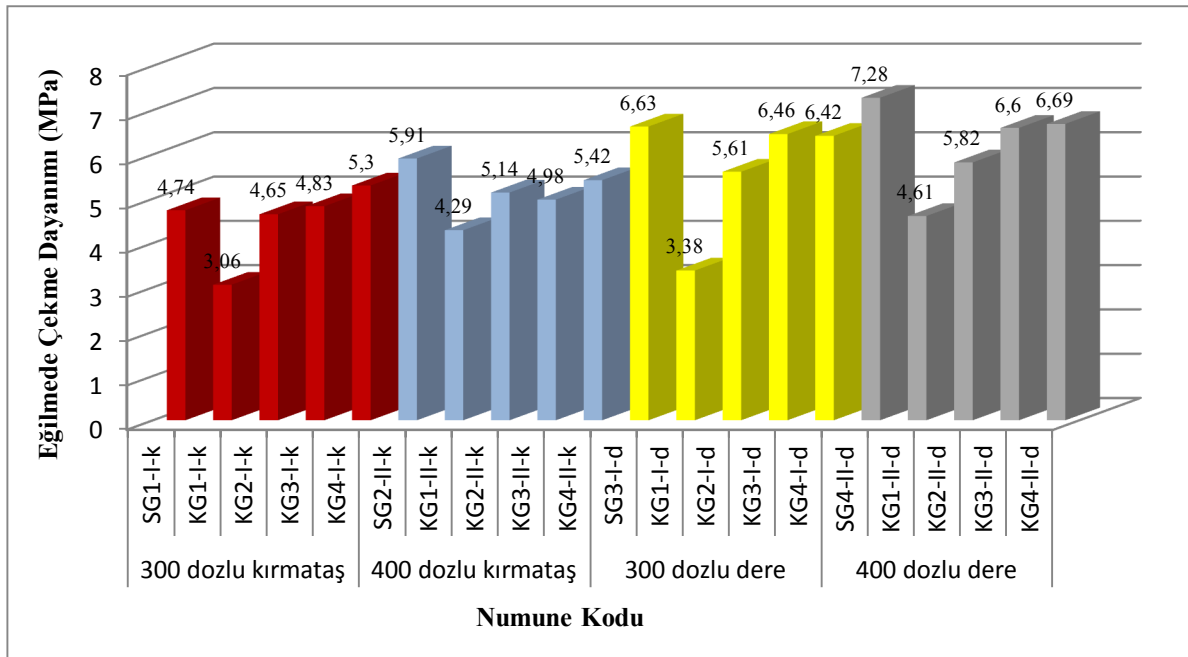
300 dozlu kırmataş agregası ile üretilen betonlarda en yüksek dayanıma (16-32mm)’nin olmadığı KG4-I-k kodlu numunede ulaşılmıştır. En düşük dayanım KG1-I-k kodlu numunede görülmektedir. Şekil 4.9’da bu numunenin boşluklu bir yapıya sahip olduğu ve beton kalitesinin düşük olduğu görülmektedir.

300 dozlu dere agregasıyla üretilen karışımlarda en yüksek dayanıma SG2-I-d kodlu numunede ulaşılmıştır. En düşük dayanım KG1-I-d kodlu numunede görülmüştür.

400 dozlu kırmataş agregayla üretilen serilerde en yüksek dayanıma SG3-II-k kodlu numunede ulaşılmıştır. En düşük dayanım KG1-II-k kodlu numunede görülmüştür.

400 dozlu dere agregasıyla üretilen betonlarda en yüksek dayanıma SG4-II-d kodlu numunede ulaşılmıştır. En düşük dayanım KG1-II-d kodlu numunede görülmüştür.

Genel olarak eğilmede çekme dayanımı deneyinde SG-4-II-d kodlu numunede en yüksek dayanıma ulaşılmıştır. En düşük dayanımı gösteren numune ise KG1-I-k kodlu 300 dozlu (0-4mm)’nin bulunmadığı kesikli granülometrilili numunedir.

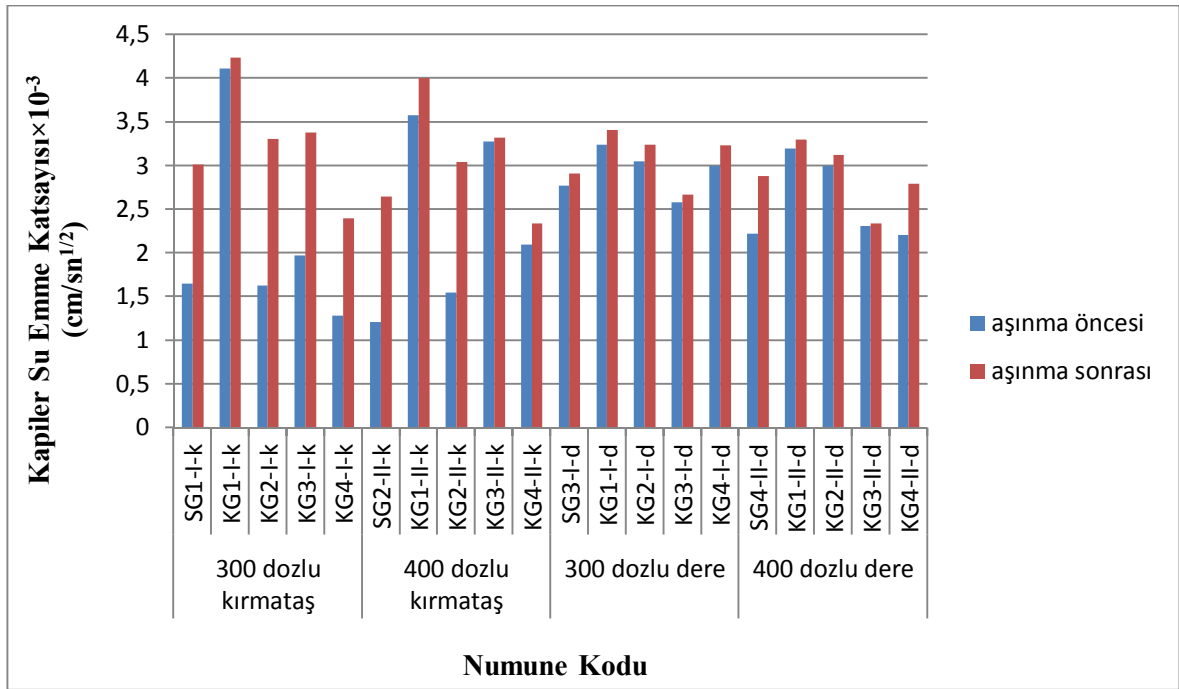


Şekil 5.6. Numunelerin eğilmede çekme dayanımları

## 5.6. Kılcal (Kapiler) Su Emme Deneyi

Şekil 5.7’de numunelerin kılcal (kapiler) su emme katsayıları gösterilmiştir. Numunelere aşınma deneyi öncesi ve sonrasında numunelere kılcal (kapiler) su emme deneyi uygulanmıştır. Dozaj arttıkça numunelerin kapilaritesi düşmüştür. Dozajın artmış olması, malzemenin daha boşluksuz olarak üretimine katkı sağlamıştır [19]. Şekil 5.7 ’de görüldüğü gibi bünyesine en az su absorbe eden seri aşınma deneyi öncesinde, (4-8mm)’nin bulunmadığı 400 dozlu KG2-II-k kodlu seridir. Aşınma sonrasında en az su absorbe eden seri ise (16-32mm)’nin bulunmadığı KG4-II-k kodlu seridir.

Genel olarak sonuçlara bakıldığında aşınma deneyi öncesinde ve sonrasında dozajın artmasıyla serilerin bünyelerine da az su absorbe ettiği görülmüştür. Aşınma sonrasında numunelerde kılcal boşlukların artması sebebiyle aşınma öncesine göre bünyelerine daha fazla su absorbe ettikleri görülmüştür.



Şekil 5.7. Numunelerin aşınma öncesi ve sonrası kapiler su emme miktarları

## 5.7. Ultrasonik Ses Geçirgenlik Deneyi

Ultrasonik ses geçirgenliği hızı grafiği incelendiğinde ise sonuçların basınç dayanımları ile uyumluluk gösterdiği görülmektedir. Ultrasonik test yöntemiyle herhangi bir betonun basınç dayanımını yeterince hassas olarak bulabilmek zor olmakla birlikte, herhangi bir beton içerisinden geçen ses üstü dalganın hızı o betonun içerdiği boşluk

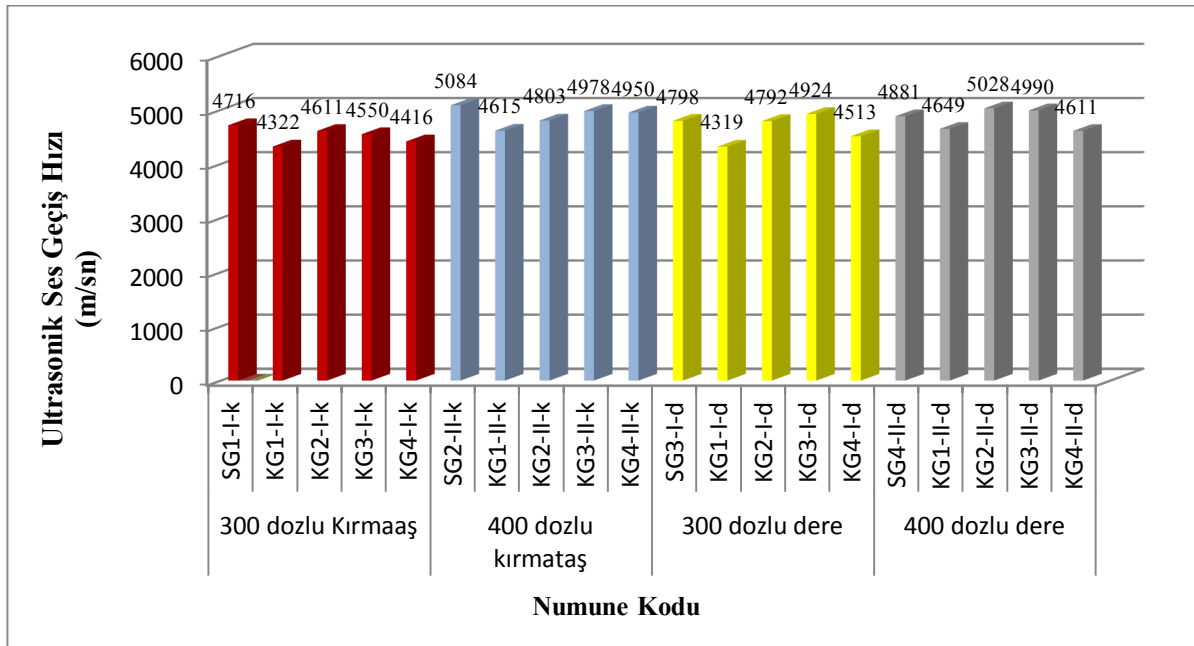


miktariyla yakından ilgili olduğu için, elde edilen ses üstü hız ile betonun kalitesi hakkında genel bir ilişki kurabilmek mümkündür. Bir başka deyişle, betonun içerisindeki boşluk miktarı azaldıkça ses üstü dalga hızı da artmaktadır. Yapılan bu çalışmada uygulanan kür süresi ve artan dozaj miktarıyla birlikte betonda bulunan boşlukların azalmasından dolayı ses üstü dalga hızının arttığı görülmüştür.

Şekil 5.8’de üretilen betonların ultrasonik ses geçiş hızı sonuçları verilmiştir. Ultrasonik ses geçiş hızı porozite değeri ile ters orantılı değişim göstermektedir.

Sonuçlar Tablo 4.8 ’deki değerlere göre karşılaştırılınca serilerdeki beton kalitesinin “mükemmel” ve “iyi” olduğu görülmektedir.

SG-2-II-k kodlu numunede ses üstü dalga hızının en yüksek değere çıktığı gözlenmektedir. Bu seride 300 dozlu seriye göre dozajın artmasıyla ve (0-4mm)’nin kullanılmadığı diğer serilere göre yeterli miktarda kum kullanımıyla betonun içerdiği boşluk miktarının azaldığı bu sayede de ses üstü dalga hızının en yüksek değere çıktığı sonucuna ulaşılmıştır. KG1-I-d kodlu numunede ses üstü dalga hızının en düşük olduğu değer ölçülmüştür.

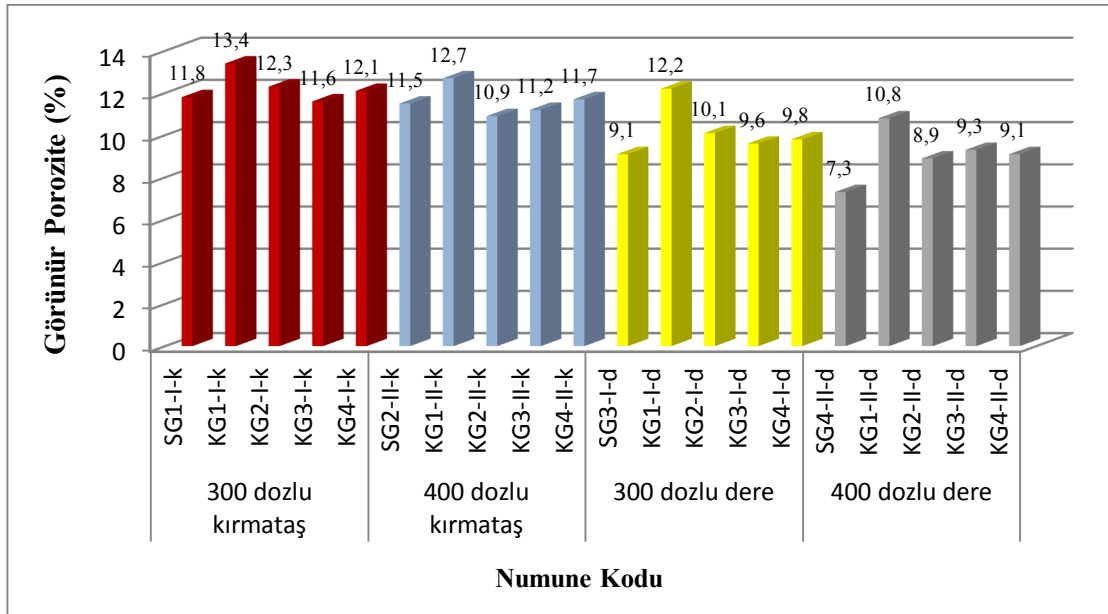


Şekil 5.8. 28 günlük numunelerin ultrasonik ses geçiş hızları

## 5.8. Porozite Deneyi

Şekil 5.9’da üretilen betonların porozite değerleri verilmiştir. Dozaj arttıkça numunelerdeki boşluk oranı azalacağından grafikte porozite değerlerinin azaldığı

görülmektedir. Ayrıca uygun bir granülometri yakalanmadığı takdirde beton bünyesi boşluklu bir yapıya sahip olacak kompozite azalacak ve dolayısıyla porozite artacaktır. Porozite değerinin artması eğilimde çekme dayanımının düşmesine neden olacaktır. Sonuçlar eğilimde çekme dayanımı deneyi ile paralellik göstermektedir. Porozitesi en yüksek değer KG1-I-k kodlu 300 dozlu numunedir. KG1-II-k kodlu 400 dozlu numunede, dozajın artmasıyla boşluk oranı biraz daha azalarak, KG1-I-k kodlu numuneye göre porozitesi yaklaşık olarak %6 oranında azalmıştır. Porozitesi en düşük numune SG4-II-d kodlu 400 dozlu sürekli granülometriye sahip betondur.

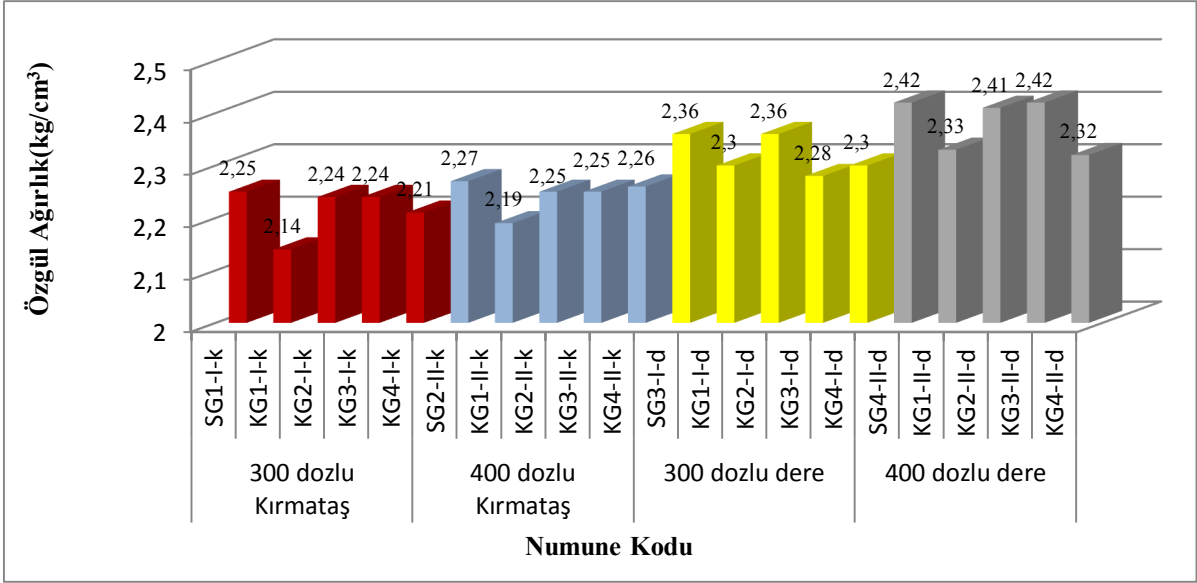


Şekil 5.9. Numunelerin görünür porozite değerleri

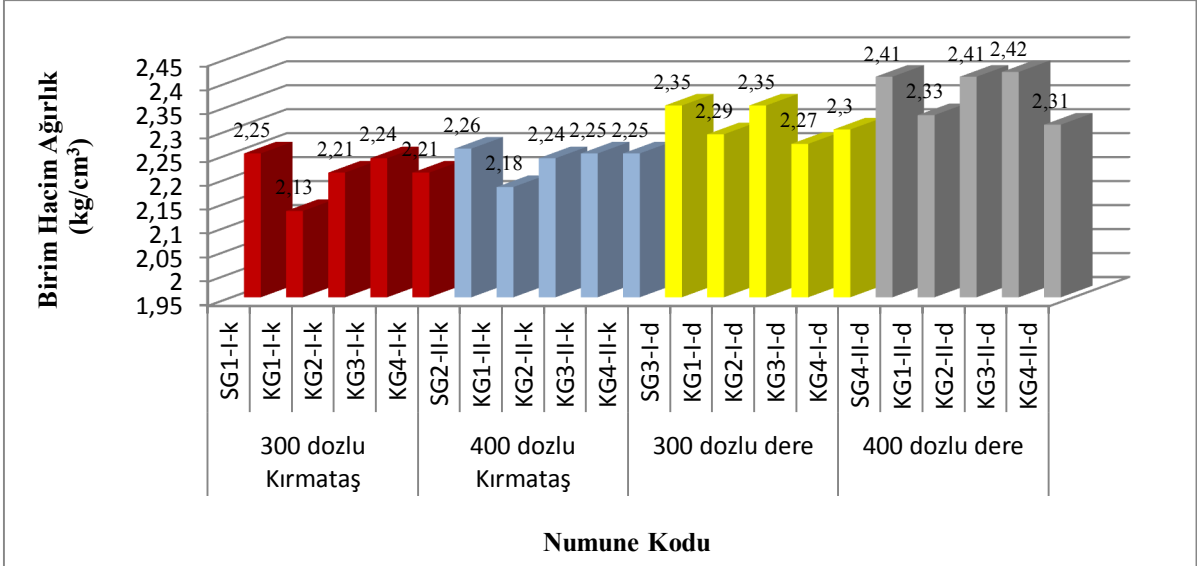
### 5.9.Özgül Ağırlık ve Birim Hacim Ağırlık Deneyleri

Numunelerin özgül ağırlıkları ve birim hacim ağırlıkları birbirleriyle ilişkili değerlerdir. Su emme miktarı az olan, yani boşluk miktarı az olan numunelerin özgül ağırlıkları ve birim hacim ağırlıkları fazladır.

Şekil 5.10-5.11'de görüldüğü gibi en yüksek birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık değerleri sürekli granülometriye sahip betonlarda ve kesikli granülometrilili betonlarda da (8-16mm) nolu aralığın olmadığı betonlarda gözlenmektedir. Basınç dayanımı en yüksek olan seri de yine aynı seridir.



Şekil 5.10. Numunelerin özgül ağırlıkları



Şekil 5.11. Numunelerin birim hacim ağırlıkları

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Uygun veya iyi bir gradasyonun ne olması gerektiğine dair bilimsel çalışmalar yaklaşık 150 yıl önce başlatılmıştır. 1845'te Wright, 1897'de Feret, 1907'de Fuller ve Thomson, 1925'de Abrams, 1930'da Fuller, 1938'de Weymont ve 1958'de Faury gibi birçok bilim adamı bu konuyla ilgili çalışmalar yapmışlardır. Uygun veya iyi bir gradasyonun nasıl sağlanabileceğine dair çok sayıdaki bilim adamı tarafından çeşitli formüller geliştirilmiş olmasına rağmen, "en iyi (optimum) gradasyon"un ne olması gerektiği hakkında bir görüş birliği bulunmamaktadır [3]. Yapılan birçok çalışmada belirli standartlara uygun granülometrik karışımlar elde edilerek deneyler yapılmış, kesikli granülometri ile üretilecek betonların iyi bir performans göstermeyeceği kanaati belirmiştir. Fakat bu konuda nümerik değer olarak hangi gradasyonda sonuçların nasıl olabileceği konusunda deneysel bir çalışma yapılmamıştır.

Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar ve daha sonra yapılacak çalışmalar için öneriler kısaca bu bölümde verilmiştir.

Genel olarak basınç dayanımı sonuçlarına bakıldığında KG3-II-d kodlu seride en yüksek dayanıma ulaşılmıştır. KG1-I-k kodlu numunede ise en düşük dayanımın sergilendiği görülmektedir. Beton basınç dayanımı deneyi sonuçlarında dere agregasıyla üretilen sürekli granülometrilili betonların, kırmataş agregayla üretilen sürekli granülometrilili betonlara göre basınç mukavemetinin daha yüksek olduğu gözlenmektedir.

Yarmada çekmede deneyi sonuçlarında SG4-II-d kodlu karışımın en yüksek mukavemeti gösterdiği gözlenmektedir. En düşük dayanıma KG1-I-k kodlu numunede rastlanmıştır. Yarmada çekme dayanımına tabi tutulan 28 günlük numunelerde kırılma şekli tam ortadan yarıma şeklinde gözlenmiştir. Dolayısıyla kırılmanın kaba agregalarda olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Genel olarak eğilmede çekme dayanımı deneyinde SG-4-II-d kodlu numunede en yüksek dayanıma ulaşılmıştır. En düşük dayanımı gösteren numune ise KG1-I-k kodlu 300 dozlu (0-4mm)'nin bulunmadığı kesikli granülometrilili numunedir. Porozite değerinin artması eğilmede çekme dayanımının düşmesine neden olacaktır. Sonuçlar eğilmede çekme dayanımı deneyi ile paralellik göstermektedir. Porozitesi en yüksek değer KG1-I-k kodlu numunedir.

Aşınma deneyi sonuçlarına bakıldığında en az aşınma kaybı KG4-II-d kodlu numunede görülmüştür. Genel olarak numuneler dozajın artmasıyla daha az aşınma kaybına uğramışlardır. Dozajın artmasıyla numunelerde kılcal boşlukların azaldığı ve buna bağlı olarak daha az aşınma kaybının olduğu düşünülmektedir. Aşınma kaybının en çok olduğu numune ise (0-4mm)'nin bulunmadığı 300 dozlu KG1-I-k kodlu numunedir.

Yüksek sıcaklık sonrası basınç değerlerine bakıldığında 400°C'de en yüksek dayanımın KG3-II-d kodlu kesikli granülometrilili betonlarda olduğu gözlenmiştir. Basınç dayanımının en yüksek olduğu KG3-II-d kodlu (8-16mm) nolu aralığın bulunmadığı numune yüksek sıcaklık sonrasında dayanımının yaklaşık %14'ünü kaybetmiştir. 600°C sonrası en yüksek dayanım KG3-II-d kodlu numunedir. Bu numune 600°C sonrası dayanımının %40'ını kaybetmiştir. 800°C en yüksek dayanım KG2-II-d kodlu numunede görülmüştür. Bu numune yüksek sıcaklık öncesine göre 800°C sonrası dayanımının yaklaşık % 54'ünü kaybetmiştir. (4-8mm) nolu aralığın olmadığı bu numunede ince agrega ve kaba agreganın 400 dozlu çimento hamuruyla bir araya gelmesiyle kaba agreganın oluşturduğu boşlukları ince agreganın doldurduğu ve en yüksek dayanıma ulaştığı düşünülmektedir. Bu numuneden sonraki yüksek değerler sürekli granülometriye ait numunelerde gözlenmektedir.

Ultrasonik ses geçiş hızı porozite değeri ile ters orantılı değişim göstermektedir. SG-2-II-k kodlu numunede ses üstü dalga hızının en yüksek değere çıktığı gözlenmektedir. Bu seride 300 dozlu seriye göre dozajın artmasıyla ve (0-4mm)'nin kullanılmadığı diğer serilere göre yeterli miktarda kum kullanımıyla betonun içerdiği boşluk miktarının azaldığı bu sayede de ses üstü dalga hızının en yüksek değere çıktığı sonucuna ulaşılmıştır. KG1-I-d kodlu numunede ses üstü dalga hızının en düşük olduğu değer ölçülmüştür. Bu değerler basınç dayanımı sonuçları ve porozite değerleri ile paralellik göstermektedir.

Genel olarak sonuçlara bakıldığında aşınma deneyi öncesinde ve sonrasında dozajın artmasıyla serilerin bünyelerine da az su absorbe ettiği görülmüştür. Aşınma sonrasında numunelerde kılcal boşlukların artması sebebiyle aşınma öncesine göre bünyelerine daha fazla su absorbe ettikleri görülmüştür.

Yapılan bu çalışmada görülmüştür ki kesikli granülometri ile oluşturulan betonlarda da iyi dayanımlar elde etmek mümkündür. 0-4 mm'nin olmadığı numuneler dışındaki diğer serilerde dayanım yönünden aşırı bir farklılık olmamıştır. Hata bazı kesikli granülometriye

sahip numunelerde sürekli granülometriye sahip olana göre önemli bir dayanım artışı gözlenmiştir.

Bundan sonraki çalışmalarda kullanılan granülometri eğrisinden farklı bir granülometri eğrisi kullanılarak elde edilen karışımlar arasında karşılaştırma yapılabilir. Katkılı veya akışkanlaştırıcı içeren betonlar üretilebilir. Normal betonda (0-4mm)'nin bulunmadığı dezavantajlı betonlarda ince malzemenin eksikliğini gidermek için mineral katkıları kullanılarak dayanımları incelenebilir. Normal betonda aşınma deneyinin sürtünme ve çarpma kaybı olarak farklı devirlerdeki değişimleri tek konu başlığı altında incelenebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Kocataşkın, F.**, 1991. Betonun Dünü Bugünü Yarını, 2. *Ulusal Beton Kongresi, Yüksek Dayanımlı Beton*, Kardeşler Matbaası, (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası) 23-42
- [2] **Celep, Z., Kumbasar, N.**, 2000. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, *Beta Dağıtım*, İstanbul.
- [3] **Erdoğan, Y.T.**, 2003. Beton, *ODTÜ Yayıncılık*, Ankara
- [4] **Göktepe M.**, 2008. C<sub>3</sub>A Oranı Farklı Çimentolarla Üretilmiş Betonlarda Sülfat etkisi ve Klorür Geçirimsizliği, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü.
- [5] **Sağlık, A., Tunç, E., Kocabeyler, M.F.**,2000. Kimyasal ve Mineral Katkıların Kütle Betonu Tasarımında Yeri ve Önemi
- [6] Mass Concrete. Reportedby ACI Committee 207.1R-05, *ACI Materials Journal*; November 1996
- [7] **Gülşahin, S.**, 2006. “Taze Betonda Segregasyonun Ölçülmesi ve Sertleşmiş Beton Özelliklerine Etkisi” İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul
- [8] <http://www.erbeton.com>, Agregat Üreticiler Birliği Derneği, 2012
- [9] **Agar, E., Öztaş, G., Sütaş, İ.**,1998. Beton Yollar, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası
- [10] <http://www.kalitekontrol.org/> 2012
- [11] TS-706, Nisan 2003.Beton Agregaları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- [12] TS -699, Aşınma Dayanımı, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- [13] [http://www.teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/yapi\\_malzemesi/beton/3.1.HTM](http://www.teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/yapi_malzemesi/beton/3.1.HTM)
- [14] **Sağlık, A., Tunç, E., Kocabeyler, M.F.**, 2004. Kimyasal ve Mineral Katkıların Kütle Betonu Tasarımında Yeri ve Önemi
- [15] <http://eng.harran.edu.tr/moodle/moodledata/55/Agregalar.pdf> ,2012
- [16] TS EN 12390-3, 2003. Beton–Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deneysel Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [17] TS EN 12390-6, 2003. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 6: Deneysel Numunelerinde Yarmada Çekme Dayanımının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [18] **Topçu, İ.B.**, 2006. Yapı Malzemeleri ve Beton Deneyleri El Kitabı, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir
- [19] **Gönen, T., Yazıcıoğlu, S., Bozkurt, N.**, Pomza agregalı kendiliğinden yerleşen hafif betonların yüksek sıcaklık direnci, [thhb.org](http://thhb.org)
- [20] TS EN 12390-5, 2003. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 5: Deneysel Numunelerinde Eğilme Dayanımının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [21] **Koçak, Y., Subaşı, S., Emiroğlu, M.**, 2011. Uçucu külün betonun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7 (1), 14-27.
- [22] **Bozkurt, N.**, 2010. Streng thandcapillary water absorption of light weight concreteundr differentcuring conditions, *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, April 2010, 17, 145-151.

- [23] **Demirel, B., Keleştemur, O.**, 2011. Yüksek sıcaklığa maruz pomza ve silis dumanı katkılı betonların mekanik ve fiziksel özelliklerine kür yaşının etkisi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(1), 1-13.
- [24] **Topçu, İ.B., Canbaz, M.**, 2007. Silis dumanının betonda mekanik çatlak oluşumlarına etkisi, *Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, XXI (2), ss. 17-26.
- [25] **Orhan, E.**, 2012. Kendiliğinden yerleşen betonlarda katkı oranları değişiminin betonun özelliklerine etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.



## ÖZGEÇMİŞ

Beyhan ALİŞER 1987 yılında Elazığ'da doğmuştur. İlk, orta ve lise öğrenimini Elazığ'da tamamlamıştır. 2005 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Ressamlığı Öğretmenliği Bölümünü kazanmış ve 2009 yılında mezun olmuştur. 2010 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Halen bu bölümde tez çalışmasına devam etmektedir.