**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# FARKLI KÖKENLİ AGREGALARIN BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş. Müh. Mercan Selin APAYDIN**

**Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği**
**Programı: Yapı Mühendisliği**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Hasan YILDIRIM**

**HAZİRAN 2007**

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# FARKLI KÖKENLİ AGREGALARIN BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**
**Mercan Selin APAYDIN**
**501031905**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 01 Mayıs 2007**
**Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Haziran 2007**

**Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Hasan YILDIRIM**
**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Hulusi ÖZKUL**
**Prof. Dr. Fevziye AKÖZ**

**HAZİRAN 2007**

# ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında, bu tezi yöneten ve çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Hasan Yıldırım'a,
İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Ana Bilim Dalı'ndaki hocalarıma, araştırma görevlilerine ve laboratuvar çalışanlarına,
Deneysel çalışmalarımda bana laboratuvar ve malzeme sağlayan Yol Yapı Hazır Beton Şirketi yöneticilerine ve çalışanlarına,
Malzeme temini konusundaki yardım ve ilgilerinden dolayı Draco ve Chryso Yapı Kimyasallarına,
Çalışmalarım süresince benden yardım ve desteğini esirgemeyen eşime ve tüm hayatım boyunca gösterdikleri maddi ve manevi her türlü yardımlardan dolayı aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

MAYIS 2007 M. Selin APAYDIN

# İÇİNDEKİLER

**TABLO LİSTESİ** v
**ŞEKİL LİSTESİ** vi
**ÖZET** viii
**SUMMARY** ix

**1. GİRİŞ** **1**

**2. GENEL BİLGİLER** **3**

2.1. Beton Özellikleri 3
2.1.1. İşlenebilirlik 4
2.1.2. Dayanım 4
2.1.3. Dayanıklılık (Durabilite) 7
2.2. Çimento Özellikleri 9
2.3. Agrega Özellikleri 11
2.3.1. Agregaların Sınıflandırılması 11
2.3.2. Agregaların Fiziksel Özellikleri 12
2.3.2.1. Agreganın Porozitesi 12
2.3.2.2. Agrega - Su Bağıntısı 13
2.3.2.3. Birim Ağırlık 13
2.3.2.4. Özgül Ağırlık 14
2.3.2.5. Kompasite 14
2.3.2.6. Granülometri ve Maksimum Tane Boyutu 15
2.3.3. Agregaların Mekanik Özellikleri 15
2.3.4. Agregada Bulunabilecek Zararlı Maddeler 16
2.3.5. Agrega Hacim Konsantrasyonu 17
2.4. Kimyasal Katkı 17
2.5. Agrega Türünün Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi İle İlgili Yapılmış Olan Araştırmalar 21

**3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR** **25**

3.1. Üretilen Betonların Özellikleri 25
3.2. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri 26
3.2.1. Çimento 26
3.2.2. Agrega 27
3.2.2.1. Bazalt 27
3.2.2.2. Kumtaşı 30
3.2.2.3. Dolomit 34
3.2.2.4. Beyaz Kalker 37

3.2.2.5. Mavi Kalker 40
3.2.2.6. Kum 43
3.2.3. Kimyasal Katkı 44
3.3. Beton Üretimi 45
3.3.1. Beton Üretiminde İzlenen Yol 47
3.3.2. Üretilen Numunelerin Boyut Ve Şekilleri 47
3.4. Taze Beton Deneyleri 48
3.4.1. Çökme Deneyi 48
3.4.2. Birim Ağırlık Deneyi 48
3.5. Sertleşmiş Beton Deneyleri 48
3.5.1. Basınç Dayanımı Deneyi 48
3.5.2. Ultrases Hızı Deneyi 49
3.5.3. Elastisite Modülü Deneyi 49

**4. DENEY SONUÇLARININ İNCELENMESİ 50**

4.1. Taze Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi 50
4.1.1. Çökme Deneyi Sonuçları 50
4.1.2. Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları 51
4.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi 52
4.2.1. Basınç Dayanımı Deneyi 52
4.2.1.1. 7 Günlük Basınç Deneyi Sonuçları 52
4.2.1.2. 28 Günlük Basınç Deneyi Sonuçları 55
4.2.1.3. 7 ve 28 Günlük Basınç Deneylerinin Karşılaştırılması 60
4.2.2. Ultrases Hızı Deneyi 61
4.2.2.1. Küp Numunelere Uygulanan Ultrases Deneyi Sonuçları 61
4.2.2.2. Silindir Numunelere Uygulanan Ultrases Deneyi Sonuçları 61
4.2.3. Elastisite Modülü Deneyi 63
4.3. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması 63
4.3.1. Su/Çimento Oranı İle Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki 63
4.3.2. Su/Çimento Oranı İle Ultrases Hızı Arasındaki İlişki 64
4.3.3. Ultrases Hızı İle Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki 65
4.3.4. Elastisite Modülü İle Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki 65

**5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER 67**

5.1. Taze Beton Özellikleri İle İlgili Sonuçlar 67
5.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri İle İlgili Sonuçlar 67

**KAYNAKLAR 69**

**ÖZGEÇMİŞ 73**

# TABLO LİSTESİ

**Tablo 2.1:** Akışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinde Aranan Şartlar 19
**Tablo 3.1:** Üretilen Betonların İsimlendirilmesi (Numune Kodları) 25
**Tablo 3.2:** Çimentonun Fiziksel Özellikleri 26
**Tablo 3.3:** Çimentonun Kimyasal Özellikleri 26
**Tablo 3.4:** Çimentonun Basınç Dayanımı 26
**Tablo 3.5:** Bazalt Agregasının Mineral Bileşimi 27
**Tablo 3.6:** Bazalt Kökenli Agregaların Elek Analizleri 28
**Tablo 3.7:** Bazalt Kökenli Agregaların Özgül Ağırlıkları 28
**Tablo 3.8:** Kumtaşı Agregasının Mineral Bileşimi 31
**Tablo 3.9:** Kumtaşı Kökenli Agregaların Elek Analizleri 31
**Tablo 3.10:** Kumtaşı Kökenli Agregaların Özgül Ağırlıkları 32
**Tablo 3.11:** Dolomit Agregasının Mineral Bileşimi 34
**Tablo 3.12:** Dolomit Kökenli Agregaların Elek Analizleri 35
**Tablo 3.13:** Dolomit Kökenli Agregaların Özgül Ağırlıkları 35
**Tablo 3.14:** Beyaz Kalker Agregasının Mineral Bileşimi 37
**Tablo 3.15:** Beyaz Kalker Kökenli Agregaların Elek Analizleri 38
**Tablo 3.16:** Beyaz Kalker Kökenli Agregaların Özgül Ağırlıkları 38
**Tablo 3.17:** Mavi Kalker Agregasının Mineral Bileşimi 41
**Tablo 3.18:** Mavi Kalker Kökenli Agregaların Elek Analizleri 41
**Tablo 3.19:** Mavi Kalker Kökenli Agregaların Özgül Ağırlıkları 41
**Tablo 3.20:** Kumun Mineral Bileşimi 44
**Tablo 3.21:** Kumun Elek Analizi 44
**Tablo 3.22:** Kimyasal Katkının Özellikleri 45
**Tablo 3.23:** Gerçek Beton Bileşimleri 46
**Tablo 4.1:** Çökme Deneyi Sonuçları 50
**Tablo 4.2:** Teorik / Gerçek Birim Ağırlık ve Hava Miktarı 51
**Tablo 4.3:** 28 Günlük Basınç Deneyi Sonuçları 55
**Tablo 4.4:** Küp Numunelerin 7/28 Oranları 60

# ŞEKİL LİSTESİ

**Şekil 2.1:** Çimento Hamuru, Agrega ve Betonun Gerilme-Şekil Değiştirme Bağıntısı 5
**Şekil 2.2:** Basınç Dayanımı-Su/Çimento Oranı İlişkisi 6
**Şekil 2.3:** Betonu Yıpratan Fiziksel Etkenler 8
**Şekil 2.4:** Betonu Yıpratan Kimyasal Etkenler 8
**Şekil 2.5:** Saf Karma Oksitlerin Hidratasyon Hızları 10
**Şekil 2.6:** Agrega – Su Bağıntısı 13
**Şekil 3.1:** BA(K) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri 29
**Şekil 3.2:** BA(KK) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri 29
**Şekil 3.3:** BA(KAR) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri 30
**Şekil 3.4:** KU(K) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri 32
**Şekil 3.5:** KU(KK) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri 33
**Şekil 3.6:** KU(KAR) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri 33
**Şekil 3.7:** DO(K) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri 35
**Şekil 3.8:** DO(KK) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri 36
**Şekil 3.9:** DO(KAR) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri 36
**Şekil 3.10:** BE(K) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri 39
**Şekil 3.11:** BE(KK) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri 39
**Şekil 3.12:** BE(KAR) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri 40
**Şekil 3.13:** MA(K) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri 42
**Şekil 3.14:** MA(KK) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri 42
**Şekil 3.15:** MA(KAR) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri 43
**Şekil 3.16:** Üretilen Numunelerin Boyut ve Şekilleri 47
**Şekil 4.1:** 7 Günlük Basınç Deneyi Sonuçları 52
**Şekil 4.2:** % 100 Kum İle Üretilen Betonların 7 Günlük Basınç Dayanımları 53
**Şekil 4.3:** % 100 Kırma Kum İle üretilen Betonların 7 Günlük Basınç Dayanımları 54

**Şekil 4.4:** Kum-Kırma Kum İle Üretilen Betonların 7 Günlük Basınç Dayanımları 54
**Şekil 4.5:** Küp Numunelerin 28 Günlük Basınç Dayanımları 56
**Şekil 4.6:** Silindir Numunelerin 28 Günlük Basınç Dayanımları 56
**Şekil 4.7:** % 100 Kum İle Üretilen Betonların 28 Günlük Basınç Dayanımları 58
**Şekil 4.8:** % 100 Kırma Kum İle Üretilen Betonların 28 Günlük Basınç Dayanımları 59
**Şekil 4.9:** Kum-Kırma Kum İle Üretilen Betonların 28 Günlük Basınç Dayanımları 59
**Şekil 4.10:** Küp Numunelere Uygulanan Ultrases Hızı Deneyi Sonuçları 61
**Şekil 4.11:** Silindir Numunelere Uygulanan Ultrases Hızı Deneyi Sonuçları 62
**Şekil 4.12:** Elastisite Modülü Deneyi Sonuçları 63
**Şekil 4.13:** Su/çimento Oranı İle Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki 64
**Şekil 4.14:** Su/çimento Oranı İle Ultrases Hızı Arasındaki İlişki 64
**Şekil 4.15:** Basınç Dayanımı İle Ultrases Hızı Arasındaki İlişki 65
**Şekil 4.16:** Elastisite Modülü İle Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki 66

# FARKLI KÖKENLİ AGREGALARIN BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

## ÖZET

Bu tez çalışmasında beş farklı kökenli agreganın ve kırma kum kullanımının taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Türkiye'de özellikle son yıllarda, hazır beton sektöründeki rekabet koşullarına uyum sağlayabilmek için, üreticilerin daha kaliteli ve düşük maliyetli üretim yapma gereksinimi doğmuştur. Bu gereksinim doğrultusunda yapılabilecek değişikliklerden birisi de doğal kum yerine kırma kum kullanımının yaygınlaştırılmasıdır. Beton karışımına giren ince agrega (kum – kırma kum) miktarı değiştirilerek, yalnızca kum, yalnızca kırma kum ve kum – kırma kum birlikte kullanılarak toplam 15 farklı beton üretimi yapılmıştır.

Bu amaç ile planlanan betonlarda Bazalt (Çorlu – Karatepe), Kumtaşı (Cendere), Dolomit (Marmara Adası), Beyaz Kalker (İstanbul – Çatalca) ve Mavi Kalker (İstanbul – Cebeci) agregalarının kırma taşları ile doğal kum (İstanbul – Akpınar) kullanılmıştır. Her üretim için farklı bir karışım granülometrisi hazırlanmış, incelik modülü 4,04 – 4,08 değerleri arasında kalacak şekilde karışım agregası oluşturulmuştur.

Üretimlerde CEM I 42,5R çimentosu kullanılmıştır. Tüm serilerde çimento dozaj 290 kg/m³ ve orta akışkanlaştırıcı katkı oranı % 0,8 ile sabit tutulmuş, 14-16 cm'lik çökmeyi sağlayacak şekilde suyun bağlayıcıya oranı değiştirilmiştir. 5 farklı agrega için üretilen 15 seri betondan 4 adet 150x150x150 mm boyutlarında küp ve 3 adet 150 mm çapında 300 mm yüksekliğinde silindir numune alınmıştır. Numuneler sıcaklığı $21 \pm 2^0$C olan su içinde muhafaza edilmiştir.

Taze beton deneyleri olarak çökme, birim ağırlık ve hava miktarı, sertleşmiş beton deneyleri olarak ise 7. ve 28. günlerin sonunda basınç dayanımı, ultrases ve elastisite modülü deneyleri yapılmıştır. Yapılan üretimlerde, agrega kökeninin betonun mekanik özelliklerini hangi yönde etkilediği araştırılmıştır. Kırma kum kullanımının etkilerini ve betonda oluşturduğu değişiklikleri görebilmek içinse her bir agrega kökeni için yalnızca kum, yalnızca kırma kum ve belli oranlarda kum–kırma kum karışımı kullanılarak üretilen betonlar kendi aralarında kıyaslanmıştır.

Farklı agregalar ile üretilen betonlardan, bazalt agregası kullanılarak üretilenler en yüksek birim ağırlığa ve basınç dayanımına erişmiştir. Bazalt ve dolomit agregaları ile üretilen betonların ultrases hızlarının, beyaz kalker, mavi kalker ve kumtaşı agregaları ile üretilenlere göre daha yüksek değerlere sahip olduğu gözlenmiştir. Basınç dayanımı arttıkça elastisite modülünün arttığı, aynı agrega grubu içinde basınç dayanımları birbirine yakın sonuç veren betonların, elastisite modüllerinin de birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Yalnızca kırma kum kullanılarak üretilen betonlarda, yalnızca kum veya kum – kırma kum karışımları kullanılarak üretilen betonlara göre, aynı işlenebilirliğin sağlanabilmesi için, daha fazla su ihtiyacı olduğu, artan su/çimento oranı ile basınç dayanımlarının, ultrases hızlarının ve elastisite modüllerinin düştüğü gözlenmiştir.

Dolomit agregasının yalnızca kırma kum, kumtaşı agregasının yalnızca kum, bazalt, beyaz kalker ve mavi kalker agregalarının ise kum ve kırma kumun bir arada kullanımına daha uygun olduğu sonuçları elde edilmiştir.

## THE IMPACT OF DIFFERENT TYPES OF AGGREGRATES ON MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE


### SUMMARY

In this thesis study, the impact of five different types of aggregate and using crushed sand on fresh and hardened concrete has been researched. Lately in Turkey, especially in the past few years in ready mixed concrete industry, due to the competition in the market, the need for firms to produce low cost products have arisen. One of the changes that can be done regarding this need is to increase the use of crushed sand instead of natural sand. By changing the proportions of fine aggregate that gets mixed into the concrete and by using these (only sand / only crushed sand / sand & crushed sand) 15 different concrete types have been produced.

To produce these types of concrete the crushed stones of Basalt (Çorlu – Karatepe), Sandstone (Cendere), Dolomite (Marmara Island), White Limestone (Istanbul – Çatalca) and Grey Limestone (Istanbul – Cebeci), and natural sand (Istanbul – Akpınar) have been used. For each production a different granulometer has been prepared, and to form the aggregate mixture design the fineness modulus has been between 4.04 -4.08 intervals.

CEM I 42,5R cement was used in productions. All the series have been made with the dosage of 290 kg/m³ and normal plasticizer admixture mixed with 0.8 % constant. In each series the rate of water/cement was changed when the slump value has been prepared to match the 14-16 cm. Among the 15 different types of concretes, 4 pieces of 150x150x150 mm in cube shapes and 3 samples of 150 mm diameter 300 mm height cylinder have been taken as samples for the 5 different types of aggregates. The produced specimens are cured in $21 \pm 2\ ^{0}C$ water.

Slump, unit weight and air proportion tests are applied to fresh concrete. To hardened concrete, on the 7th and 28th days' compression, ultrasound and elasticity modulus tests were done. It has been researched that, how the type of aggregate affect to the mechanical properties of concrete. To see the effect of using crushed sand, the differences occurred in concrete and to make a comparison between the aggregates, for each aggregate, concretes were produced including only sand, only crushed sand and sand-crushed sand together.

Including all the concrete mixture design made with different aggregates, it should be said that, the concrete, which made with basalt aggregates has reached the highest unit weight and compressive strength. Also the concretes, which made with basalt and dolomite, have higher ultrasound velocity than the concrete made with sandstone, white limestone and gray limestone. As the concrete strength increases, modulus of elasticity also increases. And we can say that, if the compressive strength of specimens is not far, the modulus of elasticity is approximate too.

Among the tests results it has been observed that more water is needed to produce the same concretes as the sand / sand & crushed sand for the concretes made just by using crushed sand to reach the same workability. With the increase in water / cement ratio the pressure endurance, ultrasound velocity and elasticity modules have been observed to drop.

In dolomite aggregates only crushed sand, for sandstone aggregates only sand, basalt, white limestone and gray limestone aggregates give better results while used together with sand and crushed sand.

# 1. GİRİŞ

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde bir katkı maddesinden oluşan, oranları belirli esaslara göre ayarlanmış bir karışımı, istenen şekil ve boyutta kalıplar içine boşluksuz olarak yerleştirmek ve uygun bakım koşulları altında sertleştirme yolu ile elde edilen kompozit bir malzemedir [1]. Çimentonun, su ile birleşmesinden oluşan çimento hamuru agrega tanelerinin yüzeyini kaplayarak ve taneler arasındaki boşlukları doldurarak bağlayıcılık görevini yapar. Agrega ise betonun iskeletini oluşturan kum, çakıl, kırmataş gibi taneli mineral malzemedir [2].

Beton ve harçların yapı malzemesi olarak kullanımı çok eski tarihlere dayanmaktadır. Tarihte ilk harç uygulamalarında bağlayıcı malzeme olarak kil kullanılmıştır. Bilindiği gibi kerpiç; balçık, kil gibi bağlayıcı malzeme kullanılarak yapılan ilk yapı malzemelerindendir ve dünyanın pek çok yöresinde, ülkemizde de halen kullanılan bir yapı malzemesidir. Daha sonra, alçı, kireç gibi bağlayıcıların üretilmesiyle, Eski Mısır'da alçının, Eski Roma'da kireç ve puzolanların, daha sonraları Avrupa'da grapye ve su kirecinin harç yapımında kullanıldığı görülmektedir. Yüzyıllar boyunca Anadolu ve çevresinde kullanılan Horasan harcı da kireç esaslı taneli bir kompozit malzemedir. Betonun tarihi Eski Roma Dönemi' ne kadar gider. Romalılar, kireç, volkanik küller ve tüfler kullanılarak elde ettikleri, havada ve suda katılaşma özelliğine sahip olan su kireci (hidrolik kireç) ve agrega ile beton diye tanımlanabilecek malzemeler yapmışlardır. Kireç ile puzolanik maddelerin karışımının bağlayıcı olarak kullanıldığı ve "opus caementicium" adı verilen malzeme yolların ve yapıların inşasında kullanılmıştır.

Günümüzdeki anlamıyla beton ile ilgili çalışmalar, XIX. yüzyılın başlarında başlamıştır. 1824 yılında, İngiltere'nin Leeds kentinde Joseph Aspdin isimli bir duvar ustası, ince taneli kalker ve kil karışımını pişirerek elde ettiği bağlayıcıya "portland çimentosu" adını vererek ilk patentini almıştır. Ancak bu çimento, üretimi esnasında malzemeler yeterince yüksek sıcaklıklarda pişirilip öğütülmediği için, bugünkü portland çimentosunun özelliklerine sahip olamamıştır. 1845 yılında, Isaac Johnson pişirme sıcaklığını yükseltip öğütmeye önem göstererek günümüz portland

çimentosunu keşfetmiş oldu [3,4]. Çimentonun keşfedilmesinden sonra zaman içerisinde priz, hidratasyon ısısı, sünme, rötre gibi olaylar açıklanarak günümüz beton teknolojisine ve betonarme yapılara ulaşıldı. Betonun işlenebilirliği ve mukavemetinin artması, dış etkilere dayanıklı olması için mineral ve kimyasal katkıların kullanılması beton teknolojisinde yapılan son çalışmalardır.

Hangi amaç için üretilirse üretilsin, betonda bulunması gereken üç ana nitelik vardır. Bunlar taze halde iken işlenebilme, sertleşmiş halde iken mekanik dayanım ve çevre koşullarına dayanıklılık yani durabilitedir.

I. İşlenebilirlik; taze beton kolay karıştırılmalı, karıştırma, taşıma veya yerleştirme sırasında ayrışmamalı ve homojenliğini yitirmemelidir.

II. Mekanik dayanım; mukavemeti iyi olmalıdır, beton taşıyıcı bir malzeme olduğu için projede öngörülen mukavemeti güvenle taşıyabilmelidir.

III. Durabilite; dış etkilere karşı dayanıklı olmalıdır. Beton dış etkilerden oluşan (hava, su, kimyasal çevre gibi), fiziksel etkilerden oluşan (donma-çözülme, ıslanma-kuruma gibi) ve içyapısından kaynaklanan agrega ile çimento arasında oluşan kimyasal reaksiyonlar sonucunda meydana gelen bozulmalara karşı direnç göstermelidir [5].

## 2. GENEL BİLGİLER

Beton günümüzde en yaygın kullanılan yapı malzemesidir. Beton, çimento su, iri ve ince agregadan oluşan gerektiğinde kimyasal ve /veya mineral katkı maddelerinin katıldığı kompozit bir malzemedir. Betonda çimento ve suyun oluşturduğu hamur fazı sürekli ortamı, agregalar ise dağınık fazı meydana getirirler. Agrega maliyetinin çimentoya göre daha düşük olması beton içinde agrega kullanımının tek sebebi değildir. Agrega betonun dayanımı ile birlikte davranışını da etkilemektedir. Agrega, betona daha iyi bir hacim sabitliği sağladığı gibi, aynı zamanda betonun çevresel etkilere karşı daha dayanıklı olmasını sağlar. Bunların yanı sıra, betonun işlenebilirliği, pompalanabilmesi ve beton içindeki hava miktarı da agrega tarafından belirlenir [2].

Heterojen bir içyapıya sahip olan betonun özellikleri, betonda kullanılan malzemeler tarafından belirlenir. Beton hacminin yaklaşık % 75'ini oluşturan agregaların kalitesi betonun performansını ve durabilitesini büyük ölçüde etkilemektedir. İyi bir beton elde edilebilmesi için uygun agrega kullanılması gerektiği bilinen bir gerçektir. Agreganın kimyasal ve mineralojik bileşimi, petrografik yapısı, özgül ağırlığı, sertliği, dayanımı, fiziksel ve kimyasal kararlılığı, boşluk yapısı ve rengi gibi özelikleri elde edildiği kayacın özeliklerine bağlıdır. Tüm bu özelliklerin beton kalitesi üzerindeki etkisi büyüktür [6].

### 2.1. Beton Özellikleri

Hangi amaçla üretilirse üretilsin betonda bulunması gereken 3 ana nitelik vardır. Bunlar taze halde iken işlenebilirlik, sertleşmiş halde iken dayanım ve dayanıklılıktır [5].

### 2.1.1. İşlenebilirlik

Betonun taze haldeyken sahip olması gereken en önemli özellik işlenebilirliktir. İşlenebilirlik; taze betonun ayrışmaya uğramadan, taşınması, dökülmesi, yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve sonlanması işlemlerinin kolaylıkla yapılabilmesi özelliği olarak tanımlanabilir [7]. İşlenebilirlik taze betonun karıştırılma, yerleştirilme ve yüzey düzeltilmesinin kolaylığı ve homojenliğinin ölçüsüdür. İşlenebilirliği yüksek olan beton minimum enerjiyle karıştırılabilir ve kalıba yerleştirilebilir. Taşınması ve yerleştirilmesi sırasında karışımda ayrışma olmaz ve beton kalıplara en az boşluk kalacak biçimde yerleşir [8]. Betonun yapılış amacına, sertleşmiş betondan beklenen özelliklere bağlı olarak işlenebilirlik için tanımlanan nitelikler değişiklik gösterebilir. Başka bir deyişle, betonun işlenebilme özelliği, betonun kullanılacağı yapının durumuna bağlıdır. Dolayısıyla betonun işlenebilirliğini rakamsal ifadeler kullanarak açıklamak mümkün değildir.

İşlenebilme özelliği, beton içerisindeki her bileşenden ve üretim esnasındaki her türlü koşuldan etkilenir. Bunlar; çimento miktarı ve özellikleri, su miktarı, agrega gradasyonu, ince ve kaba agreganın tane şekli ve yüzey yapısı, sürüklenmiş hava miktarı, kimyasal ve mineral katkıların tipi ve miktarı, ortam sıcaklığı ve beton karışımının sıcaklığı, karıştırma prosedürü ve zamana bağlıdır [9].

İşlenebilirliği etkileyen en önemli faktör taze beton içindeki su miktarıdır. Betonun akışkanlığını niteleyen kıvam değeri, betonda kullanılan suyun artmasıyla yükselir. Çünkü artan su miktarı katı taneler arasındaki sürtünmeyi azaltır. Ancak su miktarı yüksek olan bir beton işlenebilir anlamına gelmez. Basit ve kolayca uygulanabilir bir deney olmasından dolayı, çökme deneyi taze betonun kıvamını belirlemek amacıyla kullanılan deney yöntemleri arasında en popüler olanıdır.

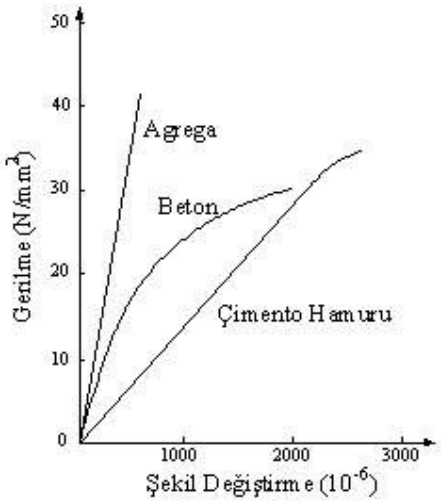
Çökme deneyi statik bir deneydir ve işlenebilmeyi ölçmez. Ancak bu deney yöntemiyle işlenebilirlik hakkında önemli bir fikir elde edilebilir [9].

### 2.1.2. Dayanım

Beton dayanımı; "üzerine gelen yüklerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği maksimum direnç" olarak tanımlanmaktadır [10]. Betonun mekanik dayanımları basınç, eğilme ve çekme dayanımı olarak sıralanabilir. Bu dayanımlar arasında çekme dayanımı çok düşük mertebelerdedir ve genellikle göz önüne alınmaz. Beton gevrek bir malzeme olduğu

için, basınç dayanımı çekme dayanımından yaklaşık on kat daha fazladır. Bu nedenle betonun basınç dayanımı diğer mekanik özelliklerinden öncelikli önem taşımaktadır.

Agrega ve hidrate olmuş çimento hamurunun yük altındaki davranışları lineer elastik bir cismin davranışına benzer. Ancak Şekil 2.1'de görüldüğü gibi betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisi lineer değildir. Bu nonlineer davranış, agrega-çimento hamuru ara yüzeyinin varlığının ve bu yüzeyde mikroçatlakların olmasının sonucudur [11].




**Şekil 2.1:** Çimento Hamuru, Agrega ve Betonun Gerilme-Şekil Değiştirme Bağıntısı

Betonun basınç dayanımını etkileyen faktörler; iç ve dış faktörler olarak iki grupta incelenebilir. İç faktörler betonu oluşturan malzeme tipi ve oranlarından, dış faktörler ise betonun üretimi, bakımı ve servis ömrü boyunca maruz kalacağı etkilerden kaynaklanmaktadır. Çimento türü, su/çimento oranı, agrega özellikleri, kimyasal veya mineral katkılar, betonun boşluk yapısı vb. basınç dayanımını etkileyen iç faktörlere, beton döküm ve kür sıcaklığı, kür koşulları, deney koşulları, vb. ise dış faktörlere örnek olarak verilebilir [12].

Beton üretiminde kullanılan suyun ve diğer malzemelerin basınç dayanımına etkisi bir asır kadar önce araştırılmaya başlanmıştır. Pratikte yaşı belli ve aynı sıcaklıklarda kür edilmiş bir betonun basınç mukavemetini öncelikli olarak etkileyen iki önemli faktör vardır. Bunlar; su/çimento oranı ve betonun sıkıştırılma derecesidir. Tamamen sıkışmış olduğu kabul edilen bir betonun basınç dayanımının su/çimento oranı ile ters orantılıdır [7].

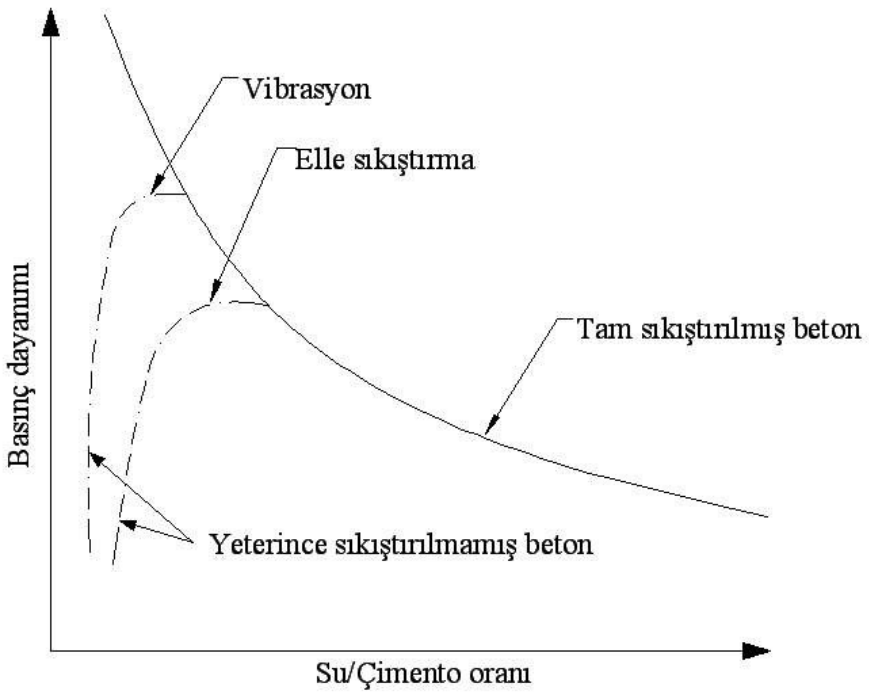
1919 yılında Duff Abrahms, bu bağıntıyı $f_c$ beton mukavemeti, $w$ su miktarı, $c$ çimento miktarı, $K_1$ ve $K_2$ ampirik katsayılar olmak üzere aşağıdaki gibi ifade etmiştir.

$$f_c = \frac{K_1}{K_2^{w/c}} \tag{2.1}$$

Bu çalışmadan önce ise Feret, beton içindeki hava miktarını da göz önünde bulundurarak, basınç mukavemeti ile su/çimento oranı arasındaki ilişkiyi, $f_c$ beton mukavemeti, $w$ su miktarı, $c$ çimento miktarı, $a$ hava miktarı ve $K$ sabit sayı olmak üzere, aşağıdaki gibi ifade etmiştir.

$$f_c = K\left(\frac{c}{c+w+a}\right)^2 \tag{2.2}$$

Şekil 2.2'de basınç dayanımı ile su/çimento oranını arasındaki ilişki verilmektedir.



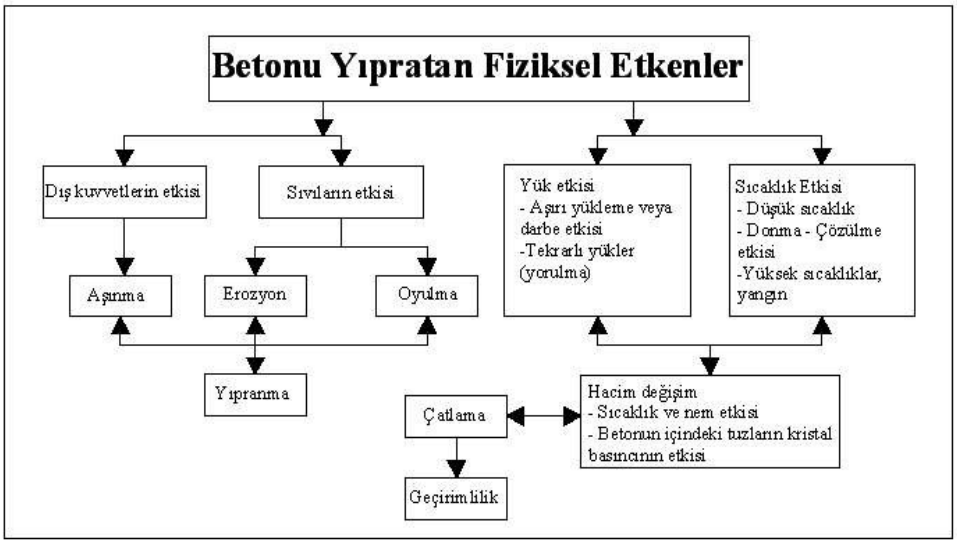

**Şekil 2.2:** Basınç Dayanımı - Su/Çimento Oranı İlişkisi

### 2.1.3. Dayanıklılık (Durabilite)

Betonun dayanıklılığı (durabilitesi), başlangıçtaki özeliklerini ve tasarlandığı fonksiyonunu çevre ve hizmet koşulları altında koruyarak devam ettirebilmesi şeklinde tanımlanabilir. Beton bu koşullar altında yıpranarak özelliklerini yitirir, daha fazla kullanımı artık ekonomik olmaz ve güvenli kabul edilmezse faydalı ömrünü tamamlamış olur [13]. Dayanıklılıktan bahsedildiğinde zaman faktörü işin içine girmektedir. İşlenebilirlik ve basınç dayanımı kısa sürede belirlenirken, dayanıklılık özelliği uzun zaman içinde belirlenir. Bunun sağlanabilmesi için yapının ömrü boyunca karşılaşacağı dış etkilerin bilinmesi ve bu koşullara dayanabilecek şekilde önceden tasarlanmış olması gerekmektedir.

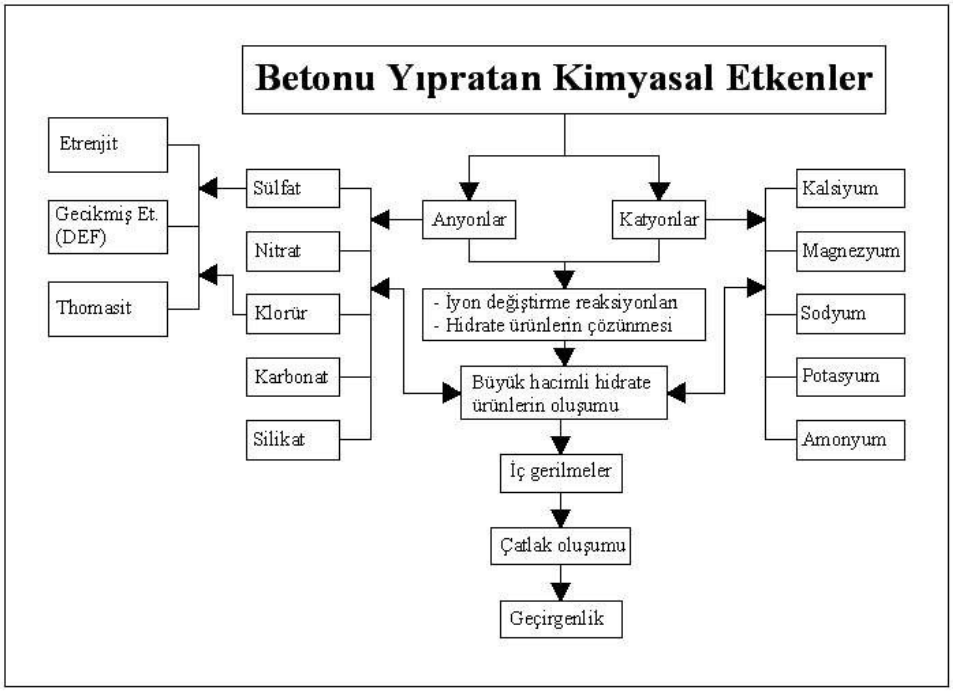
Betonun yapısını oluşturan malzemelerin (çimento, agrega, su, mineral ve kimyasal katkılar) özelikleri, karışım oranları, betonun üretimi ve korunması sırasında betonla ilgili etkenler, iç etkenler olarak sayılır. En sık rastlanan reaksiyonlar, bazı agregalarda bulunabilecek silikatlar ile çimento alkalileri arasında oluşabilecek reaksiyonlardır. Bu reaksiyon sonucu kalsiyum ve alkali içeren bir silikat jölesi meydana gelir ve bu da su emerek şişme eğilimindedir. Şişme, gerilmeye yol açar; bu gerilmeler ise bağlayıcı malzemenin çekme mukavemetini aşınca betonda çatlaklar oluşur. Buna engel olmak için agregayı ya da çimentoyu da değiştirmek mümkündür. Dış ortam koşulları, günlük ve mevsimlik iklim değişiklikleri, atmosfer olayları ise dış etkenler olarak sayılabilir. Bazı zararlı kimyasal maddeler içeren atmosfer ve su, hem normal beton hem de betonarme için zararlı etkileri olan bir ortam oluşturmaktadır [14].

Betonu yıpratan fiziksel etkenler, beton yüzeyinde kütle kaybına neden olanlar ve betonda çatlamaya neden olanlar olmak üzere iki grupta toplanabilir. Fiziksel etkenler dış kuvvetler, sıvıların etkisi, yük ve sıcaklık etkisi olarak gruplandırılır. Şekil 2.3'te betonu yıpratan fiziksel etkenler verilmiştir [15].




**Şekil 2.3:** Betonu Yıpratan Fiziksel Etkenler

Betonu yıpratan kimyasal etkenler, beton bileşenleri arasında ve dışarıdan gelen zararlı maddeler ile beton bileşenleri arasında meydana gelebilecek reaksiyonlar olarak iki grupta toplanabilir. Kimyasal etkenler anyonlar ve katyonların etkisi ile değerlendirildiğinde Şekil 2.4'te görüldüğü gibi şemalaştırılır [15].




**Şekil 2.4:** Betonu Yıpratan Kimyasal Etkenler

## 2.2. Çimento Özellikleri

Çimentoda 4 ana bileşen vardır. Bunlar $C_2S$, $C_3S$, $C_3A$ ve $C_4AF$' tir.

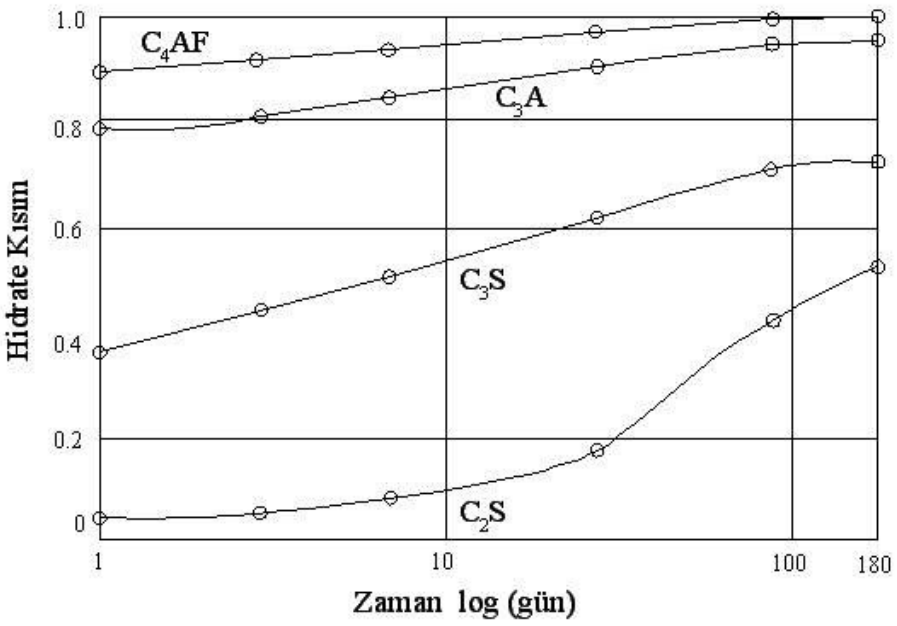
$C_2S$: Çimentodaki klinkerin ağırlıkça yaklaşık % 15–30 oranında bulunur. Sertleşmesi yavaştır ve büyük oranda bir haftadan daha büyük yaşlardaki dayanım artışı üzerinde etkilidir. Hidratasyon sırasında kireç ($Ca(OH)_2$) açığa çıkar. Bu sönmüş kireç miktarı $C_3S$'e göre daha azdır.

$C_3S$: Çimentodaki klinkerin ağırlıkça yaklaşık % 45–60 oranında bulunur. Hızlı bir şekilde sertleşir, esas olarak priz başlangıç süresini ve erken yaşlardaki dayanımı etkiler. $C_3S$ yüzdesi arttıkça, çimentonun ilk yaşlardaki dayanımı da daha yüksek olur. Sertleşme sırasında daha çok ısı çıkarması ise bir kusur olarak kabul edilir.

$C_3A$: Çimentodaki klinkerin ağırlıkça yaklaşık % 6–12 oranında bulunur. Bu bileşiğin erken yaşlardaki dayanım gelişimi üzerine etkisi çok azdır. Klinkerin öğütülmesi sırasında alçıtaşı $C_3A$'nın hidratasyon hızını yavaşlatır. Alçıtaşı ilave edilmemiş $C_3A$'lı bir çimento hızlı bir şekilde katılaşır. Çimentonun özellikle kimyasal dayanımında önemli rol oynar. $C_3A$ yüzdesi düşük çimentolar özellikle sülfat içeren su ve ortama karşı dayanıklıdırlar.

$C_4AF$: Çimentodaki klinkerin ağırlıkça yaklaşık % 6–8 oranında bulunur. Etkisi $C_3A$'nınkine benzer. Klinkerleşme sıcaklığını düşürerek çimento üretimine yararlı olur. $C_4AF$ oldukça süratli bir şekilde hidrate olmasına rağmen çimento hamurunun mukavemetine etkisi oldukça azdır.

Çimento içinde bulunan saf karma oksitlerin hidratasyon hızları Şekil 2.5'te verilmiştir [16].




**Şekil 2.5:** Saf Karma Oksitlerin Hidratasyon Hızları

Çimento ve suyun birleşmesi ile ortaya çıkan kimyasal reaksiyona hidratasyon adı verilir. Bu reaksiyon sonucunda C-S-H (Kalsiyum Silikat Hidrate) ve CH (Kalsiyum Hidroksit) oluşur ve C-S-H çimentoya bağlayıcılık özelliği kazandırır [17].

Çimento hamurunun boşluklu bir yapısı vardır [18]. Hidratasyon sonucunda ortaya çıkan boşluklar, kapiler boşluklar ve jel boşlukları olarak sınıflandırılabilir. Çimento hamurunda serbest kireç ( $Ca(OH)_2$ ), alkaliler ($Na_2O$, $K_2O$), bazı diğer bileşenler, hidrate olmamış çimento ve taze hamurun içindeki suyun bıraktığı gözenekler vardır. Bu boşluklara kapiler boşluklar adı verilir. Betonun kalıcılığını büyük ölçüde etkileyen kapiler boşlukların oranı, su/çimento oranına ve hidratasyon derecesine bağlı olarak çimento hamurunun hacminin % 40'ına kadar çıkabilir. Karma oksitlerin su ile yaptıkları reaksiyonlar sonucu oluşan kalsiyum silikat hidrateler ( C-S-H ) ve kalsiyum alüminat hidratelerin ( CaH ) değişik ürünlerine topluca jel adı verilir [19]. Jel boşlukları hidratasyon ürünleri içinde bulunan, hidratasyonla birlikte sayıları ve toplam hacimleri artan boşluklardır. Jel boşluklarının boyutları kapiler boşluklardan çok daha küçüktür [20].

## 2.3. Agrega Özellikleri

Agregalar, beton yapımında çimento ve su ile birlikte kullanılan, kum, çakıl, kırmataş gibi taneli malzemelerdir. Beton hacminin yaklaşık % 70–75 'i agrega tarafından oluşturulmaktadır. Agregaların ekonomik ve dayanıklı olmaları beton yapımında kullanılmalarının en önemli nedenlerindendir. Agrega betonun dayanımı ile birlikte davranışını da etkilemektedir. Betonun kısa veya uzun süreli performansında aderansın etkisi büyüktür. Agrega granülometrisinin iyi olması halinde daha ekonomik beton üretimleri yapılabileceği bilinmektedir. Diğer taraftan beton yapımında kullanılan agreganın mineral yapısı, tane şekli, tane dağılımı, don dayanımı, aşınma dayanımı, birim ağırlığı, özgül ağırlığı, boşluk oranı, su emmesi, sertliği ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılığını etkileyen en önemli özelikler olarak görülmektedir [2].

Kırmataş agrega yüzeylerinin pürüzlü olması nedeniyle çimento hamuru ile agrega arasında kuvvetli bir bağ oluşur. Pürüzlü yüzeyin büyük olması, kırmataş agrega ile çimento hamurunun temas yüzeyinin de o kadar geniş olmasını sağlar. Bu sebepten dolayı kırmataş agrega ile üretilen betonlarda dayanımın arttığı görülmektedir. Ayrıca agrega tanelerinin olabildiğince küp veya küre biçimine yakın olması, beton için elverişli bir durum oluşturmaktadır [21]. Bu şekilde agregalar beton içinde daha iyi bir biçimde yerleşir ve daha az boşluklu bir yapı meydana gelir.

### 2.3.1. Agregaların Sınıflandırılması

Agregaları birçok şekilde sınıflandırabilmek mümkündür. Sınıflandırma işlemi, agregaları daha iyi tanımlamak ve değişik sınıflara ait agregaları beton yapımında doğru bir şekilde kullanabilmek amacıyla yapılmaktadır. Sınıflandırma işlemi, belirli bir sınıf içerisinde yer alan agreganın beton için uygunluğunu göstermemektedir. Herhangi bir agreganın beton yapımı için uygunluğuna karar verebilmek için o agreganın özelliklerinin deneylerle araştırılması gerekmektedir.

Agregalar için genel olarak yapılan sınıflandırılmalar şöyledir [22];

1) Kaynağına Göre: Doğal ve Yapay,
2) Özgül Ağırlık veya Birim Ağırlıklarına Göre: Normal Ağırlıklı, Hafif, Ağır
3) Tane Büyüklüklerine Göre: İri, İnce
4) Tane Şekline Göre: Yuvarlak, Köşeli, Yassı, Uzun
5) Yüzey Dokusuna Göre: Düzgün, Granüler, Pütürlü, Kristalli, Petekli
6) Elde Ediliş Şekillerine Göre: Doğal, Yan Ürün, Isıl İşleme Tabii Tutulmuş
7) Jeolojik Orijinlerine Göre: Volkanik, Tortul, Metamorfik
8) Mineralojik Yapılarına Göre: Silis Mineralli, Karbonat Mineralli, Mikalı, vb.
9) Reaktif Özelliklerine Göre: (agregaların yapısında, çimento içerisindeki alkalilerle reaksiyona girerek betonda genleşme yaratabilecek reaktif silis ve reaktif karbonat içerip içermediklerine göre): Reaktif, Reaktif Olmayan

Bu değişik tarzdaki sınıflandırılmalar arasında en çok kullanılan ilk dört sırada yer alan sınıflandırılma şekilleridir.

### 2.3.2. Agregaların Fiziksel Özellikleri

#### 2.3.2.1. Agreganın Porozitesi

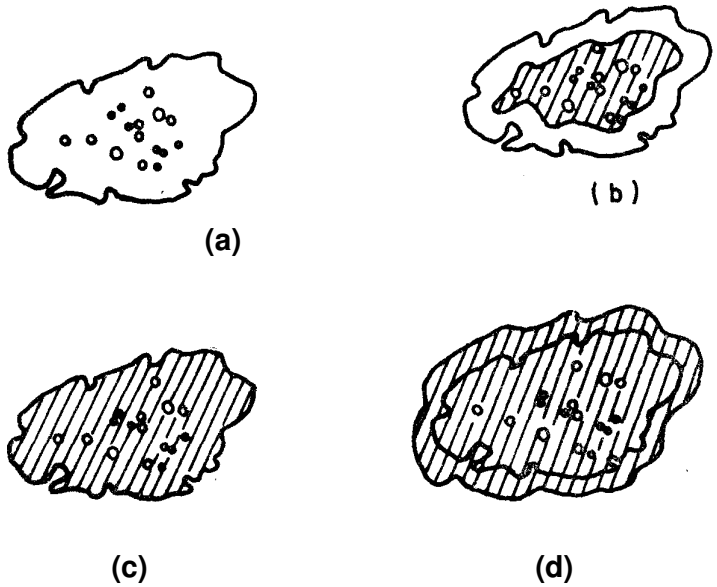
Esası doğal taş olan agrega tanelerinde bir miktar boşluk bulunması doğaldır. Birçok bakımdan böyle bir boşluğun bulunması faydalıdır. Agrega tanelerindeki boşluk doğal taşlarda olduğu gibi su emme deneyi yapılarak saptanır. İri agrega tanelerinin porozitesinin küçük olması bu tanelerin mukavemetinin yüksek bir değer alması sağlanır. Mukavemeti yüksek olan taneler kullanılarak üretilen betonların mekanik mukavemeti de arttırılabilir.

Agreganın emdiği su miktarı tanelerin kökenine, yapışmasına ve granülometri bileşimine bağlıdır. Doğal kumların su emmesi bazı hallerde %3 kadar büyük değerler alıyorsa da genel olarak bu karakteristik %2'nin üstüne çıkmamaktadır. İri agregalar da su emme miktarının, tanelerin daha büyük boyutta olması sebebiyle, çok daha büyük olması beklenir [23].

### 2.3.2.2. Agrega - Su Bağıntısı

Agreganın emdiği su miktarı tanelerin kökenine, yapısına ve granülometri bileşimine bağlıdır. Agrega taneleri arasındaki boşluklarda su dört şekilde bulunur [21].

a) Tamamen Kuru Taneler (Fırın Kurusu): Agrega tanelerinde herhangi bir şekilde su bulunmamaktadır.
b) Kuru Yüzeyli Taneler (Hava Kurusu): Tanelerin içindeki boşluğun bir kısmı su ile doludur, fakat tanenin yüzeyi tamamen kurudur.
c) Yüzey Kuru - Suya Doygun Taneler: Tanelerin boşluklarının su ile dolması ve yüzeyinin tamamen kuru olması halidir.
d) Islak Taneler: Agregadaki boşluklar su ile dolu olduğu gibi yüzeyde de serbest su vardır.




**Şekil 2.6:** Agrega – Su Bağıntısı

### 2.3.2.3. Birim Ağırlık

Birim ağırlık, yığın halindeki bir agreganın taneler arasındaki boşluklar da dahil birim hacminin ağırlığıdır. 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 [24].

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.

Birim ağırlığa etki eden faktörler;

1. Agreganın granülometrisine bağlı olarak boşluk miktarı değişmektedir. Boşluk miktarının az olması birim ağırlığı arttırır.
2. Kusurlu malzemenin fazla miktarda olması boşluğu arttırdığından birim ağırlığı düşürecektir.
3. Agrega **V** hacmine sahip bir kalıba yerleştirilirken sarsıntıya maruz bırakılırsa ve çubukla şişlenirse kabı az boşluk bırakarak doldurur. Bu da birim ağırlığın büyük bir değer almasıdır.
4. 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 1,2 – 1,8 kg/dm$^3$ arasında değişir [25].

#### 2.3.2.4. Özgül Ağırlık

Belli hacim ve sıcaklıktaki bir malzemenin, havadaki ağırlığının aynı hacim ve sıcaklıktaki damıtık suyun havadaki ağırlığına oranıdır. Bu değer hesaplanırken taneler arasındaki boşluk dikkate alınmaz. Bir agreganın özgül ağırlığı, elde edildiği kayacın kökenine bağlıdır. Doğal agregaların çoğunluğunun özgül ağırlığı 2,6 - 2,7 kg/dm$^3$ arasındadır [7].

#### 2.3.2.5. Kompasite

Agreganın kompasitesi ile birim hacimdeki agregada, tanelerin işgal ettiği hacmin toplamı anlaşılmaktadır. Agreganın özgül ve birim ağırlıkları bilinmek suretiyle, birim ağırlığın özgül ağırlığa bölümü ile agreganın kompasitesi hesaplanabilir. Agreganın birim ağırlığı her zaman için özgül ağırlıktan küçüktür. Dolayısıyla kompasite birden küçüktür [21]. Agreganın sıkıştırma işlemine tabi tutulmadan yerleştirilmesi sonucunda kompasite 0,40 – 0,70 arasında değer alır. Agreganın kompasitesinin düşük olması, üretilen betonun kompasitesinin ve mukavemetinin düşük olmasına, dış etkilere karşı dayanıklılığın azalmasına, kusurlu malzeme miktarının artmasına neden olmaktadır.

#### 2.3.2.6. Granülometri ve Maksimum Tane Boyutu

Agrega granülometrisi taze haldeki betonda işlenebilme, sertleşmiş betonda mekanik dayanım, kompasite, geçirimlilik, durabilite, rötre gibi özellikler üzerinde etkilidir. Beton üretiminde kullanılacak karışım agregasının granülometrisi 'ideal granülometri' eğrisiyle uyuşmalı veya ideal bölgelerde kalmalı. Maksimum agrega boyutuna bağlı olarak kabul edilen referans granülometri eğrileri ilgili standartta belirtilmiştir [26]. Agrega bileşenlerinin uygun bir granülometriye sahip olmaları çok önemli bir ayrıntıdır. İyi bir granülometri istenmesinin en önemli sebeplerinden birisi kompasitenin yüksek olmasıdır. Kompasitesi yükselen betonun dayanımı da yükselecektir.

Agreganın maksimum tane boyutu da beton özelliklerini etkiler. Betonun kullanılacağı yerdeki yapı elemanının boyutları ve donatı sıklığı, maksimum tane çapının seçiminde etkilidir. Beton yapımında kullanılması mümkün olan en yüksek maksimum tane boyutu kullanılması ile beton karışımına giren su ihtiyacı azalır; betonda daha az büzülme oluşur, çimento ihtiyacı azalır; ekonomiklik sağlar ve hidratasyon ısısı düşer, sabit işlenebilirlikte su/çimento oranı düşer; daha yüksek dayanım elde edilir. Beton üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda maksimum tane büyüklüğü için en uygun boyutun 25 mm ve maksimum tane büyüklüğünün 40 mm'den daha büyük olmaması gerektiği ortaya çıkmıştır. Bunun sebebi olarak ise, maksimum tane boyutu çok büyük olan agregalardaki tanelerin yüzey alanlarının toplamı oldukça azdır. Bu nedenle çimento hamuru ve agrega yüzeyi arasındaki aderans azalmaktadır. Çimento hamurunun hacim değişiklikleri nedeniyle, çimento hamuru ile agrega tanelerinin yüzeyinde daha büyük gerilmeler oluşmaktadır. Ayrıca maksimum tane boyutu çok büyük olan agregalar, betonun homojenliğini azaltmaktadır [7,27].

### 2.3.3. Agregaların Mekanik Özellikleri

Betonda kullanılan agreganın kolayca kırılmayan, çabuk aşınmayan, sağlam ve sert olması gerekmektedir. Agreganın aşınma dayanıklılığı, basınç dayanımı, tokluğu ve sertliği betonun mekanik özelliklerini etkileyen etmenler olarak sayılabilir. Agreganın elastiklik modülü ve poisson oranı da mekanik özellikler arasında yer almaktadır [22].

Genel olarak agreganın basınç dayanımı ve elastisite modülü, elde edildiği kayacın mineral bileşimine, doku ve yapısına bağlıdır. Düşük dayanım, iç yapı bileşen tanelerin zayıflığı ve bunların birbirlerine yeterince bağlanamaması sonucu olabilir. Betonda kullanılan agreganın basınç dayanımına dair ortalama bir değer belirtmek gerekirse, bu değerin 200 MPa civarında olduğu söylenebilir.

Normal dayanımlı betonlarda sadece agrega dayanımının etkisi oldukça azdır. Agrega granülometrisi, tane şekli, yüzey yapısı, zararlı maddelerin bulunması ortaya çıkacak beton özellikleri üzerinde etkilidir. Ortalama veya düşük sayılabilecek bir basınç dayanımına ve elastisite modülüne sahip bir agrega betonun durabilitesini koruyabilir. Agreganın dayanımı, hafif betonların dayanımının kullanılan agreganın dayanımından büyük olması örneğinden bilindiği gibi, beton dayanımını her zaman sınırlayan bir faktör değildir.

Agreganın dayanımı ve sertliğinin yanı sıra, özellikle beton yüzeyinin aşınmaya maruz kalacağı durumlarda (yol ve yüzey betonları) agreganın aşınmaya dayanıklı olması gerekmektedir [7]. Türk standartlarına göre agreganın basınç dayanımı 1000 kgf/m²'den az ise veya agreganın aşınma dayanıklılığından kuşku duyuluyorsa, agreganın aşınma dayanıklılığı test edilmelidir [26]. Agreganın bu şekilde yapılan aşınma deneyi sonucundan bu malzemenin diğer özellikleri hakkında da bir fikir edinmek mümkündür. Yapılan deneylere göre aşınmaya karşı mukavemeti yüksek olan agregaların basınç mukavemetleri de yüksektir ve bunlarla üretilen betonun basınç ve eğilme mukavemetleri de büyük değerler almaktadır.

### 2.3.4. Agregada Bulunabilecek Zararlı Maddeler

Agregalarda bulunması istenmeyen zararlı maddeler 3 grupta toplanabilir. Çimentonun hidratasyonunu etkileyen kirli maddeler; çürümüş bitkiler ve humuslu topraklar gibi agrega yığını içerisinde çok küçük parçacıklar halinde bulunan organik maddelerdir. Çoğu zaman ince agrega içinde bulunurlar. İri agregaların yıkanma işlemi sırasında çoğunlukla temizlenmiş olurlar. Çimentonun prizini yavaşlatan bu maddeler, betonun özellikle ilk günlerdeki dayanımı başta olmak üzere, dayanım ve dayanıklılığını olumsuz yönde etkilemektedir.

Agrega ve çimento hamuru arasındaki aderansı etkileyen maddeler; kil, silt gibi agrega yığınının içine karışmış veya tanelerin yüzeylerine yapışmış olan ince maddelerdir. Beton içindeki ince madde miktarı arttıkça, aynı işlenebilirliğin elde

edilmesi için su ihtiyacı da artacaktır. Ayrıca agrega tanelerinin üzerini kaplamış olduklarından, tanelerle çimento hamuru arasındaki azaltıp betonun dayanım ve dayanıklılığını olumsuz yönde etkilemektedirler.

Agrega tanelerinin bir parçasıymış gibi tanelere yapışık durumda olan yumuşak ve mukavemeti düşük maddeler; kömür, odun gibi özgül ağırlıkları oldukça düşük hafif maddelerdir. Agregalarda bulunan diğer zararlı maddeler gibi hafif maddelerin de, aşırı miktarda olması betonun dayanım ve dayanıklılığını olumsuz yönde etkilemektedir. Su miktarının azalıp artması ile hacimlerinde büyük değişiklikler olur. Donma olayına maruz kaldıklarında kolaylıkla parçalanırlar. Ayrıca betonda yerel renk değişimleri oluştururlar [7,28,29].

### 2.3.5. Agrega Hacim Konsantrasyonu

Birden fazla faz içeren bir malzemenin mekanik davranışı her fazın özelliklerine bağlı olduğu gibi bu fazların malzeme içindeki miktarlarıyla ilgilidir. Agrega hacminin artmasıyla taze betondaki işlenebilirlik azalmaktadır. Normal agregalı betonlarda betonun birim ağırlığı ve elastisite modülü artmakta, hafif agregalı betonlarda ise azalmaktadır. Agrega hacim konsantrasyonu arttıkça hafif ve çakıl agregalı betonlarda basınç dayanımı azalmakta, kırmataş ile üretilen betonlarda ise önce azalmakta fakat belli bir konsantrasyonda minimumdan geçtikten sonra artmaktadır [30]. Ayrıca artan agrega hacminin betonunda daha fazla boşluk oluşturacağı söylenebilir.

## 2.4. Kimyasal Katkı

Betonun taze ve/veya sertleşmiş haldeki özelliklerini değiştirmek için karıştırma işlemi sırasında betona, çimento kütlesinin %5'ini geçmemek üzere eklenen maddelere "kimyasal katkı" denilmektedir [31]. Günümüzde beton özelliklerinde sağladığı iyileştirmelerden dolayı betonun vazgeçilmez bileşenlerinden biri haline gelen kimyasal katkılar, betonun karıştırma ve yerleştirme sürelerindeki sınırlamalarda, olumsuz hava koşullarında, yerleştirme sırasındaki problemlerde, pompalanabilir, yüksek dayanımlı ve durabilitesi yüksek beton üretiminde etkin rol oynarlar [32,33].

Kimyasal katkı maddeleri aşağıdaki gibi sınıflandırabilir [34].

- Su azaltıcı katkılar
- Priz süresini geciktirici katkılar
- Priz süresini hızlandırıcı katkılar
- Su azaltıcı ve priz geciktirici katkılar
- Su azaltıcı ve priz hızlandırıcı katkılar
- Yüksek oranda su azaltıcı katkılar
- Yüksek oranda su azaltıcı ve priz geciktirici katkılar
- Hava sürükleyici katkılar

Kimyasal katkı maddelerinin beton özelliklerini geliştirmek, ekonomi sağlamak ve çevresel olumsuzluklara karşı koymak amacıyla beton içerisinde kullanıldığı söylenebilir. Akışkanlaştırıcılar, çimento tanelerinin yüzeylerini bir film tabakası ile sararak tanelerin beton içindeki hareketinin kolaylaştırır. Negatif elektrikle yüklenen çimento tanecikleri birbirini iterek dispersiyon etkisiyle çimento tanelerinin topaklaşmasını önler ve tanelerin birbiri üzerinde kaymalarını kolaylaştıran yağlayıcı etki göstermeleri sonucu, betonun iç sürtünmesi azalarak taze betonun işlenebilme yeteneğinin artmasına neden olur [35]. Akışkanlaştırıcı katkı maddeleri uygulamada genel olarak üç amaçla kullanılmaktadır [36,37].

1) Katkısız betonla aynı işlenebilirlikte olmak koşuluyla su/çimento oranını azaltarak daha yüksek dayanımlı beton elde etmek,
2) Su/çimento oranını değiştirmeden betonun kıvamını arttırarak işlenebilirliği kolaylaştırmak, (akıcı beton),
3) Katkısız betonla aynı işlenebilirlikte kalarak, su/çimento oranını değiştirmeden çimento miktarını düşürerek (dolayısıyla su da düşecektir) birim beton maliyetini azaltarak ekonomi sağlamaktır.

Tablo 2.1'de ASTM C494/C ve TS EN 934 standartlarına göre akışkanlaştırıcı katkı maddelerinde aranan şartlar verilmiştir [31,34].

**Tablo 2.1:** Akışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinde Aranan Şartlar

| | | Su Azaltıcı / Akışkanlaştırıcı Katkı | | Yüksek Oranda Su Azaltıcı / Süper Akışkanlaştırıcı Katkı | | Priz Geciktirici / Su Azaltıcı Akışkanlaştırıcı Katkı | | Priz Geciktirici / Yüksek Oranda Su Azaltıcı Akışkanlaştırıcı Katkı | | Priz Hızlandırıcı / Su Azaltıcı Akışkanlaştırıcı Katkı | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Standart | | ASTM C494/C | TS EN 934 | ASTM C494/C | TS EN 934 | ASTM C494/C | TS EN 934 | ASTM C494/C | TS EN 934 | ASTM C494/C | TS EN 934 |
| Çimento Miktarı (kg/m³) | | 310 | 350 | 310 | 350 | 310 | 350 | 310 | 350 | 310 | 350 |
| Su Kesme % | | min.5 | min.5 | min.12 | min.12 | min.5 | min.5 | min.12 | min.12 | min.5 | min.5 |
| Basınç Mukavemeti Şahit Betona Kıyasla % Min | 1g | - | - | 140 | 140 | - | - | 125 | - | - | - |
| | 3g | 110 | - | 125 | - | 110 | - | 125 | - | 125 | - |
| | 7g | 110 | 110 | 115 | - | 110 | - | 115 | 100 | 100 | - |
| | 28g | 110 | 110 | 110 | 115 | 110 | 100 | 110 | 115 | 100 | 100 |
| | 90g | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 6 ay | 100 | - | 100 | - | 100 | - | 100 | - | 90 | - |
| | 1 yıl | 100 | - | 100 | - | 100 | - | 100 | - | 90 | - |
| Eğilme Mukavemeti Şahit Betona Kıyasla % | 3g | 100 | - | 110 | - | 100 | - | 110 | - | 110 | - |
| | 7g | 100 | - | 100 | - | 100 | - | 100 | - | 100 | - |
| | 28g | 100 | - | 100 | - | 100 | - | 100 | - | 90 | - |
| Taze Betondaki Hava Miktarı % (*) | | max. 3 | max. 2 | max. 3 | max. 2 | max. 3 | max. 2 | max. 3 | max. 2 | max. 3 | max. 2 |

Katkı maddeleri kullanılırken aşağıda verilen temel bilgiler hatırlanmalıdır.

- Kurallarına uygun olarak üretilmeyen kötü bir beton, katkı maddeleri kullanılarak iyileştirilemez.
- Katkı maddelerinin eldeki diğer maddeler ile uygunluğu önceden deneylerle araştırılmalıdır.
- Üretici tarafından önceden önerilen katkı maddelerinin dozajlarının uygunluğu önceden deneylerle araştırılmalıdır.
- Katkı maddelerinin ana fonksiyonlarının dışında yan etkileri de vardır.
- Bazı durumlarda kullanılacak birden fazla katkı maddesinin birbirleri ile olan uyumları önceden deneylerle araştırılmalıdır [38].

Bu çalışmada kullanılan kimyasal katkı lignosülfonat esaslı bir katkı olduğundan bu katkıların genel özelliklerine değinilmiştir.

Kağıt üretiminin yan ürünü olan lignosülfonatların ana maddesi odundur. Katkı haline dönüşümü birçok kimyasal süreci gerektirir. Odunun türüne ve kimyasal süreçlerin cinsine göre farklı nitelikli lignosülfonatlar elde edilir [39]. Süper akışkanlaştırıcıların ortaya çıkması ile normal akışkanlaştırıcı olan lignosülfonatların da benzer niteliklere kavuşturulması yönünde araştırmalar yapılmış ve böylece süper akışkanlaştırıcıların bir grubunu oluşturan modifiye lignosülfonatlar üretilmiştir.

Lignosülfonatların ana işlevi akışkanlaştırıcılıktır (su indirgeyicilik). Lignosülfonatlar yüzey gerilimi düşürücü özellikleri nedeniyle çimento taneleri üzerine kolayca adsorbe olabilirler. Böylece çimento taneleri aynı statik elektrik yüklerine sahip olduklarından birbirlerini iterler. Bu ise çimento tanelerinin beton içinde daha iyi dağılmalarını (dispersiyon etkisi) ve topaklar oluşturmalarını önler. Ayrıca yüzey geriliminin düşmesinin bir başka etkisi hava sürüklenmesine yol açılmasıdır. Oluşan kararlı sayılabilecek hava kabarcıkları işlenebilme açısından yararlıdır, ancak bir miktar dayanım düşüklüğüne yol açabilirler. Lignosülfonatların molekül ağırlığı arttıkça yüzeye adsorbe olma özelliği de artmaktadır. Aynı şekilde molekül ağırlığının artışı hava sürükleme yeteneğini de arttırmaktadır. Öte yanda lignosülfonatlar içerdikleri şeker nedeniyle aşırı ve kontrolü zor gecikme özelliği gösterirler. Ancak lignosülfonatların düşük moleküllü olanlarının geciktirici özelliği daha fazladır. Lignosülfonatların geciktirici özellikte olmaları nedeniyle süper

akışkanlaştırıcı katkıların çökme kaybını önlemek için, süper akışkanlara bir miktar lignosülfonat eklenmektedir [40].

## 2.5. Agrega Türünün Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi İle İlgili Yapılmış Olan Araştırmalar

Ana kayaç özelliklerinin bilinmesinin kaliteli kırmataş üretiminde önemi büyüktür. Örneğin silis içeren tridimit ve andezit gibi mineraller alkali agrega reaksiyonuna neden olduğundan, beton için uygun görülmemektedir. Siyah ve beyaz kireçtaşı, granit, bazalt ve siyenit gibi doğal taşlardan da kaliteli beton agregası elde edilebilmektedir [2,21,41].

Neville A.M.'ye [42]; agrega betonla ilintili tarifi gereği betonun ¾'ünü oluşturmasına karşın kalitesinin çok daha önemli olduğunu açıklamaktadır. Agreganın sadece betonun dayanımını sınırlamakla yetinmeyip, istenmeyen özellikleri içermeleri halinde dayanım ve yapısal performansını negatif yönde etkilemesi beklenmelidir. Betonda düşük dayanım yaratabilecek mineraller (mikalar, kil, feldspat, sülfat veya demir oksit mineralleri gibi) agrega olarak kullanılan kayaçların (magmatik, metamorfik ve sedimanter) mineral bileşimlerini ve bu minerallerin ayrışma dereceleri betonun taşıma gücü yönünden fiziksel ve mekanik özelliklerini direkt olarak etkilediğini belirtmektedir.

Kawakami'nin [43] 5 farklı agrega kullanarak yaptığı çalışmada; su emme oranları yüksek olan agregaların çimento hamuru ile aderansı dışa açık boşluklarda hidratasyon ürünlerinin gelişmesine bağlı olarak yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Aderans mukavemeti, taşın basınç mukavemeti ve elastisite modülü ile ters orantılıdır. Su emmesi yüksek ve rijitliği düşük agregalar kullanılarak aderans mukavemetinin ve betonun basınç mukavemetindeki şekil değiştirmenin artacağı ancak betonun basınç mukavemetinin ise azalacağı beklenmektedir.

Alexander ve Milne [44] yaptıkları çalışmada, dört çeşit çimento karışımı ile yapılan betonlarda agrega çeşitlerinin beton mukavemetine etkisini incelemiştir. Dolomit ve andezit agregaları ile portland çimentosu kullanılarak üretilen betonlarda mukavemet değerinin yüksek çıktığını, granit ve kuvarsit agregaları ile üretilen betonlarda özellikle erken yaşlardaki elastisite modülünün düşük çıktığını belirtmişlerdir. Deney sonuçlarına göre, değişen su/çimento oranının agrega türüne

bağlı olarak 20 MPa kadar değişkenlik gösterdiğini belirtmişlerdir. Dört farklı agrega kullanılarak yapılan araştırmada, agrega ile çimento geçiş bölgelerinin, agreganın doğal yapısına göre değişik özellikler gösterdiğini belirtmişlerdir.

Kaplan 'ın [45] 13 farklı kökenli agrega kullanarak 3 ayrı beton karışımı ürettiği araştırmada, aynı karışım oranları kullanılmasına rağmen basınç dayanımlarının % 30, eğilme dayanımlarının ise % 40 oranında değişkenlik gösterdiği ortaya çıkmıştır. Agreganın yüzey yapısı, şekli ve elastisite modülü gibi özelliklerinin betonun mekanik davranışında oldukça etkili olduğunu ve dayanımın artması durumunda bu mekanik özelliklerin öneminin arttığını belirtmiştir.

Özturan ve Çeçen'in [46] bazalt, beyaz kalker ve çakıl kullanarak yaptıkları çalışmada, düşük beton sınıfında kalker içeren betonun, yüksek beton sınıfında ise bazalt içeren betonun en yüksek dayanıma sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Çakıl kullanılarak üretilen betonlar ise, tüm sınıflarda en düşük dayanımı vermiştir. Beton karışım oranlarını değiştirmeden, sadece daha yüksek dayanımlı çimento kullanarak çakılla da yüksek dayanım elde etmeye çalışmışlar, ancak bağlayıcı kalitesini arttırmanın basınç dayanımını pek etkilemediğini, sadece eğilme ve yarma dayanımlarını % 30 civarında yükselttiğini görmüşlerdir.

Tasong vd [47] yaptıkları çalışmada agrega yüzey yapısı için bahsedilen yüzey parametrelerinin ölçümler, agrega yüzeylerinde kırılma veya çatlak olup olmadığına bağlı olarak, farklı mineral yapıya sahip agregalar arasında önemli farklılıklar gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Kayaç yapısı ve kimyasal reaksiyonların beton dayanımında önemli bir fonksiyon olduğunu belirtmişlerdir.

Özkahraman ve Işık'ın [48] kullanılan malzeme ve karışım oranlarının aynı fakat kimyasal ve mineralojik yapıları farklı olan 10 agrega çeşidiyle yaptıkları araştırmada, en iyi beton özelliklerini % 80-95 oranında $SiO_2$ (silisyum dioksit) ve en az % 0,5-3,4 $CaCO_3$ (kalsiyum karbonat) içeren agregalarda elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Carrasquillo ve Çetin [49] özgül ağırlıkları 2,5 – 3,14 gr/cm³ arasında değişen beş farklı agrega kullanarak, 0,28 su/çimento oranıyla agrega türünün ve hacim konsantrasyonunun etkilerini inceledikleri çalışmada, çakıl içeren betonların en düşük basınç dayanımına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bunun sebebi olarak ise çakılın yüzey yapısı ve şeklinin mekanik kenetlenmeye müsait olmamasını

göstermişlerdir. Daha küçük agrega içeren betonların daha yüksek basınç dayanımlarına sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Giaccio ve arkadaşlarının [50], bazalt, granit ve kireçtaşı kullanarak yaptıkları çalışmada, elastisite modülü, basınç dayanımı, çekme ve eğilme deneyleri sonuçlarına göre betonun iç bağındaki çözülmeler ve süreksizlik sınırlarını incelemişlerdir. Beton iç bağındaki çözülmelerin nedenini, agreganın temizliğine, sıkıştırılmasına, karışımına ve agrega türüne göre değiştiği süreksizlik sınırının ise agregaya göre değişmediği iddia edilmiştir. Bununla birlikte daha sert kayaçlardan elde edilen agregaların mukavemet değerlerinin de yüksek çıktığı sonucuna ulaşmışlardır.

Gutierrez ve Canovas [51] 6 farklı türden agrega kullanarak yaptıkları çalışmada kullanılan agreganın betonun kıvamına ve basınç dayanımına olan etkilerini incelemişlerdir. Beton kıvamını etkileyen en önemli faktör agreganın su emmesi olduğu için, su emmesi yüksek olan agregalarda işlenebilirliğin azaldığını, düşük olan agregalarda ise işlenebilirliğin arttığını göstermişlerdir. Yakın su emme değerlerine sahip agregalarda ise; granülometri, tane şekli ve maksimum tane boyutu işlenebilmeyi etkileyen diğer özelliklerdir. Mekanik özellikleri birbirine yakın olan iki tip agregadan, kireçtaşı ile üretilen betonun daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Bu sonucu ise, kireçtaşının çimento hamuru ile arasındaki epitaksi bağının iyi olmasına bağlamışlardır.

Çalışkan'ın [52] yaptığı çalışmada, agregalar ile bağlayıcılar arasında zayıf ara yüzey olduğunu ve bu ara yüzey boyunca çatlakların ilerlediğini belirtmiştir. Ara yüzeylerin beton performansında oldukça etkili olduğunu ve zayıf ara yüzeye önlem olarak, ara yüzey bölgesinin agrega ile çimento matrisinin güçlü bir aderans yapacak şekilde yoğun olması gerektiğini belirtmiştir.

Murdock [53], tortul kayaç olan kireçtaşının, kalsiyum karbonattan oluştuğunu, sert ve yoğun türlerinin betonda en uygun kayaç türü olduğunu belirtmiştir. Daha yumuşak ve yoğunluğu daha düşük olitik kireçtaşlarının dona ve aşınmaya dayanıklılıklarının düşük olması nedeniyle, özellikle aşınmaya ve atmosfer etkilerine maruz karayolu kaplama betonları, dolu savak betonları ile köprü tabliye betonları için uygun olmadığını, tebeşir türü kireçtaşlarının ise çok yumuşak olması nedeniyle betonda kullanılamayacağını ifade etmiştir. Yüksek oranda magnezyum

karbonat içeren dolomitik kireçtaşlarının beton agregası olarak uygunluğunu belirtmektedir.

Taşdemir ve arkadaşlarının [54] yaptıkları araştırmada, beyaz ve gri kalker kullanılarak üretilen betonlarda beyaz kalkerle üretilen betonların daha yüksek dayanım gösterdiği belirtilmiştir. Buna sebep olarak beyaz kalkerin elastik olarak daha uyumlu olması ve agrega-matris ara yüzeyinde üniform gerilme dağılımları oluşturması gösterilmiştir.

Yeğinboğalı [55], köşeli ve yüzeyi pürüzlü agregaların, yuvarlak taneli agregalara göre, çimento hamuru ile daha kuvvetli bağ oluşturduğunu ve agrega yüzeyinin gözenekli olması durumunda bu bağın, çimento taneleri tarafından daha da güçlendirildiğini belirtmiştir. Ayrıca agreganın mineralojik yapısının da bu bağda etkili olduğunu ifade etmiştir.

Şengül [56], 4 farklı agrega kullanarak C18'den C90'a 6 ayrı beton sınıfında üretimler yaptığı çalışmada, bütün beton sınıflarında en düşük elastisite modülünü kumtaşı ile ürettiği betonlarda elde etmiştir. Özellikle yüksek dayanımlı beton sınıflarında en iyi basınç mukavemetine sahip agreganın bazalt olduğunu belirtmiştir. Bunun sebebi olarak ise; yüksek dayanımlı betonlarda, normal dayanımlı betonlara göre ara yüzeylerin daha kuvvetli olduğunu göstermiştir.

# 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, üretilen betonların özellikleri, beton üretiminde kullanılan malzemeler, yapılan deneyler ve bu deneylerden elde edilen sonuçlar hakkında bilgiler verilmiştir.

## 3.1. Üretilen Betonların Özellikleri

Bu çalışma kapsamında 15 farklı beton üretimi yapılmıştır. Numunelerin kodlanması aşamasında ilk iki harf üretilen betonlarda kullanılan agrega türünü, parantez içindeki harfler ise üretilen betonların karışımlarındaki ince agrega içeriğini, yani sadece kum, sadece kırma kum veya hem kum hem de kırma kum bulunduğunu gösterir. Örneğin beyaz kalker malzemesiyle üretilen betonlardan, içinde sadece kum olan karışımı BE(K), sadece kırma kum olan karışımı BE(KK) ve hem kum hem de kırma kum içeren karışımı BE(KAR) olarak kodlanmıştır. Üretilen betonların kodları ve karışımlardaki ince agrega yüzdeleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

**Tablo 3.1:** Üretilen Betonların İsimlendirilmesi (Numune Kodları)

| AGREGA KÖKENİ | NUMUNE KODU | İNCE AGREGA % Sİ |
|---|---|---|
| BAZALT | BA(K) | % 100 KUM |
| | BA(KK) | % 100 KIRMA KUM |
| | BA(KAR) | % 44 KUM - % 56 KIRMA KUM |
| KUMTAŞI | KU(K) | % 100 KUM |
| | KU(KK) | % 100 KIRMA KUM |
| | KU(KAR) | % 40 KUM - % 60 KIRMA KUM |
| DOLOMİT | DO(K) | % 100 KUM |
| | DO(KK) | % 100 KIRMA KUM |
| | DO(KAR) | % 40 KUM - % 60 KIRMA KUM |
| BEYAZ KALKER | BE(K) | % 100 KUM |
| | BE(KK) | % 100 KIRMA KUM |
| | BE(KAR) | % 40 KUM - % 60 KIRMA KUM |
| MAVİ KALKER | MA(K) | % 100 KUM |
| | MA(KK) | % 100 KIRMA KUM |
| | MA(KAR) | % 40 KUM - % 60 KIRMA KUM |

### 3.2. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

#### 3.2.1. Çimento

Deneylerin tamamında, Akçansa Çimento fabrikasında üretilmiş olan CEM I 42,5R tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri Tablo 3.2'de, kimyasal özellikleri Tablo 3.3'te ve basınç dayanımları da Tablo 3.4'te verilmiştir.

**Tablo 3.2:** Çimentonun Fiziksel Özellikleri

| **Fiziksel Özellikler** | | **Analiz Sonuçları** | **Standart: TSEN 197-1** | |
|---|---|---|---|---|
| | | | **min** | **Max** |
| Özgül Ağırlık | gr/cm³ | 3,17 | - | - |
| Özgül Yüzey-Blaine | cm²/gr | 3620 | 2800 | - |
| 90 µm elek kalıntısı | % | 0,6 | - | - |
| 45 µm elek kalıntısı | % | 7,2 | - | - |
| Hacim Genleşmesi | mm | 1 | - | - |
| Priz Başlangıcı | saat | 02:42 | 1 | - |
| Priz Sonu | saat | 03:18 | - | 10 |

**Tablo 3.3:** Çimentonun Kimyasal Özellikleri

| **Fiziksel Özellikler** | | **Analiz Sonuçları** | **Standart: TSEN 197-1** |
|---|---|---|---|
| | | | **Max** |
| Çözünemeyen Kalıntı | % | 0,37 | 1,5 |
| Kızdırma Kaybı | % | 1,44 | 5 |
| MgO | % | 1,23 | 5 |
| Cl | % | 0,04 | 0,1 |
| $SO_3$ | % | 2,36 | 3,5 |

**Tablo 3.4:** Çimentonun Basınç Dayanımı

| **Basınç Dayanımı N/mm²** | | **Standart TSEN 197-1 min** |
|---|---|---|
| 2 gün | 26,1 | 20 |
| 7 gün | 40,5 | 31,5 |
| 28 gün | 53,4 | 42,5 |

### 3.2.2. Agrega

Deneysel çalışmalarda toplam beş farklı tür agrega kullanılmıştır. Bu çalışmada esas alınan konu agrega kökeninin etkisi olduğu için, her bir agrega kendi başlığı altında detaylı olarak incelenmiştir.

#### 3.2.2.1. Bazalt

Deneysel çalışmada kullanılan bazalt agregası Çorlu – Karatepe'den temin edilmiştir. Bu agregaya ait mineralojik ve petrografik analizler aşağıda verilmiştir.

Makroskobik İnceleme:

Koyu gri – siyah tonlarında, yarı köşeli yarı yuvarlak, kristalliğin orta düzeyde olduğu kırmataş örnekte yüzeyi çok pürüzlü, masif kompakt bir kayaçtır.

Herhangi bir ayrışım ve yönlenme göstermeyen örnek, makroskobik yönden ince taneli, afanitik (tane yapısı göstermeyen) görünümlü, sertliği 5–6 Mohs olup, % 10 HCl ile reaksiyonda herhangi bir köpürme gözlenmez. Buradan, kayaç karbonat grubuna ait değildir.

Mikroskobik İnceleme:

Porfirik volkanik (bazaltik) diğer bir tanımla tipik girift ofitik doku altında, plajioklas kristalleri (idiyomorf), birbiriyle girift konumda, ara boşluklarda ince mikrolitik kristaller (plajioklas + olivin) ve olivin kristal taneleri yer alırlar.

Tane Boyutu:

— Mikritik Kalsit: 0,6 – 0,3 mm
— Olivinler: 0,5 – 0,4 mm

Sonuç: Örnek kayaç malzeme olivinli bazalttır. Bazalt agregasının mineral bileşimi Tablo 3.5'te verilmiştir.

**Tablo 3.5:** Bazalt Agregasının Mineral Bileşimi

| MİNERAL BİLEŞİM | % ORAN |
|---|---|
| Plajioklas | 25 – 30 |
| Olivin | 15 – 17 |
| Matriks (mikrolitik) | 60 – 62 |

Bazalt agregasına ait kırma kum, 1 no ve 2 no agregaların elek analizleri Tablo 3.6'da ve özgül ağırlıkları Tablo 3.7'de verilmiştir.

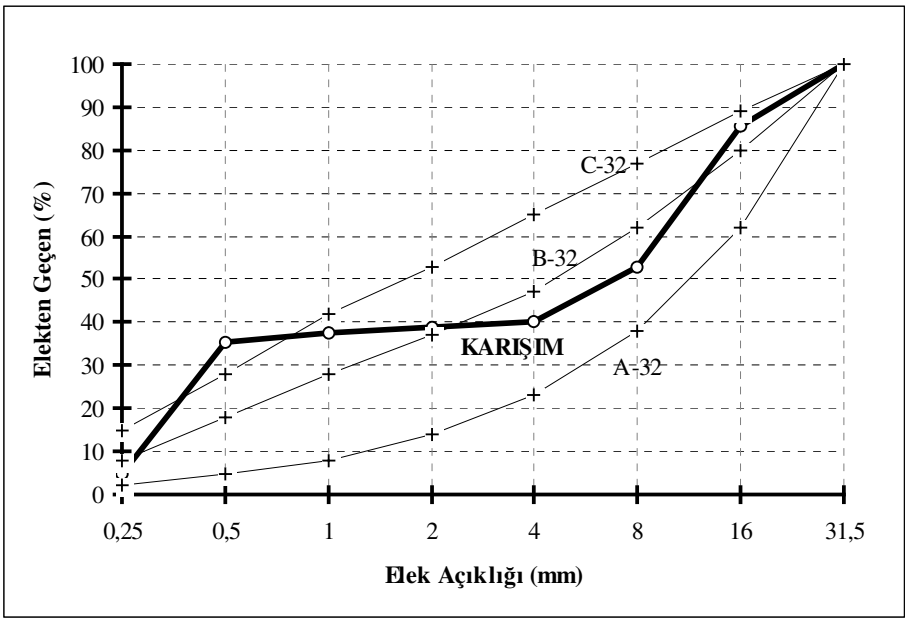
**Tablo 3.6:** Bazalt Kökenli Agregaların Elek Analizleri

| ELEK AÇIKLIĞI (mm) | ELEKTEN GEÇEN % | | |
|---|---|---|---|
| | KIRMA KUM | KIRMATAŞ 1 | KIRMATAŞ 2 |
| 31,5 | 100 | 100 | 58 |
| 16 | 100 | 100 | 0 |
| 8 | 100 | 51 | 0 |
| 4 | 98 | 4 | 0 |
| 2 | 65 | 0,4 | 0 |
| 1 | 62 | 0,2 | 0 |
| 0,5 | 37 | 0 | 0 |
| 0,25 | 23 | 0 | 0 |

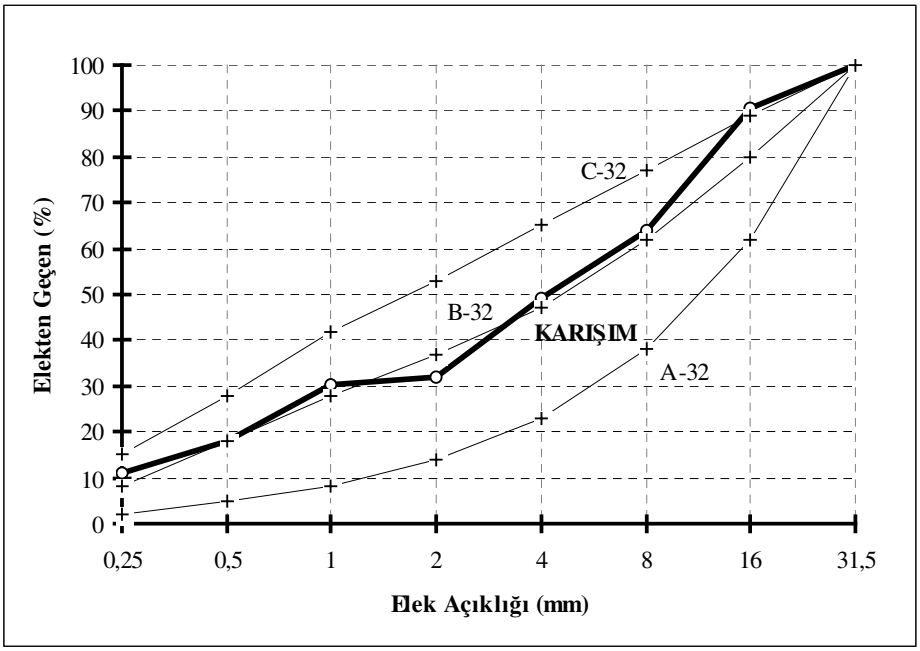
**Tablo 3.7:** Bazalt Kökenli Agregaların Özgül Ağırlıkları

| AGREGA TÜRÜ | ÖZGÜL AĞIRLIK (gr/cm³) |
|---|---|
| Kırma Kum | 2,79 |
| Kırmataş 1 | 2,90 |
| Kırmataş 2 | 2,88 |

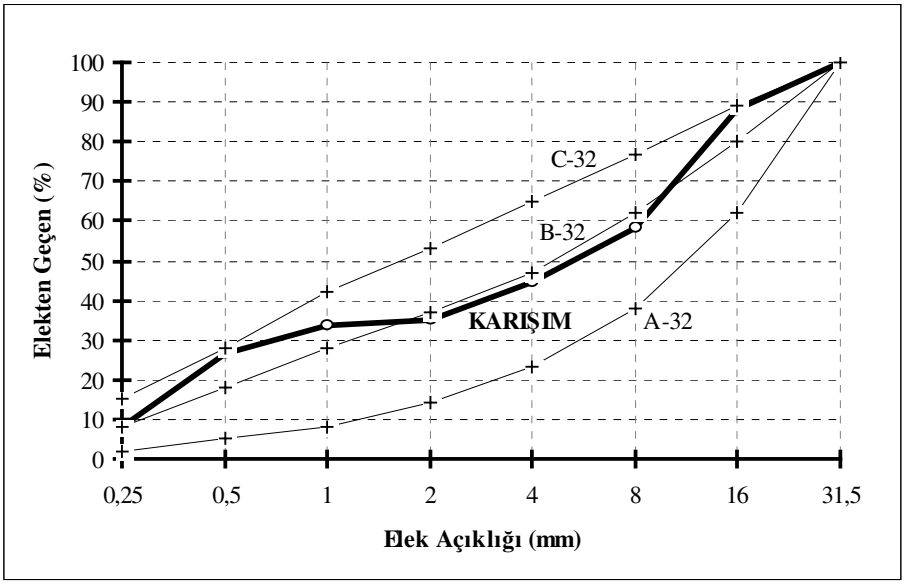
Bazalt agregası kullanılarak üretilen betonlardan BA(K), BA(KK) ve BA(KAR) bileşimlerinde kullanılan karışımın granülometri eğrisi ve TS 706 referans eğrileri sırasıyla Şekil 3.1'de, Şekil 3.2'de ve Şekil 3.3'te verilmiştir.




**Şekil 3.1:** BA(K) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri




**Şekil 3.2:** BA(KK) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri




**Şekil 3.3:** BA(KAR) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri

### 3.2.2.2. Kumtaşı

Deneysel çalışmada kullanılan kumtaşı agregası Cendere - Akdağlar Ocağı'ndan temin edilmiştir. Bu agregaya ait mineralojik ve petrografik analizler aşağıda verilmiştir.

Makroskobik İnceleme:

Koyu gri – siyah tonlarında, ince kılcal damarlarla kesilmiş, daha çok köşeli ve az yuvarlak olup küreselliği düşüktür. Şistozite (yapraklanma), yönlenme ve ayrışım izlenmez. Sertliği 6–6,5 Mohs olup, %10 HCl ile reaksiyonunda, çok hafif bir yüzeysel köpürme izlendi.

Mikroskobik İnceleme:

Polarizan mikroskop (POL-SM) altında, 40–50 büyütmede, malzeme ince kesitte farklı tane boyutlu (iri-orta ve ince) mineraller ve bunları çevreleyen ince bir matriks ile çevrelenmiştir. Kristal - mineral taneleri yarı köşeli, ağırlıklı olarak kuvars kristallerinin egemen olduğu kayaçta kristaller berrak, tek kristalli veya çok kristalli ve kayaç parçacıklarından oluşurlar. Ayrıca ince ikincil kalsit dolgulu damarlar izlenir.

Tane Boyutu:

— İri Taneli Mineraller: 0,7 – 0,5 mm

— İnce Taneli Mineraller: 0,05 – 0,08 mm

Sonuç: Örnek malzeme mikrotaneli kumtaşıdır. Kumtaşı agregasının mineral bileşimi Tablo 3.8'de verilmiştir.

**Tablo 3.8:** Kumtaşı Agregasının Mineral Bileşimi

| MİNERAL BİLEŞİM | % ORAN |
|---|---|
| Kuvars | 39 – 44 |
| Plajioklas | 11 – 14 |
| Kalsit (İkincil) | 11 – 13 |
| Mika (klorit+serizit) | 10 – 11 |
| Kayaç Parçası | 7 – 8 |
| İmpürite (opak) | 7 – 8 |

Kumtaşına ait kırma kum, 1 no ve 2 no agregaların elek analizleri Tablo 3.9'da ve özgül ağırlıkları Tablo 3.10'da verilmiştir.

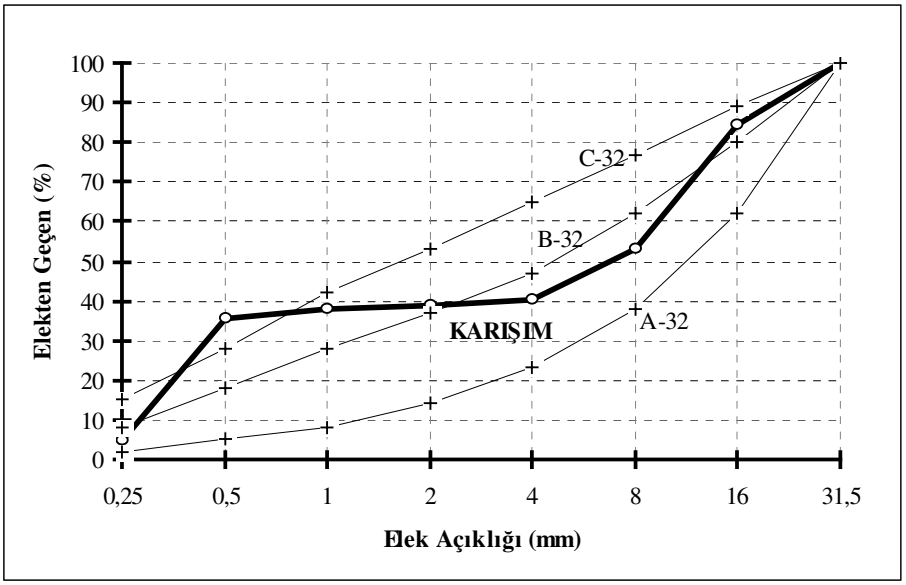
**Tablo 3.9:** Kumtaşı Kökenli Agregaların Elek Analizleri

| ELEK AÇIKLIĞI (mm) | ELEKTEN GEÇEN % | | |
|---|---|---|---|
| | KIRMA KUM | KIRMATAŞ 1 | KIRMATAŞ 2 |
| 31,5 | 100 | 100 | 100 |
| 16 | 100 | 100 | 57 |
| 8 | 100 | 57 | 0,1 |
| 4 | 91 | 5 | 0 |
| 2 | 57 | 1,5 | 0 |
| 1 | 36 | 1 | 0 |
| 0,5 | 25 | 1 | 0 |
| 0,25 | 17 | 0,5 | 0 |

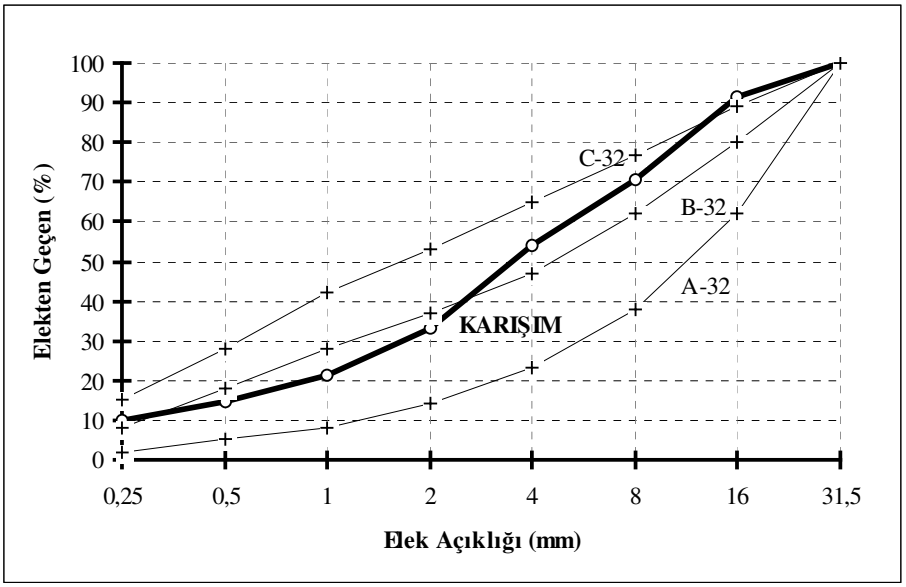
**Tablo 3.10:** Kumtaşı Kökenli Agregaların Özgül Ağırlıkları

| AGREGA TÜRÜ | ÖZGÜL AĞIRLIK (gr/cm³) |
|---|---|
| Kırma Kum | 2,73 |
| Kırmataş 1 | 2,74 |
| Kırmataş 2 | 2,74 |

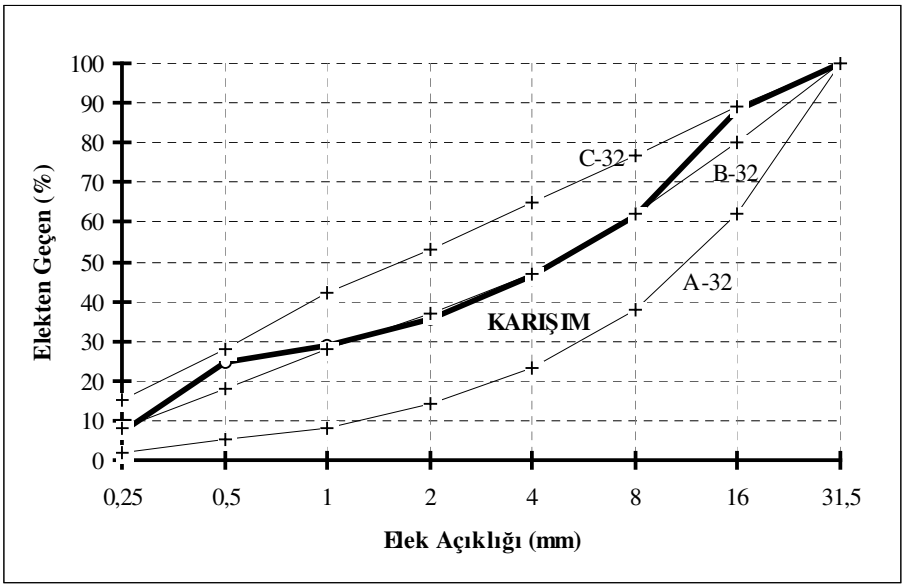
Kumtaşı agregası kullanılarak üretilen betonlardan KU(K), KU(KK) ve KU(KAR) bileşimlerinde kullanılan karışımın granülometri eğrisi ve TS 706 referans eğrileri sırasıyla Şekil 3.4'te, Şekil 3.5'te ve Şekil 3.6'da verilmiştir.




**Şekil 3.4:** KU(K) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri




**Şekil 3.5:** KU(KK) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri




**Şekil 3.6:** KU(KAR) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri

### 3.2.2.3. Dolomit

Deneysel çalışmada kullanılan dolomit agregası Marmara Adası'ndan temin edilmiştir. Bu agregaya ait mineralojik ve petrografik analizler aşağıda verilmiştir.

Makroskobik İnceleme:

Beyaz bej veya grimsi bej tonlarında, köşeli, masif ve kompakt bir yapıya sahiptir. İnce taneli, çıplak gözle tane yapısı homojen ve belirsiz (taneler) dir. Kayacın sertliği 3,6–4 Mohs olup, %10 HCl ile reaksiyonunda, çok hafif bir yüzeysel köpürme izlenmiştir. Buradan örnek kırmataş malzemenin, karbonat grubuna ait olduğu söylenir. Kalsitten daha sert, kolay kırılır.

Mikroskobik İnceleme:

Mikritik yarı spesifik özellikli doku altında, kalsit kristalleri mikritik kriptokristalin özellikte, bunlarla iç içe konumda olan ikincil kökenli dolomit kristalleri oranına tane boyutu yönünden baskındır. Dolomitler, kalsit kristallerinden köşeli ve belirgin dilinimleriyle ayrılmaktadır.

Tane Boyutu:

— Mikritik Kalsit: 30 – 40 mikron
— Dolomit: 0,3 – 0,7 mm

Sonuç: Örnek malzeme dolomitik kalker (kireçtaşı) dır. Dolomit agregasının mineral bileşimleri Tablo 3.11'de verilmiştir.

**Tablo 3.11:** Dolomit Agregasının Mineral Bileşimi

| MİNERAL BİLEŞİM | % ORAN |
|---|---|
| Kalsit (mikritik) | 17 – 18 |
| Dolomit (Sparitik) | 81 – 83 |
| Opak Mineral<br>Limonit,Hematit | 0,5 – 1 |

Dolomite ait kırma kum, 1 no ve 2 no agregaların elek analizleri Tablo 3.12'de ve özgül ağırlıkları Tablo 3.13'te verilmiştir.

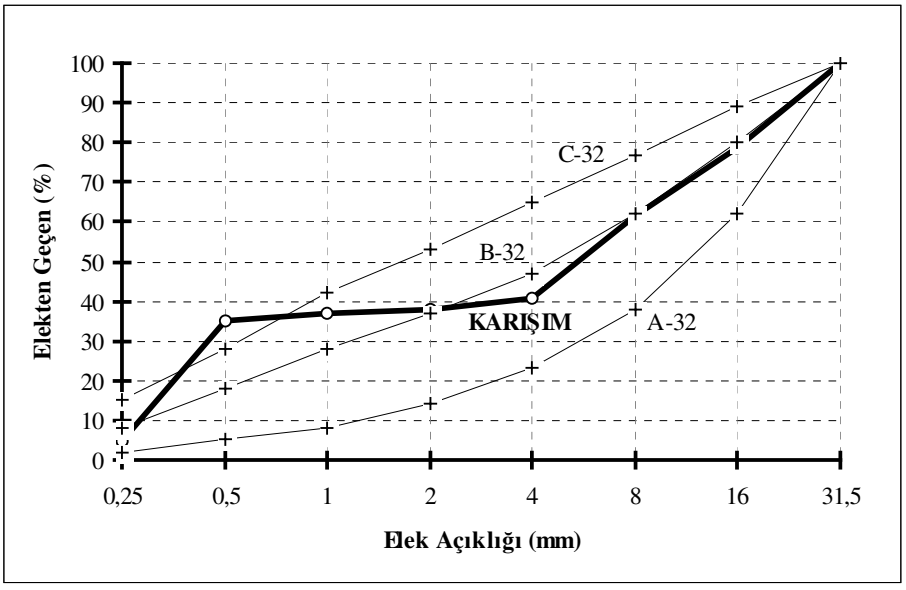
**Tablo 3.12:** Dolomit Kökenli Agregaların Elek Analizleri

| ELEK AÇIKLIĞI (mm) | ELEKTEN GEÇEN % | | |
|---|---|---|---|
| | KIRMA KUM | KIRMATAŞ 1 | KIRMATAŞ 2 |
| 31,5 | 100 | 100 | 100 |
| 16 | 100 | 100 | 31 |
| 8 | 100 | 75 | 0,6 |
| 4 | 96 | 9 | 0,5 |
| 2 | 57 | 1,4 | 0 |
| 1 | 42 | 1,1 | 0 |
| 0,5 | 36 | 1 | 0 |
| 0,25 | 31 | 1 | 0 |

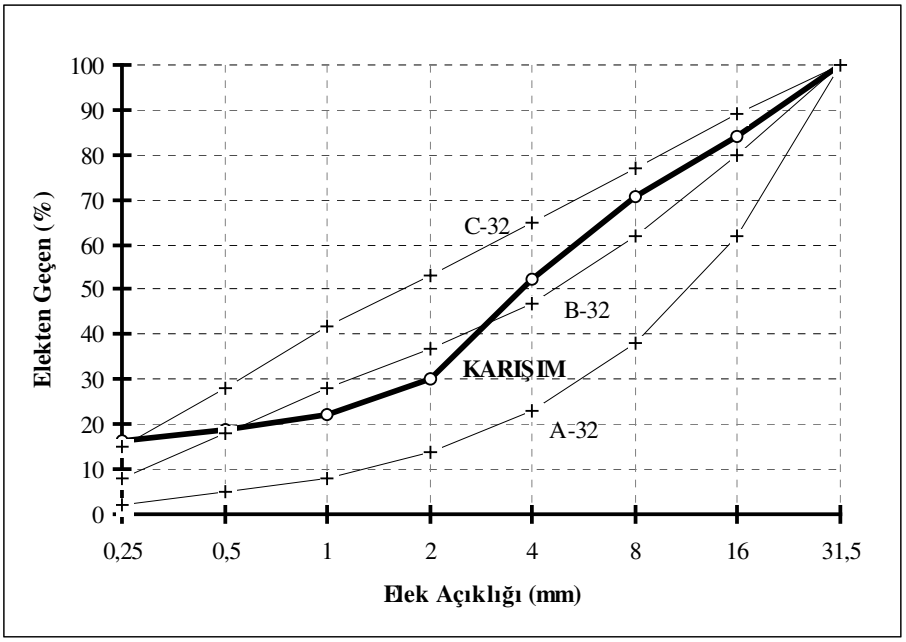
**Tablo 3.13:** Dolomit Kökenli Agregaların Özgül Ağırlıkları

| AGREGA TÜRÜ | ÖZGÜL AĞIRLIK (gr/cm³) |
|---|---|
| Kırma Kum | 2,84 |
| Kırmataş 1 | 2,85 |
| Kırmataş 2 | 2,83 |

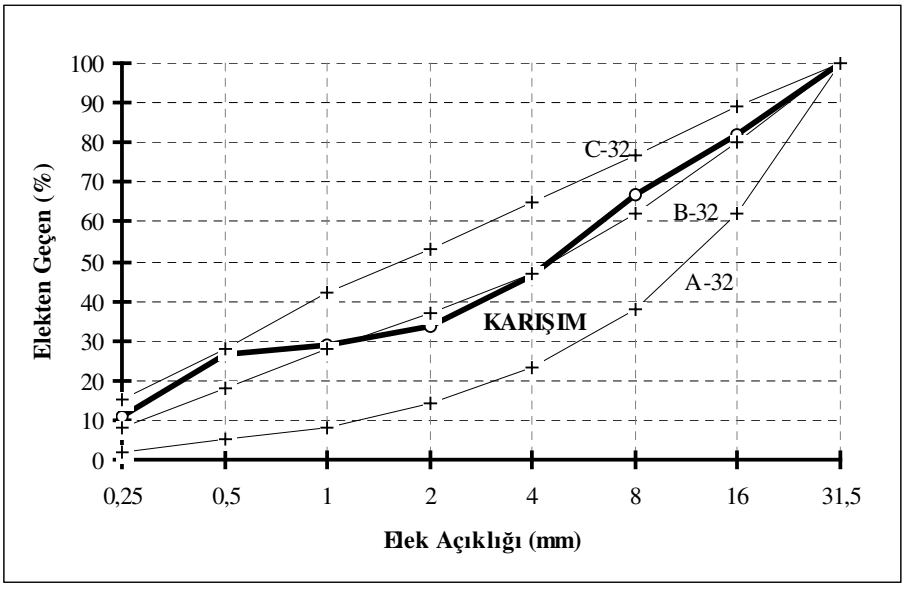
Dolomit agregası kullanılarak üretilen betonlardan DO(K), DO(KK) ve DO(KAR) bileşimlerinde kullanılan karışımın granülometri eğrisi ve TS 706 referans eğrileri sırasıyla Şekil 3.7'de, Şekil 3.8'de ve Şekil 3.9'da verilmiştir.




**Şekil 3.7:** DO(K) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri




**Şekil 3.8:** DO(KK) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri




**Şekil 3.9:** DO(KAR) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri

### 3.2.2.4. Beyaz Kalker

Deneysel çalışmada kullanılan beyaz kalker agregası İstanbul – Çatalca'dan temin edilmiştir. Bu agregaya ait mineralojik ve petrografik analizler aşağıda verilmiştir.

Makroskobik İnceleme:

Açık beyaz krem tonlarında, çok köşeli az yuvarlak, küresellik düşüktür. Örnek malzeme ele toz bırakan özellikte (tozlu), yıkanmamış, kırmataş olarak çok köşelilik yanında, yüzeylerinde yüksek düzeyde pürüzlülük gösterirler. Yönlenme ve yapraklanma göstermemektedir. Sertliği 3,5–4 Mohs, asitle (% 10 HCl ile) reaksiyonda çok hızlı bir köpürme izlenir. Buradan kayacın karbonat grubu minerallerden (kalsit, vs.) oluştuğu söylenebilir.

Mikroskobik İnceleme:

Polarizan petrografik mikroskop (LEİTZ POL – SM Lux) altında, boşluklu mikritik, kriptokristalli, yarıkristallin, az fosilli, ince çatlaklı ve boşlukları opak mineraller (limonit, hematit) dolgulu, yeniden kristalleşmiş zonlar, mikritik kristalli zonlarla içi içe doku sergilemektedir.

Tane Boyutu:

— Mikritik Kalsitler: 22 – 32 mikron
— Rekristalize Kalsit: 0,03 – 0,04 mm
— Boşluklar: 0,07 – 0,7 mm

Sonuç: Örnek malzeme rekristalize kireçtaşıdır. Beyaz kalker agregasının mineral bileşimi Tablo 3.14'te verilmiştir.

**Tablo 3.14:** Beyaz Kalker Agregasının Mineral Bileşimi

| MİNERAL BİLEŞİM | % ORAN |
|---|---|
| Kalsit (mikritik) | 49 – 56 |
| Kalsit (kristalin) ikincil oluşumlu | 36 – 44 |
| Boşluk | 2 – 3 |
| İmpürte (opak mineral) | 3 – 4 |

Beyaz kalkere ait kırma kum, 1 no ve 2 no agregaların elek analizleri Tablo 3.15'te ve özgül ağırlıkları Tablo 3.16'da verilmiştir.

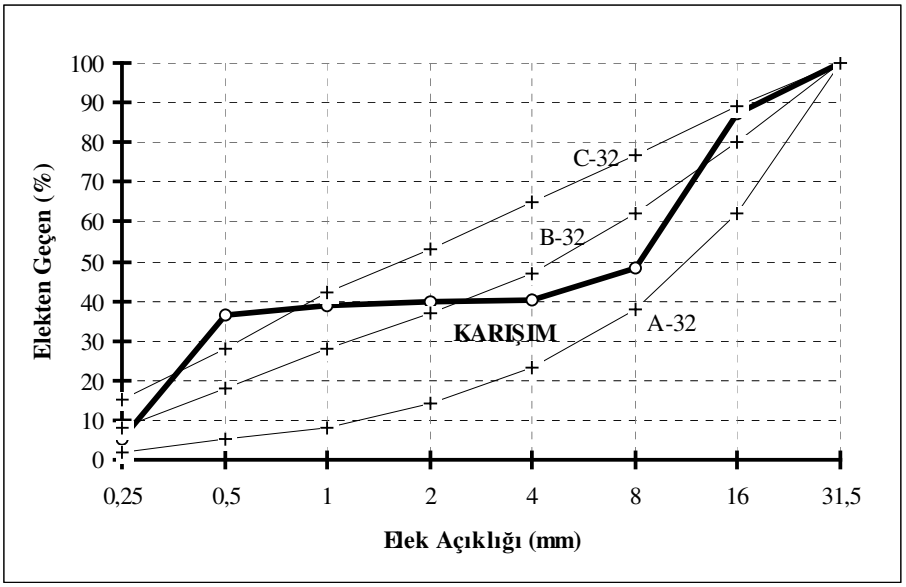
**Tablo 3.15:** Beyaz Kalker Kökenli Agregaların Elek Analizleri

| ELEK AÇIKLIĞI (mm) | ELEKTEN GEÇEN % | | |
|---|---|---|---|
| | KIRMA KUM | KIRMATAŞ 1 | KIRMATAŞ 2 |
| 31,5 | 100 | 100 | 100 |
| 16 | 100 | 100 | 58 |
| 8 | 100 | 28 | 0,5 |
| 4 | 89 | 1 | 0,5 |
| 2 | 50 | 0,7 | 0,5 |
| 1 | 29 | 0,7 | 0,4 |
| 0,5 | 19 | 0,7 | 0,3 |
| 0,25 | 10 | 0,5 | 0,2 |

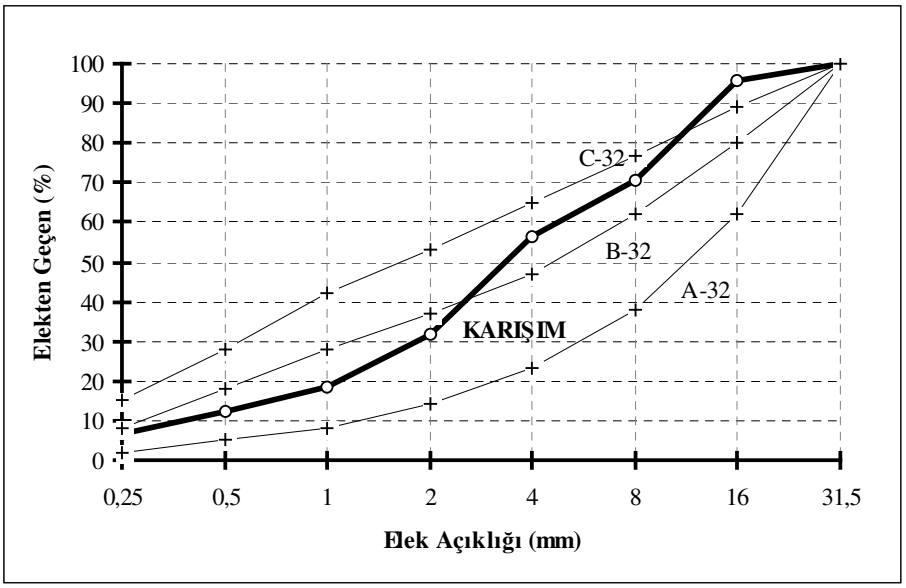
**Tablo 3.16:** Beyaz Kalker Kökenli Agregaların Özgül Ağırlıkları

| AGREGA TÜRÜ | ÖZGÜL AĞIRLIK (gr/cm³) |
|---|---|
| Kırma Kum | 2,64 |
| Kırmataş 1 | 2,62 |
| Kırmataş 2 | 2,60 |

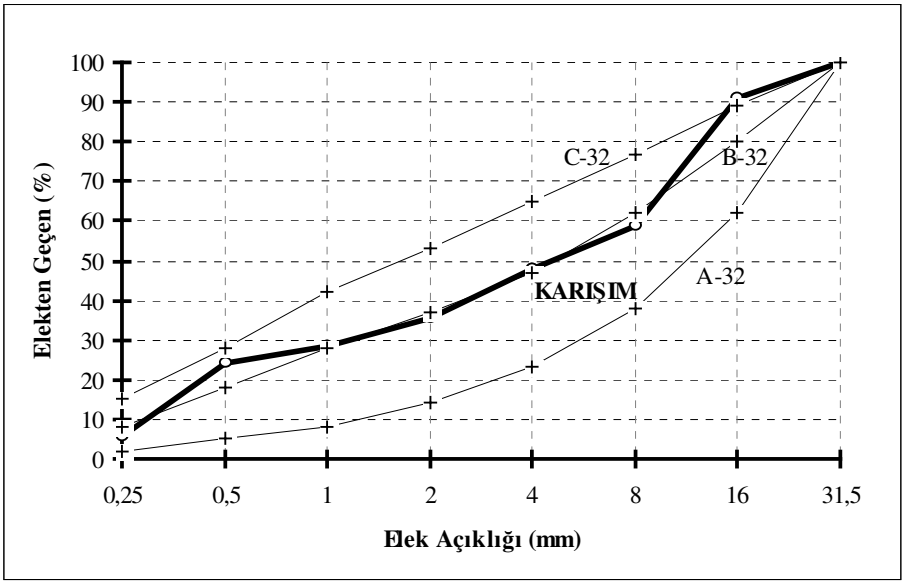
Beyaz kalker agregası kullanılarak üretilen betonlardan BE(K), BE(KK) ve BE(KAR) bileşimlerinde kullanılan karışımın granülometri eğrisi ve TS 706 referans eğrileri sırasıyla Şekil 3.10'da, Şekil 3.11'de ve Şekil 3.12'de verilmiştir.




**Şekil 3.10:** BE(K) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri




**Şekil 3.11:** BE(KK) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri




**Şekil 3.12:** BE(KAR) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri

### 3.2.2.5. Mavi Kalker

Deneysel çalışmada kullanılan mavi kalker agregası İstanbul - Cebeci'den temin edilmiştir. Bu agregaya ait mineralojik ve petrografik analizler aşağıda verilmiştir.

Makroskobik İnceleme:

Gri, koyu grimsi, siyahımsı renklerde, yarı köşeli yarı yuvarlak, küresellik düşüktür. Herhangi bir ayrışma ve yapraklanma olayına rastlanmaz. Kayacın sertliği 3,5 – 4 Mohs olup, asitle (% 10 HCl ile) reaksiyonda çok hızlı bir köpürme izlenir. Malzeme bu özelliği ile karbonat grubuna ait (kalsit, vb.) mineraller içerir.

Mikroskobik İnceleme:

Mikritik, kriptokristalli kalsit kristalleri ve rekristalize kalsit dolgulu mikrofosillere rastlanır. Mikrokristalli karbonat kristalleri çoğunlukla ince mikro boyutlu demir oksit mineralleriyle iç içedir. Kayaca renk veren bu opak impürteler hematit – limonit bileşimlidir. İkincil oluşumlu ince kılcal çatlaklar, ikincil kalsit kristalleriyle dolgulanmıştır. İkincil kalsitler berrak, opak impürteler içermez. Dilinim ve ikizlenme gösterirler. İkincil kalsit (dolgu) kristal oranı yaklaşık % 15 civarındadır.

Tane Boyutu:

— Mikritik Kalsitler: 20 – 30 mikron

— İkincil Dolgu Kalsit: 0,6 – 0,15 mm

Sonuç: Örnek malzeme az dolomitik ve rekristalize kireçtaşıdır. Mavi kalker agregasının mineral bileşimi Tablo 3.17'de verilmiştir.

**Tablo 3.17:** Mavi Kalker Agregasının Mineral Bileşimi

| MİNERAL BİLEŞİM | % ORAN |
|---|---|
| Kalsit (mikritik) | 59 – 67 |
| Kalsit (kristalin ikincil) | 10 – 12 |
| Dolomit (ikincil) | 20 – 25 |
| İmpürte (opak mineral) | 3 – 4 |

Mavi kalkere ait kırma kum, 1 no ve 2 no agregaların elek analizleri Tablo 3.18'de ve özgül ağırlıkları Tablo 3.19'da verilmiştir.

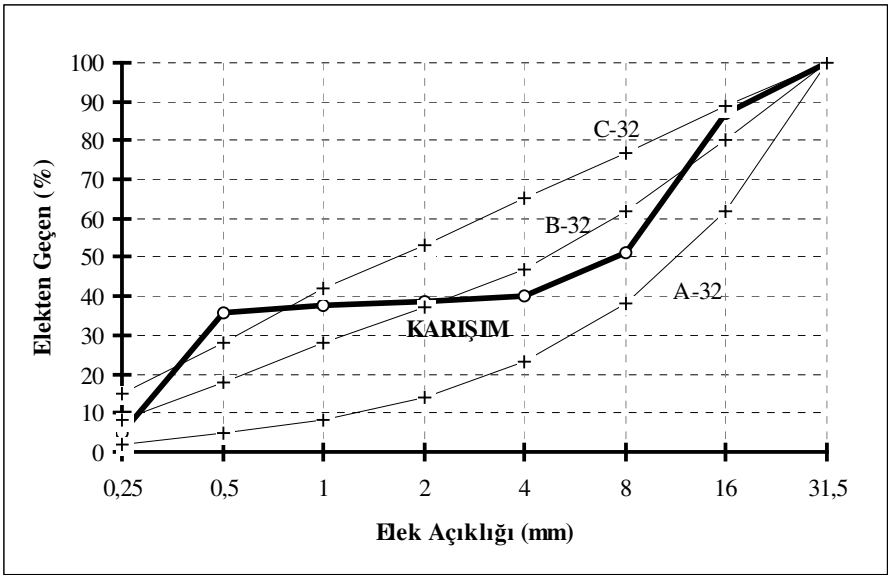
**Tablo 3.18:** Mavi Kalker Kökenli Agregaların Elek Analizleri

| ELEK AÇIKLIĞI (mm) | ELEKTEN GEÇEN % | | |
|---|---|---|---|
| | KIRMA KUM | KIRMATAŞ 1 | KIRMATAŞ 2 |
| 31,5 | 100 | 100 | 100 |
| 16 | 100 | 100 | 62 |
| 8 | 100 | 45 | 0,4 |
| 4 | 98 | 3 | 0,3 |
| 2 | 59 | 1 | 0,3 |
| 1 | 34 | 1 | 0,2 |
| 0,5 | 23 | 1 | 0,2 |
| 0,25 | 15 | 0,6 | 0,2 |

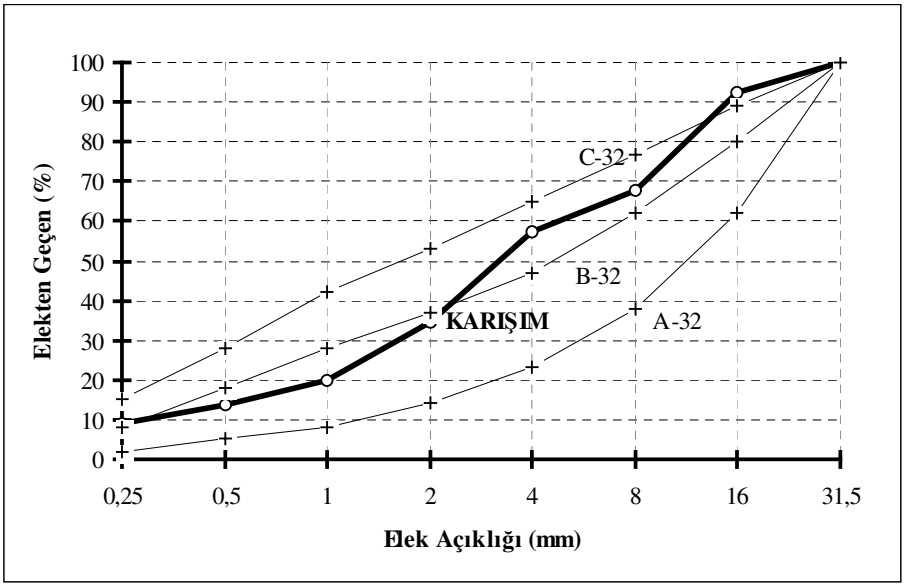
**Tablo 3.19:** Mavi Kalker Kökenli Agregaların Özgül Ağırlıkları

| AGREGA TÜRÜ | ÖZGÜL AĞIRLIK (gr/cm³) |
|---|---|
| Kırma Kum | 2,70 |
| Kırmataş 1 | 2,72 |
| Kırmataş 2 | 2,71 |

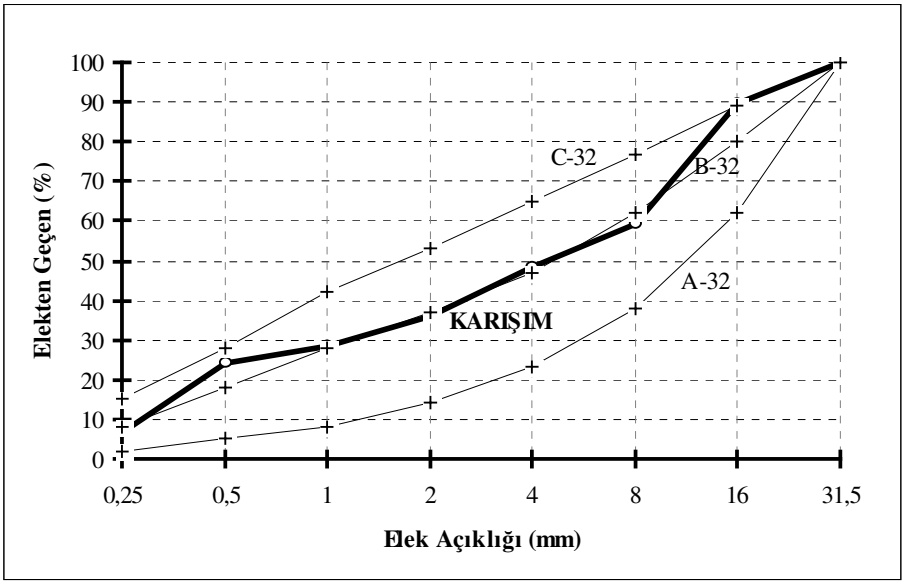
Mavi kalker agregası kullanılarak üretilen betonlardan MA(K), MA(KK) ve MA(KAR) bileşimlerinde kullanılan karışımın granülometri eğrisi ve TS 706 referans eğrileri sırasıyla Şekil 3.13'te, Şekil 3.14'te ve Şekil 3.15'te verilmiştir.




**Şekil 3.13:** MA(K) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri




**Şekil 3.14:** MA(KK) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri




**Şekil 3.15:** MA(KAR) karışımının granülometrisi ve TS 706 referans eğrileri

### 3.2.2.6. Kum

Bu çalışmada kullanılan kum İstanbul – Akpınar'dan temin edilmiştir. Kumun özgül ağırlığı 2,65 gr/cm³ olup bu kuma ait mineralojik ve petrografik analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

Makroskobik İnceleme:

Kum boyutlu (ince taneli) çakılı olmayana malzeme, sarımsı kahve tonlarında, boyut olarak eş taneli görünümlüdür. % 10' luk HCl (asit) ile muamelede köpürme oluşmamıştır. Bu bakımdan karbonat minerali bulunmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca kil boyutlu bileşen görülmemiştir.

Mikroskobik İnceleme:

Kum malzeme örnek binoküler mikroskop altında incelenmesinden elde edilen veriler aşağıdaki gibi sıralanabilir. Malzeme tümüyle kum boyutludur. Kum taneleri yarı yuvarlak, yarı köşeli ve berrak haldedir. Ayrıca temiz, berrak taneler üzerinde çok az manyetit, demiroksit sıvamaları mevcuttur. Kum boyutlu malzemede mineralojik bileşimleri modal (%) olarak aşağıdaki gibi verilmiştir.

Sonuç: Kum malzeme temiz, berrak altere olmamış tanelerden oluşmakta, silisçe "kuvars" kumudur.

Kullanılan kumun mineral bileşimi Tablo 3.20'de verilmiştir.

**Tablo 3.20:** Kumun Mineral Bileşimi

| MİNERAL BİLEŞİM | % ORAN |
|---|---|
| Kuvars | 86 – 92 |
| Feldspat (plajioklas) | 6 – 8 |
| Amfibol+Piroksen | 1 – 2 |
| Gröna | 0,5 |
| Manyetit-Demiroksit | 0,5 – 1 |
| Kayaç parçası | 1 |

Kullanılan kumun elek analizi Tablo 3.21'de verilmiştir.

**Tablo 3.21:** Kumun Elek Analizi

| ELEK AÇIKLIĞI (mm) | ELEKTEN GEÇEN % |
|---|---|
| 31,5 | 100 |
| 16 | 100 |
| 8 | 100 |
| 4 | 100 |
| 2 | 99 |
| 1 | 96 |
| 0,5 | 91 |
| 0,25 | 12 |

### 3.2.3 Kimyasal Katkı

Bu çalışmanın tamamında agrega kökeninin farklılığın öne çıkması için tek tip kimyasal katkı kullanılmıştır. Kullanılan kimyasal katkı modifiye lignosülfonat esaslı bir normal akışkanlaştırıcı katkı olup bütün üretimlerde aynı oranda kullanılmıştır. Kimyasal katkıya ait teknik özellikler Tablo 3.22'de verilmiştir.

**Tablo 3.22:** Kimyasal Katkının Özellikleri

| ÖZELLİK | |
|---|---|
| Yoğunluk (gr/cm³) | 1,16 |
| Ph | 6 |
| Renk-Görünüm | Koyu Kahverenkli |
| Köpüklenme | 0,1 |
| Katı Madde | 34,6 |
| Homojenite | Homojen |

### 3.3. Beton Üretimi

Bu çalışmada her bir agrega türü için sadece doğal kum, sadece kırma kum ve hem doğal kum hem de kırma kum kullanılarak 3 ayrı bileşim hazırlanmış olup toplam 15 seri beton üretilmiştir. Karışımların incelik modülleri 4,04 – 4,08 aralığına uyacak şekilde oluşturulmuştur. Karışıma giren tüm agregalar etüv kurusu halinde kullanılmıştır. Üretimlerin tamamında hedef çökme değeri 14 – 16 cm olarak belirlenmiştir. Üretilen tüm betonlarda kullanılan çimento miktarı sabit olup 290 kg/m³ 'tür. Kimyasal katkı miktarı tüm bileşimlerde çimento ağırlığının % 0,8'i kadar kullanılmıştır. Tüm karışımlar için 35 dm³ beton üretilerek hedef çökme değeri olan minimum 14 cm, maksimum 16 cm aralığında olan karışımlara birim ağırlık deneyi uygulanmış, her bir üretimde 4 adet küp ve 3 adet silindir numune alınmıştır. Her bir karışım için betondaki hava miktarı üretimden önce % 1,7 olarak kabul edilmiş, üretim yapıldıktan sonra taze beton birim ağırlığından gerçek hava ve malzeme miktarları hesaplanmıştır.

Gerçek beton bileşimleri Tablo 3.23'te verilmiştir.

**Tablo 3.23:** Gerçek Beton Bileşimleri

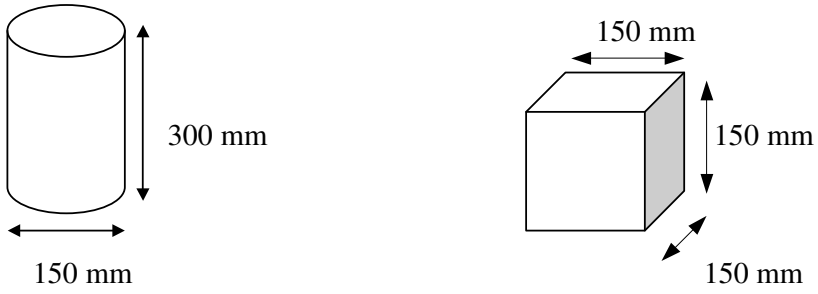
| BETON KODU | Çimento (kg/m³) | Kum (kg/m³) | KırmaKum (kg/m³) | Kırmataş 1 (kg/m³) | Kırmataş 2 (kg/m³) | Su (kg/m³) | Katkı % | Su/Çimento | Hava % | Gerçek Birim Ağırlık (kg/m³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BA(K) | 292 | 717 | 0 | 544 | 680 | 198 | 0,8 | 0,68 | 1,4 | 2433 |
| BA(KK) | 292 | 0 | 909 | 559 | 422 | 232 | 0,8 | 0,79 | 0,9 | 2416 |
| BA(KAR) | 291 | 348 | 482 | 561 | 557 | 200 | 0,8 | 0,69 | 1,5 | 2441 |
| KU(K) | 293 | 710 | 0 | 471 | 682 | 212 | 0,8 | 0,72 | 0,7 | 2370 |
| KU(KK) | 294 | 0 | 1041 | 397 | 363 | 243 | 0,8 | 0,83 | 0,5 | 2340 |
| KU(KAR) | 293 | 341 | 536 | 445 | 524 | 220 | 0,8 | 0,75 | 0,9 | 2361 |
| DO(K) | 293 | 702 | 0 | 616 | 611 | 192 | 0,8 | 0,66 | 1,7 | 2416 |
| DO(KK) | 293 | 0 | 1005 | 485 | 443 | 212 | 0,8 | 0,72 | 1,5 | 2440 |
| DO(KAR) | 293 | 334 | 536 | 578 | 515 | 199 | 0,8 | 0,68 | 0,7 | 2457 |
| BE(K) | 290 | 705 | 0 | 506 | 537 | 225 | 0,8 | 0,78 | 1,6 | 2265 |
| BE(KK) | 287 | 0 | 1092 | 465 | 171 | 236 | 0,8 | 0,82 | 1,3 | 2253 |
| BE(KAR) | 292 | 352 | 544 | 487 | 363 | 232 | 0,8 | 0,79 | 1,0 | 2272 |
| MA(K) | 293 | 720 | 0 | 511 | 642 | 202 | 0,8 | 0,69 | 0,7 | 2370 |
| MA(KK) | 294 | 0 | 1054 | 403 | 365 | 228 | 0,8 | 0,78 | 0,9 | 2346 |
| MA(KAR) | 294 | 349 | 543 | 472 | 508 | 205 | 0,8 | 0,70 | 0,7 | 2373 |

### 3.3.1. Beton Üretiminde İzlenen Yol

Bütün harç üretimleri düşey eksenli karıştırıcılı, kendi ekseni etrafında ortalama 1,5 devir/saniye hızla dönen karıştırma makinesinde yapılmıştır. Çimento ve agregadan oluşan kuru karışım 1 dakika boyunca kuru halde mikserde karıştırılmış, ardından kullanılacak olan suyun yarısı eklenerek 1 dakika süre ile karıştırılmaya devam edilmiş ve son olarak kullanılan kimyasal katkı kalan karışım suyunun içine katılarak harç karışımına eklenmiştir. Toplamda 5 dakika sonunda betonun karışması tamamlanmış olup yeterli homojenlik sağlandıktan sonra çökme deneyi yapılmıştır. Hedef çökme aralığında olan karışımlara önce birim ağırlık deneyi uygulanmış ardından numuneler kalıplara alınmıştır.

### 3.3.2. Üretilen Numunelerin Boyut Ve Şekilleri

Uygun olan karışımlardan 4 adet 150x150x150 mm boyutlarında küp ve 3 adet 150x300 mm boyutlarında silindir numune alınmıştır. Her bir üretimden alınan 7 adet numune 24 saat sonra kalıplarından çıkarılmış, sıcaklığı $21 \pm 2\ ^{0}C$ olan kür havuzunda saklanmıştır. 7. ve 28. günlerin sonunda numuneler sudan çıkarılmış ve sertleşmiş beton deneyleri uygulanmıştır. Alınan numunelerin şekil ve boyutları Şekil 3.16'da verilmiştir.




**Şekil 3.16:** Üretilen Numunelerin Boyut ve Şekilleri

### 3.4. Taze Beton Deneyleri

#### 3.4.1. Çökme Deneyi

Taze beton üzerinde yapılan bu deneyde TS EN 12350–2/Nisan 2002 standardına göre alt çapı 200 mm, üst çapı 100 mm ve yüksekliği 300 mm olan kesik çökme hunisi kullanılmıştır. Huni, yüzeyinde serbest su kalmayacak şekilde nemlendirilip, 3 aşamada doldurularak, her tabaka 25 defa şişlenerek sıkıştırılmıştır. Başlık çıkarıldıktan sonra üst yüzey mala ile düzeltilip, taban yüzeyine dökülen betonlar temizlenmiştir. Daha sonra kalıp yukarıya doğru çekilip, kalıp üst yüzey seviyesi ile çöken beton kütlesinin en yüksek noktası arasındaki çökme mesafesi ölçülmüştür.

#### 3.4.2. Birim Ağırlık Deneyi

Taze betonun gerçek bileşim miktarının belirlenebilmesi için 200 mm çapında ve 200 mm yüksekliğinde 8 lt hacimli birim ağırlık kovası kullanılmıştır. Ölçme kabının içi tamamen suyla doldurularak hava kabarcığı ve fazla suyun giderilmesi için sıyırma levhası ile kapatılıp tartılmıştır. Kalibrasyon işleminden sonra taze beton 3 tabaka halinde doldurularak, her tabaka 25 defa şişlenerek sıkıştırılmıştır. Bu işlemden sonra kabın kenarlarına 10–15 kere tokmakla vurulup beton içinde kalabilecek olan hava kabarcıkları giderilmiştir. Sıyırma levhası ile beton yüzeyinin pürüzlülüğü giderilmiştir. Daha sonra içinde taze beton olan bu kap tartılmıştır. Betonun gerçek birim ağırlığı bulunmuş olup içindeki hava miktarı hesaplanmıştır.

### 3.5. Sertleşmiş Beton Deneyleri

#### 3.5.1. Basınç Dayanımı Deneyi

Sıcaklığı 21±2 $^{0}$C olan su içinde saklanan numuneler 7. ve 28. günler sonunda kür havuzundan çıkarılmıştır. Yüzeylerinin kuruması için 4 saat beklenen 150x150x150 mm boyutlarındaki küp ve 150 mm çaplı 300 mm yükseklikli silindir numuneler, önce ultrases deneyine daha sonra basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuşlardır. Silindir numunelere başlık yapıldıktan sonra deney uygulanmıştır. Numunelerin tümü aynı basınç dayanımı aletinde, sabit yükleme hızında kırılmış,

kırılma yükleri Newton olarak bulunduktan sonra kesit alanlarına bölünerek basınç dayanımları (N/mm²) biriminde hesaplanmıştır.

### 3.5.2. Ultrases Hızı Deneyi

Ultrases hız ölçümü 28. günde küp ve silindir numuneler sudan çıkarılıp kurumaya bırakılmalarından sonra ve basınç deneyi öncesinde gerçekleştirilmiştir. Deneyin yapıldığı yüzeyler arası uzaklık mm olarak ölçüldükten sonra deneye geçilmiştir. Küp numunelerin deneye tabi tutulacak düzgün yüzeylerinden karşılıklı olarak ikisi, silindir numunelerin ise alt ve üst tabanları gres yağı ile yağlanarak deney aleti ile numune yüzeyi arasındaki hava boşluğu giderilmiştir. Ultrases aletinin iki kutbu yağlanan kısımlara dokundurulmuş ve aynı yönlerde bir miktar hareket ettirilerek sesin numuneden geçiş zamanı (μs) biriminde ölçülmüştür. Sesin numuneden geçiş süresi, numunenin boyuna bölünerek ultrases hızı (km/s) biriminde tespit edilmiştir.

### 3.5.3. Elastisite Modülü Deneyi

150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğindeki silindir numunelere basınç deneyi öncesinde, üzerinde kompratör bulunan çerçeve takıldı. Sabit yükleme hızında her 25 kN yüke karşılık gelen düşey yer değiştirme değerleri okundu. Uygulanan gerilmeye karşılık gelen birim deformasyon ilişkisinden oluşturulan, gerilme- şekil değiştirme grafiklerinden elastisite modülleri hesaplandı. Elastisite modülü hesaplanırken gerilme-şekil değiştirme eğrisinde, maksimum yükün % 33'üne kadar olan bölgedeki gerilme şekil değiştirme değerleri kullanıldı.

# 4. DENEY SONUÇLARI İNCELENMESİ

## 4.1. Taze Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

### 4.1.1. Çökme Deneyi Sonuçları

Üretilen betonlara ait çökme deneyi sonuçları Tablo 4.1'de verilmektedir.

**Tablo 4.1:** Çökme Deneyi Sonuçları

| AGREGA TİPİ | NUMUNE KODLARI | | |
|---|---|---|---|
| | K | KK | KAR |
| | Çökme (Slump) (cm) | | |
| BAZALT | 16 | 15,5 | 14,5 |
| KUMTAŞI | 16 | 15,5 | 16 |
| DOLOMİT | 15 | 15,5 | 14 |
| BEYAZ KALKER | 16 | 15 | 15,5 |
| MAVİ KALKER | 16 | 15 | 15 |

Tablo 4.1'den görüldüğü gibi bazalt agregasıyla üretilen betonların kıvam değerleri 14,5–16 cm arasında değişmektedir. BA(K) serisinin su miktarı referans alınırsa, BA(KK) serisinin aynı işlenebilirlikte olabilmesi için %17 ve BA(KAR) serisinin ise %1 daha fazla suya ihtiyaç duyduğu görülmektedir. Kumtaşı agregasıyla üretilen betonların kıvam değerleri 15,5–16 cm arasındadır. Aynı biçimde KU(K) serisinin su miktarı referans alınırsa, aynı işlenebilirlik için KU(KK) serisinin %15 ve KU(KAR) serisinin ise %4 daha fazla suya ihtiyaç duyduğu görülmektedir. Dolomit agregasıyla üretilen betonların kıvam değerleri 14–15,5 cm arasında değişmektedir. DO(K) serisinin su miktarı referans alınırsa aynı işlenebilirlik için, DO(KK) serisinin %10 ve DO(KAR) serisinin ise %4 daha fazla suya ihtiyaç duyduğu görülmektedir. Beyaz kalker agregasıyla üretilen betonların kıvam değerleri 15,5–16 cm arasındadır. BE(K) serisinin su miktarı referans alınırsa aynı işlenebilirlik için, BE(KK) serisinin %5 ve BE(KAR) serisinin ise %3 daha fazla suya ihtiyaç duyduğu görülmektedir. Mavi kalker agregasıyla üretilen betonların

kıvam değerleri 15–16 cm arasındadır. MA(K) serisinin su miktarı referans alınırsa aynı işlenebilirlik için, MA(KK) serisinin %13 ve MA(KAR) serisinin ise %1 daha fazla suya ihtiyaç duyduğu görülmektedir.

### 4.1.2. Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları

Üretilen betonlara ait hava miktarı, teorik ve gerçek birim ağırlık değerleri Tablo 4.2'de verilmektedir.

**Tablo 4.2:** Teorik / Gerçek Birim Ağırlık ve Hava Miktarı

| BETON KODU | TEORİK BİRİM AĞIRLIK (kg/m³) | GERÇEK BİRİM AĞIRLIK (kg/m³) | HAVA MİKTARI % |
|---|---|---|---|
| BA(K) | 2416 | 2433 | 1,4 |
| BA(KK) | 2397 | 2416 | 0,9 |
| BA(KAR) | 2436 | 2441 | 1,5 |
| KU(K) | 2345 | 2370 | 0,7 |
| KU(KK) | 2311 | 2338 | 0,5 |
| KU(KAR) | 2334 | 2361 | 0,9 |
| DO(K) | 2391 | 2416 | 1,7 |
| DO(KK) | 2412 | 2440 | 1,5 |
| DO(KAR) | 2433 | 2457 | 0,7 |
| BE(K) | 2262 | 2265 | 1,6 |
| BE(KK) | 2274 | 2253 | 1,3 |
| BE(KAR) | 2256 | 2272 | 1,0 |
| MA(K) | 2347 | 2370 | 0,7 |
| MA(KK) | 2316 | 2346 | 0,9 |
| MA(KAR) | 2341 | 2373 | 0,7 |

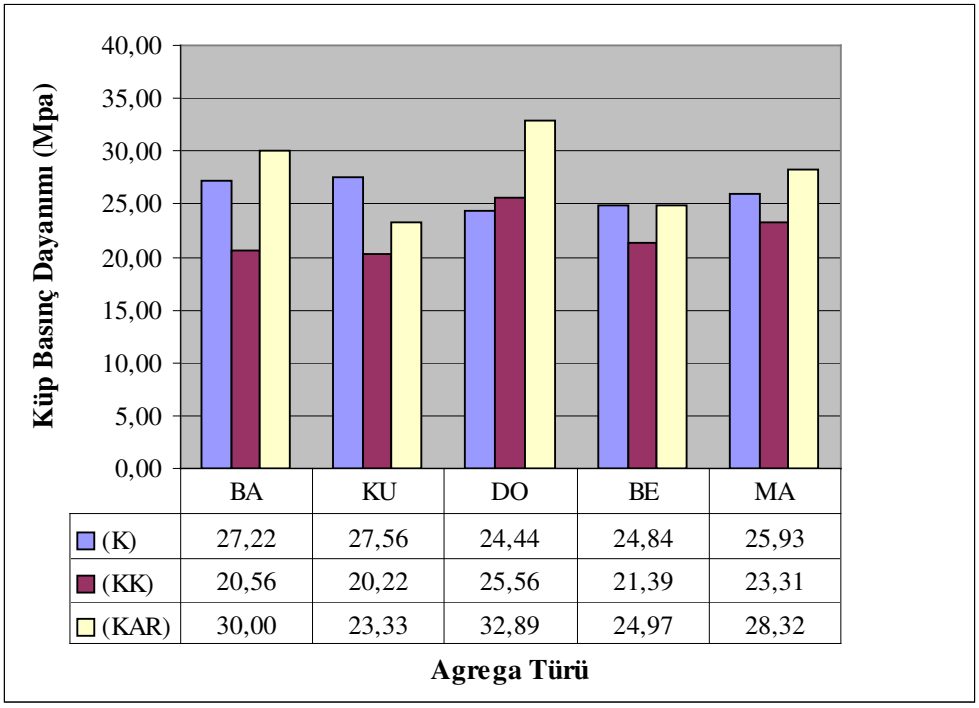
Tablo 4.2'de verilen değerler göz önüne alındığında, beton içerisine giren agregaların özgül ağırlığının yüksek olması, üretilen betonların birim ağırlıklarının yüksek olmasına sebebiyet vermektedir. Bazalt agregası ile üretilmiş betonların birim ağırlıklarının yüksek, beyaz kalker agregası ile üretilmiş betonların birim ağırlıklarının düşük olması da beklenen bir sonuçtur.

### 4.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

#### 4.2.1. Basınç Dayanımı Deneyi

##### 4.2.1.1. 7 Günlük Basınç Deneyi Sonuçları

7. günde yalnızca küp numuneler üzerinde basınç deneyi uygulanmıştır. Bu bölümde deney sonuçları, üretilen her bir seri için hem kendi agrega grubunda hem de diğer agrega gruplarında incelenmiştir. Üretilen betonların 7 günlük küp basınç dayanımları Şekil 4.1'de verilmiştir.




| | BA | KU | DO | BE | MA |
|---|---|---|---|---|---|
| (K) | 27,22 | 27,56 | 24,44 | 24,84 | 25,93 |
| (KK) | 20,56 | 20,22 | 25,56 | 21,39 | 23,31 |
| (KAR) | 30,00 | 23,33 | 32,89 | 24,97 | 28,32 |

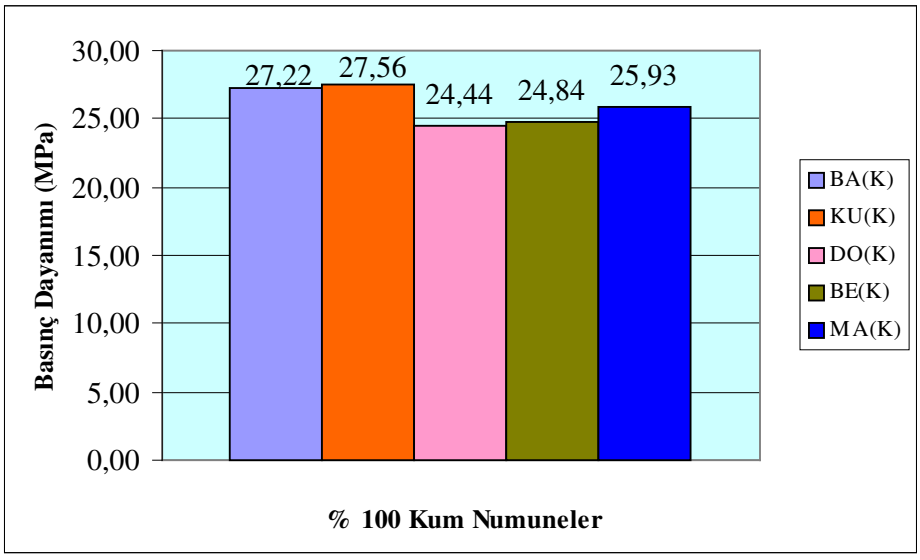
**Şekil 4.1:** 7 Günlük Basınç Deneyi Sonuçları

Şekil 4.1'den görüldüğü gibi,

- BA(K) serisi referans olarak alınırsa; 7 günlük mukavemet sonuçlarında, BA(KK) serisinin %24 daha düşük ve BA(KAR) serisinin %10 daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülmektedir.

- KU(K) serisi referans olarak alınırsa; 7 günlük mukavemet sonuçlarında, KU(KK) serisinin %27 ve KU(KAR) serisinin %15 daha düşük mukavemete sahip olduğu görülmektedir.
- DO(K) serisi referans olarak alınırsa; 7 günlük mukavemet sonuçlarında, DO(KK) serisinin %5 ve DO(KAR) serisinin %35 daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülmektedir.
- BE(K) serisi referans olarak alınırsa; 7 günlük mukavemet sonuçlarında, BE(KK) serisinin %14 daha düşük ve BE(KAR) serisinin ise yaklaşık mukavemete sahip olduğu görülmektedir.
- MA(K) serisi referans olarak alınırsa 7 günlük mukavemet sonuçlarında MA(KK) serisinin %10 daha düşük ve MA(KAR) serisinin %9 daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülmektedir.

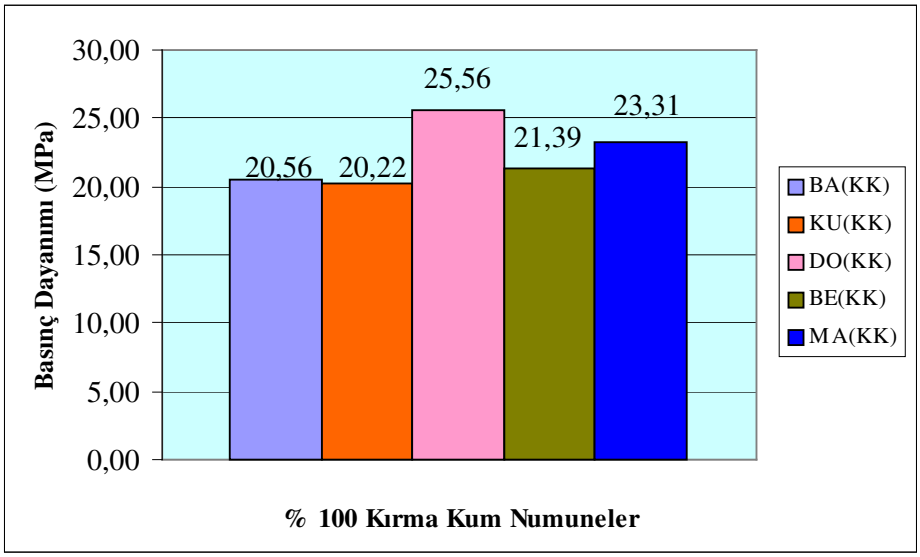
Ayrıca 7 günlük basınç deneyleri doğrultusunda 5 farklı kökenli agreganın yalnızca kum, yalnızca kırma kum ve kum – kırma kum kullanılarak üretilen serileri birbirleriyle kıyaslanmıştır. Bu sonuçlar ise Şekil 4.2'de, Şekil 4.3'te ve Şekil 4.4'te verilmiştir.




**Şekil 4.2:** % 100 Kum İle Üretilen Betonların 7 Günlük Basınç Dayanımları

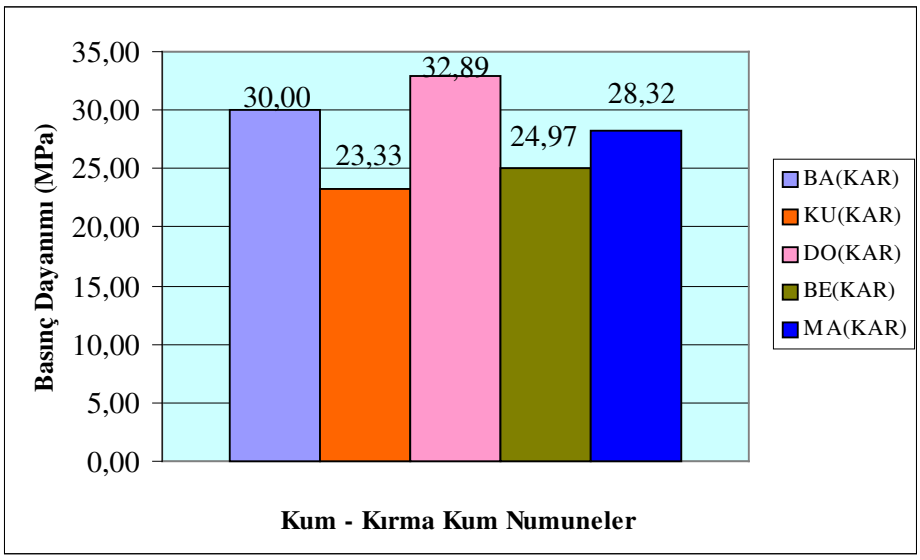
Şekil 4.2'den görüldüğü üzere sadece kum kullanılarak üretilen betonların 7 günlük basınç dayanımlarında en yüksek mukavemet, birbirine yakın iki değer veren bazalt ve kumtaşı agregalarıyla üretilen betonlardadır. Ancak bu grupta incelenen

tüm numuneler birlikte düşünüldüğünde 7 günlük mukavemet sonuçlarının birbirlerine oldukça yakın olduğu gözlemlenmektedir.




**Şekil 4.3:** %100 Kırma Kum İle Üretilen Betonların 7 Günlük Basınç Dayanımları

Şekil 4.3'te verilenler doğrultusunda sadece kırma kum kullanılarak üretilen betonların içinde dolomit numunelerinin 7 günlük basınç dayanımlarının diğerleri içinde en yüksek değere sahip olması, mukavemete etki eden en önemli faktörlerden birisi olan su/çimento oranının, diğerlerine göre daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır.




**Şekil 4.4:** Kum-Kırma Kum İle Üretilen Betonların 7 Günlük Basınç Dayanımları

Bütün agregalar için oluşturulan kum - kırma kum numunelerinin bulunduğu Şekil 4.4'ten görüleceği gibi, kumtaşı agregası dışındaki diğer agregaların 7 günlük dayanımlarında, kum ve kırma kum bir arada kullanılarak üretilen betonların mukavemet değerleri, sadece kum ve sadece kırma kum kullanılarak üretilenlerin betonların mukavemet değerlerinden daha yüksektir.

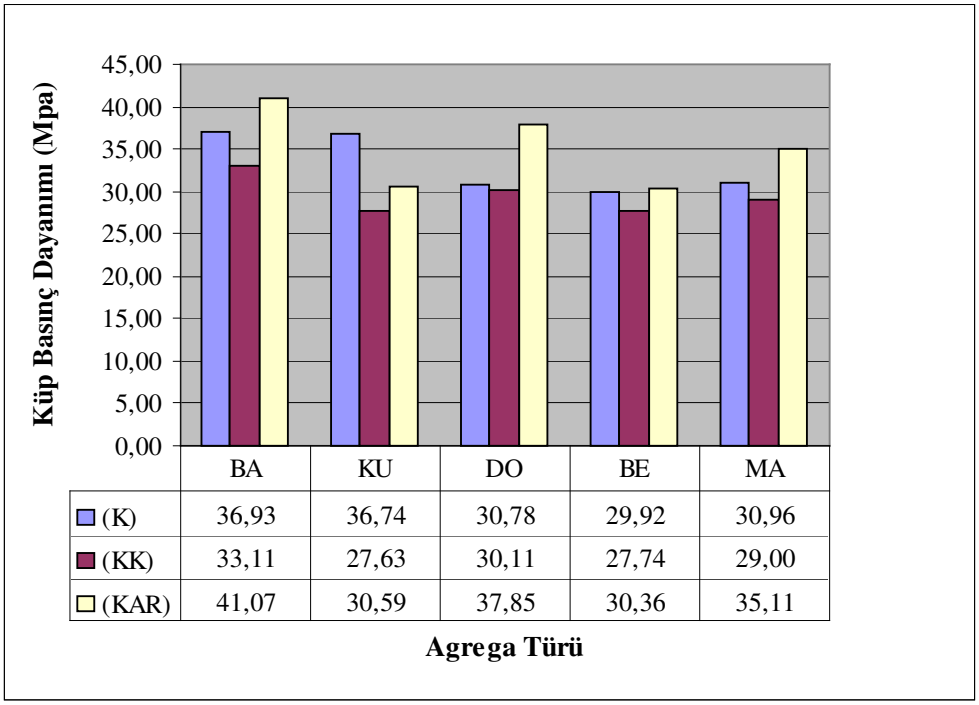
#### 4.2.1.2. 28 Günlük Basınç Deneyi Sonuçları

Üretilen betonların 28 günlük küp ve silindir basınç dayanımları Tablo 4.3'te, küp numunelere uygulanan basınç deneyi sonuçları Şekil 4.5'te ve silindir numunelere uygulanan basınç deneyi sonuçları Şekil 4.6'da verilmiştir.

**Tablo 4.3:** 28 Günlük Basınç Deneyi Sonuçları

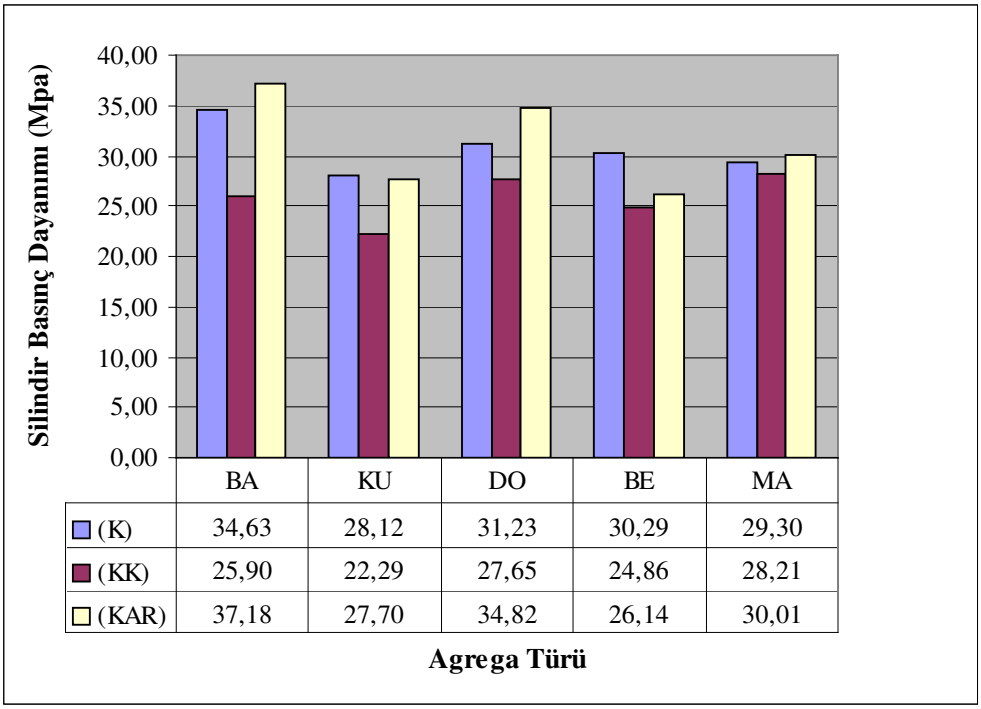
| Numune Kodu | Silindir Basınç Dayanımı (Mpa) | Küp Basınç Dayanımı (Mpa) | Silindir/Küp Oranı |
|---|---|---|---|
| BA(K) | 34,63 | 36,93 | 0,94 |
| BA(KK) | 25,90 | 33,11 | 0,78 |
| BA(KAR) | 37,18 | 41,07 | 0,91 |
| KU(K) | 28,12 | 36,74 | 0,77 |
| KU(KK) | 22,29 | 27,63 | 0,81 |
| KU(KAR) | 27,70 | 30,59 | 0,91 |
| DO(K) | 31,23 | 30,78 | 1,01 |
| DO(KK) | 27,65 | 30,11 | 0,92 |
| DO(KAR) | 34,82 | 37,85 | 0,92 |
| BE(K) | 30,29 | 29,92 | 1,01 |
| BE(KK) | 24,86 | 27,74 | 0,90 |
| BE(KAR) | 26,14 | 30,36 | 0,86 |
| MA(K) | 29,30 | 30,96 | 0,95 |
| MA(KK) | 28,21 | 29,00 | 0,97 |
| MA(KAR) | 30,01 | 35,11 | 0,85 |

Tablo 4.3'ten görüldüğü gibi genelde küp numuneler, geçmiş yıllardaki çalışmalarda olduğu gibi, silindir numunelerden daha yüksek sonuç vermektedir.




| | BA | KU | DO | BE | MA |
|---|---|---|---|---|---|
| (K) | 36,93 | 36,74 | 30,78 | 29,92 | 30,96 |
| (KK) | 33,11 | 27,63 | 30,11 | 27,74 | 29,00 |
| (KAR) | 41,07 | 30,59 | 37,85 | 30,36 | 35,11 |

**Şekil 4.5:** Küp Numunelerin 28 Günlük Basınç Dayanımları




| | BA | KU | DO | BE | MA |
|---|---|---|---|---|---|
| (K) | 34,63 | 28,12 | 31,23 | 30,29 | 29,30 |
| (KK) | 25,90 | 22,29 | 27,65 | 24,86 | 28,21 |
| (KAR) | 37,18 | 27,70 | 34,82 | 26,14 | 30,01 |

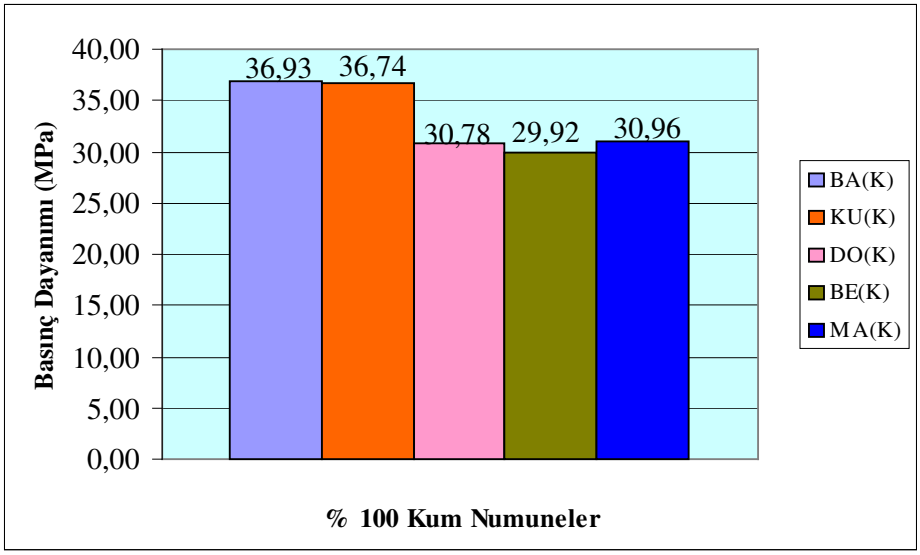
**Şekil 4.6:** Silindir Numunelerin 28 Günlük Basınç Dayanımları

Tablo 4.3, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'dan görüleceği gibi 28 günlük silindir ve küp basınç dayanımlarının farklı kökenli agregalara göre değişiminin birbirine benzer olduğu söylenebilir. Tablo 4.3 ve Şekil 4.5'teki 28 günlük küp basınç mukavemetlerinden görüldüğü gibi,

- BA(K) serisi referans olarak alınırsa; BA(KK) serisinin %10 daha düşük ve BA(KAR) serisinin %11 daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülmektedir. Bazalt agregası kullanılarak yapılacak üretimlerde kum ve kırma kumun bir arada kullanılmasının daha faydalı olduğu düşünülmektedir.
- KU(K) serisi referans olarak alınırsa; KU(KK) serisinin %25 ve KU(KAR) serisinin %17 daha düşük mukavemete sahip olduğu görülmektedir. Kumtaşı agregası ile üretilen betonlarda ince agrega olarak kırma kum kullanılmasının uygun olmayacağı, bu agrega ile yalnızca kum kullanılmasının daha yararlı olduğu düşünülmektedir.
- DO(K) serisi referans olarak alınırsa; DO(KK) serisinin %2 daha düşük ve DO(KAR) serisinin %23 daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülmektedir. Dolomit agregası ile üretilen betonlar için kum ve kırma kumun bir arada kullanıldığı karışımın seçilmesinin daha yararlı olduğu düşünülmektedir.
- BE(K) serisi referans olarak alınırsa; BE(KK) serisinin %7 daha düşük ve BE(KAR) serisinin %1 daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülmektedir. Beyaz kalker agregası kullanılarak üretilen betonlarda yalnızca kum veya kum-kırma kum birlikte kullanılması durumlarında önemli bir değişiklik olmadığı için, ekonomik olan karışımın seçilmesi gerektiği düşünülmektedir.
- MA(K) serisi referans olarak alınırsa; MA(KK) serisinin %6 daha düşük ve MA(KAR) serisinin %13 daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülmektedir. Mavi kalker agregası ile yapılan betonlarda kum ve kırma kumun birlikte kullanılmasının daha yararlı olacağı düşünülmektedir.

Bu bölümde, 7 günlük mukavemet sonuçlarının incelenmesinde izlenen yol doğrultusunda, yalnızca kum, yalnızca kırma kum ve her ikisi de kullanılarak üretilen betonlar ayrıca karşılaştırılmıştır.

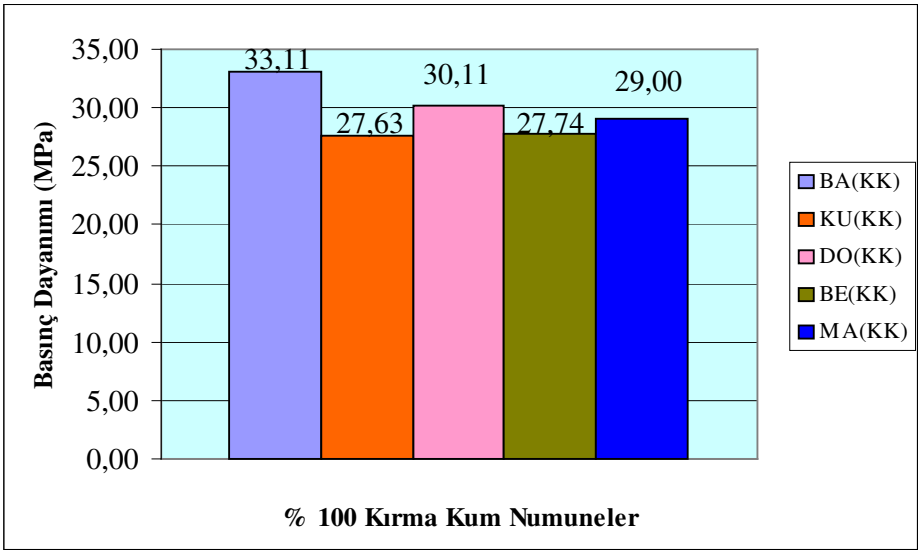
Yalnızca kum kullanılarak üretilen numunelere ait küp basınç dayanımları Şekil 4.7'de verilmiştir.




**Şekil 4.7:** % 100 Kum İle Üretilen Betonların 28 Günlük Basınç Dayanımları

Şekil 4.7'den, yalnızca kum kullanılarak üretilen betonların 7 günlük sonuçlarda olduğu gibi, 28 günlük sonuçlarda da en yüksek mukavemeti yine bazalt ve kumtaşı agregaları ile üretilen betonlar vermiştir.

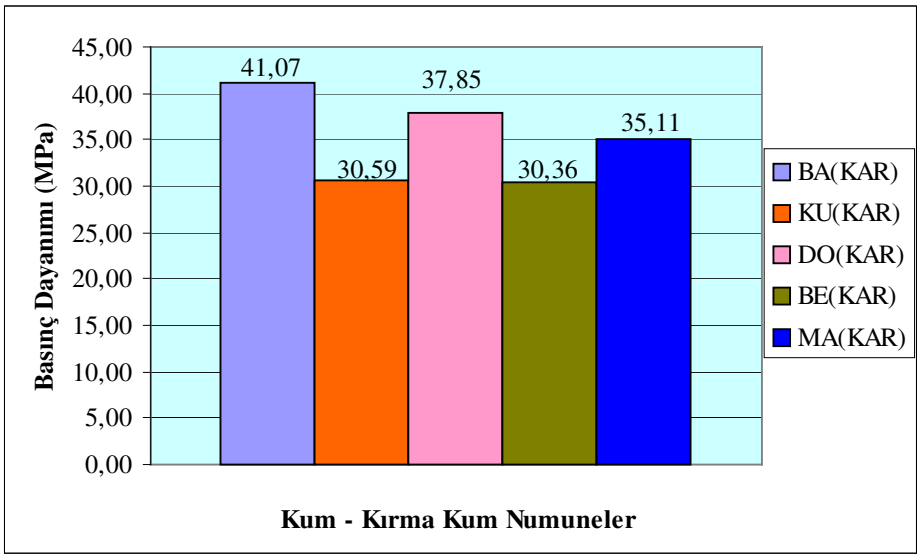
Yalnızca kırma kum kullanılarak üretilen numunelere ait küp basınç dayanımları Şekil 4.8'de verilmiştir.




**Şekil 4.8:** % 100 Kırma Kum İle Üretilen Betonların 28 Günlük Basınç Dayanımları

Şekil 4.8'den görüldüğü gibi yalnızca kırma kum kullanılarak üretilen betonlarda kumtaşı ve beyaz kalker agregaları en düşük basınç dayanımına sahiptir. Burada da yine aynı işlenebilirliğin sağlanabilmesi için ihtiyaç duyulan su miktarının artmış olması bu sonuçların en önemli sebebi olarak gösterilebilir.

Kum ve kırma kum bir arada kullanılarak üretilen numunelere ait küp basınç dayanımları Şekil 4.9'da verilmiştir.




**Şekil 4.9:** Kum - Kırma Kum İle Üretilen Betonların 28 Günlük Basınç Dayanımları

Şekil 4.9'dan görüldüğü gibi hem kum hem de kırma kum kullanılarak üretilen betonların içinde 28. günde yapılan basınç dayanımı deneyi doğrultusunda, en yüksek mukavemeti veren agreganın bazalt agregası olduğu görünmektedir. Burada su/çimento oranının düşük olduğu betonların daha yüksek mukavemet verdiği bir kez daha doğrulanmıştır. Ayrıca beton karışımına giren malzemelerin farklı boyutlarda olmasının, beton içindeki boşlukları azaltarak, mukavemeti arttırması yönündeki etkisi de göz önünde bulundurulmalıdır.

#### 4.2.1.3. 7 ve 28 Günlük Basınç Deneylerinin Karşılaştırılması

Üretilen betonlardan alınan küp numunelere 7. ve 28. günlerin sonunda uygulanan basınç deneyleri arasındaki ilişki Tablo 4.4'te verilmiştir.

**Tablo 4.4:** Küp Numunelerin 7/28 Oranları

| NUMUNE KODU | 7 GÜNLÜK KÜP BASINÇ DAYANIMI (MPa) | 28 GÜNLÜK KÜP BASINÇ DAYANIMI (MPa) | 7/28 ORANLARI |
|---|---|---|---|
| BA(K) | 27,22 | 36,93 | 0,74 |
| BA(KK) | 20,56 | 33,11 | 0,62 |
| BA(KAR) | 30,00 | 41,07 | 0,73 |
| KU(K) | 27,56 | 36,74 | 0,75 |
| KU(KK) | 20,22 | 27,63 | 0,73 |
| KU(KAR) | 23,33 | 30,59 | 0,76 |
| DO(K) | 24,44 | 30,78 | 0,79 |
| DO(KK) | 25,56 | 30,11 | 0,85 |
| DO(KAR) | 32,89 | 37,85 | 0,87 |
| BE(K) | 24,84 | 29,92 | 0,83 |
| BE(KK) | 21,39 | 27,74 | 0,77 |
| BE(KAR) | 24,97 | 30,36 | 0,82 |
| MA(K) | 25,93 | 30,96 | 0,84 |
| MA(KK) | 23,31 | 29,00 | 0,80 |
| MA(KAR) | 28,32 | 35,11 | 0,81 |

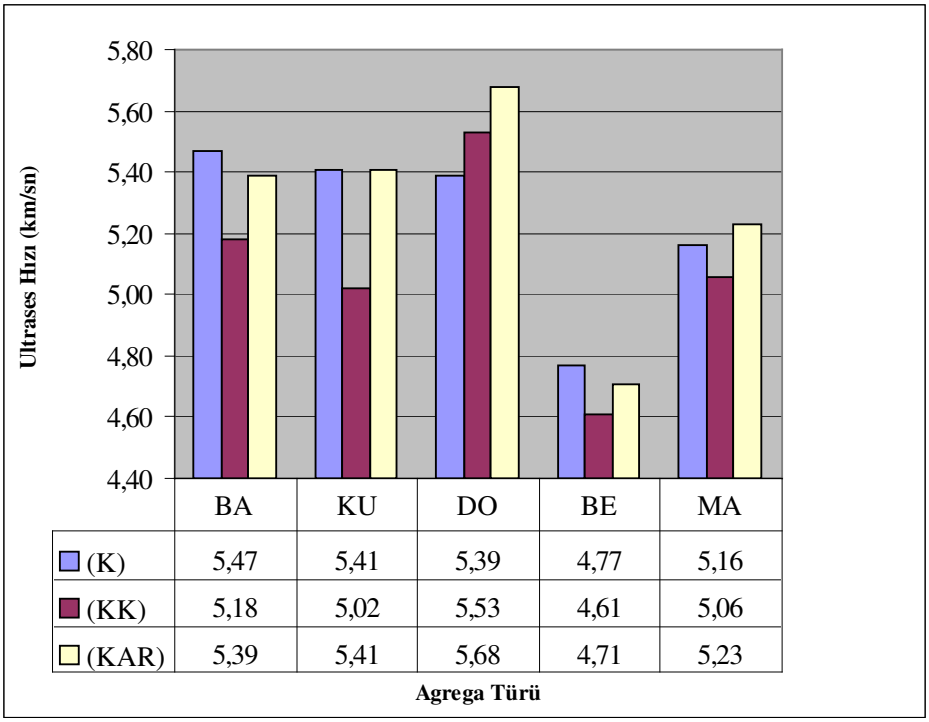
Tablo 4.4'te verilen sonuçlar doğrultusunda en yüksek 7/28 oranının 0,87 ile DO(KAR) numunesinde, en düşük 7/28 oranının ise 0,62 ile BA(KK) numunesinde olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre, bazalt ve kumtaşı agregaları kullanılarak üretilen betonların, ilk günlerdeki basınç dayanımlarının daha yavaş gelişmekte olduğu söylenebilir.

### 4.2.2. Ultrases Hızı Deneyi

Üretilen betonlardan alınan hem küp hem de silindir numunelere, 28. günün sonunda basınç dayanımı deneyi öncesinde ultrases hızı deneyi uygulanmıştır.

#### 4.2.2.1. Küp Numunelere Uygulanan Ultrases Deneyi Sonuçları

Üretilen küp numunelere uygulanan ultrases hızı deney sonuçları Şekil 4.10'da verilmiştir.

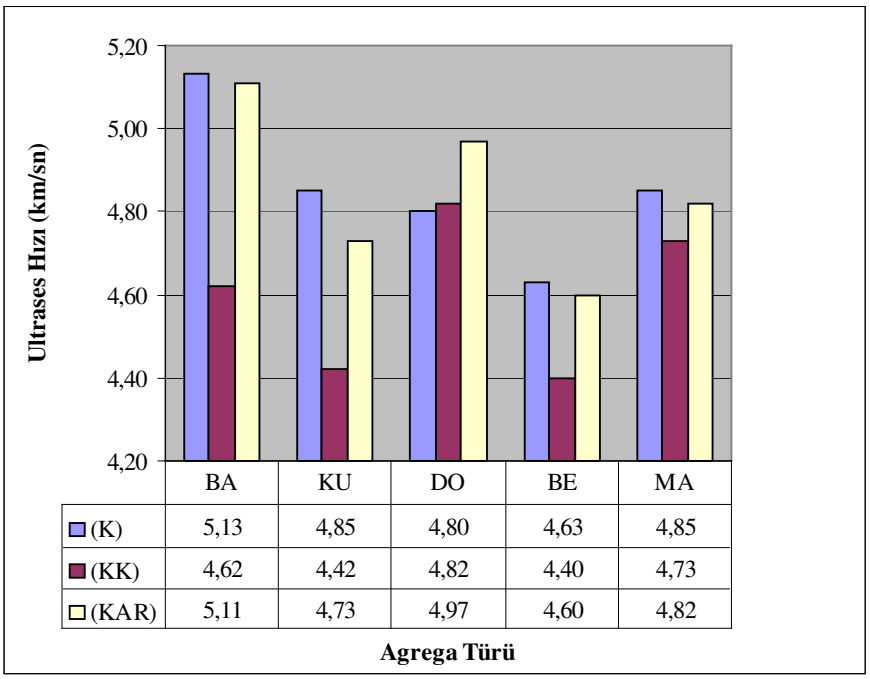



| | BA | KU | DO | BE | MA |
|---|---|---|---|---|---|
| (K) | 5,47 | 5,41 | 5,39 | 4,77 | 5,16 |
| (KK) | 5,18 | 5,02 | 5,53 | 4,61 | 5,06 |
| (KAR) | 5,39 | 5,41 | 5,68 | 4,71 | 5,23 |

**Şekil 4.10:** Küp Numunelere Uygulanan Ultrases Hızı Deneyi Sonuçları

#### 4.2.2.2. Silindir Numunelere Uygulanan Ultrases Deneyi Sonuçları

Üretilen silindir numunelere uygulanan ultrases hızı deney sonuçları Şekil 4.11'de verilmiştir.




| | BA | KU | DO | BE | MA |
|---|---|---|---|---|---|
| (K) | 5,13 | 4,85 | 4,80 | 4,63 | 4,85 |
| (KK) | 4,62 | 4,42 | 4,82 | 4,40 | 4,73 |
| (KAR) | 5,11 | 4,73 | 4,97 | 4,60 | 4,82 |

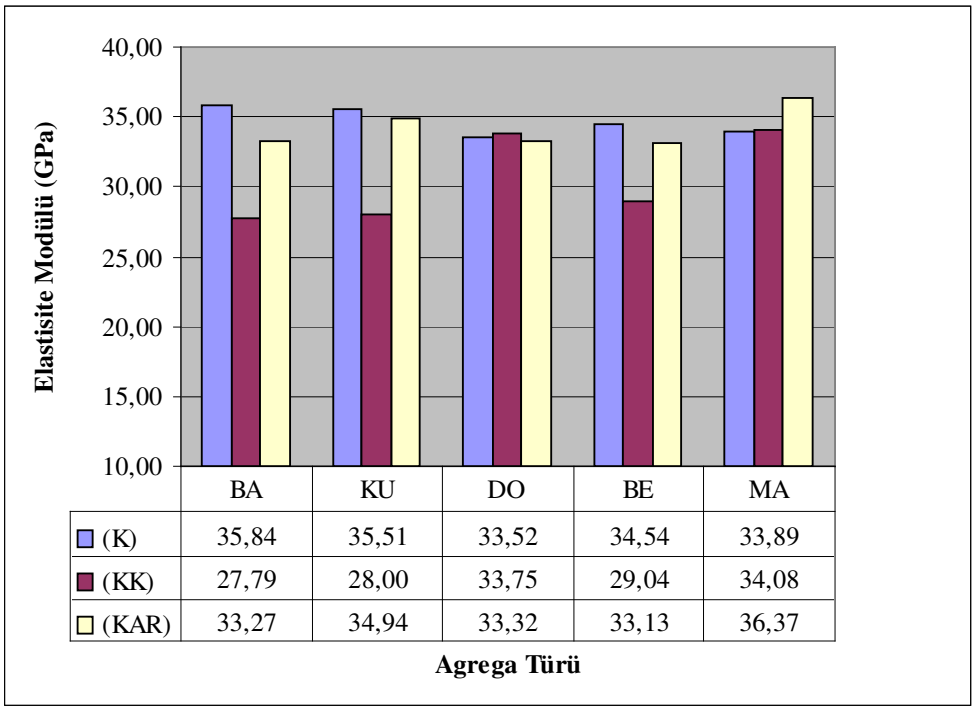
**Şekil 4.11:** Silindir Numunelere Uygulanan Ultrases Hızı Deneyi Sonuçları

Genel olarak çok yüksek hızların ( >4570 m/s) çok kaliteli betonun göstergesi ve çok düşük hızların da (< 3050 m/s) kalitesiz betonun göstergesi olduğu bilinmektedir. Buna göre üretilen betonların tamamı kaliteli beton sınıfına girebilmektedir.

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'den, küp ve silindir numuneler birlikte incelendiğinde en düşük ultrases hızının BE(KK) numunelerinde olduğu gözlenmiştir. Bu serinin beton karışımına giren su miktarının yüksek olması nedeniyle, betona çimentonun hidratasyonu için ihtiyaç duyulandan daha fazla suyun koyulmasının buharlaşmaya neden olup yerini boşluğa bırakabileceğinden dolayı, bu numunelerin ultrases hızlarının düşük olabileceğini düşündürmektedir. Silindir numunelerde en yüksek ultrases hızını BA(K) numunelerinin, küp numunelerde ise DO(KAR) numunelerinin en yüksek ultrases hızına sahip olduğu görülmektedir. Basınç dayanımlarında en yüksek sonuçları veren iki serinin ultrases hızlarının yüksek olması ise yine su/çimento oranının düşüklüğü ve az boşluklu yapı ile açıklanabilir. Su/çimento oranının yükselmesiyle ultrases hızının düşmesi, kaynaklar ile benzer sonuçlar vermektedir.

### 4.2.3. Elastisite Modülü Deneyi

Üretilen numunelere uygulanan deneyler sonucunda elde edilen elastisite modülü değerleri Şekil 4.12'de verilmiştir.




| | BA | KU | DO | BE | MA |
|---|---|---|---|---|---|
| (K) | 35,84 | 35,51 | 33,52 | 34,54 | 33,89 |
| (KK) | 27,79 | 28,00 | 33,75 | 29,04 | 34,08 |
| (KAR) | 33,27 | 34,94 | 33,32 | 33,13 | 36,37 |

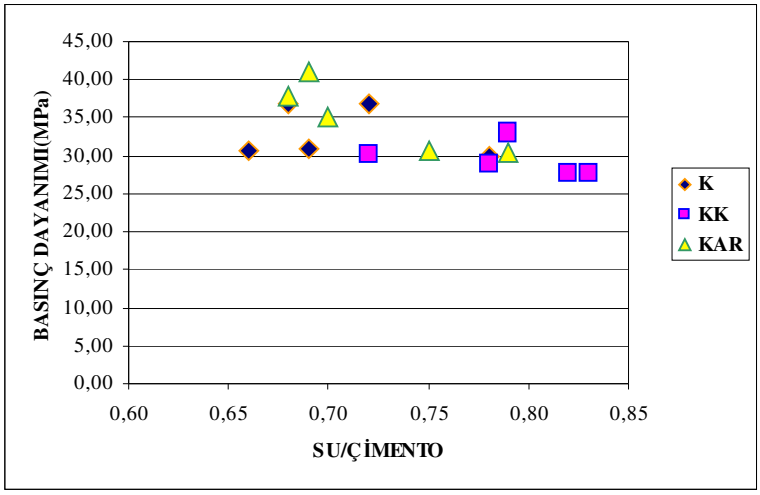
**Şekil 4.12:** Elastisite Modülü Deneyi Sonuçları

Şekil 4.12'den görüldüğü gibi, bazalt, kumtaşı ve beyaz kalker agregaları kullanılarak üretilen kırma kum serilerinin elastisite modülleri, kendi agrega grubu içindeki en düşük değerlere sahiptir. Bunun sebebi olarak, su/çimento oranının artması sonucu basınç mukavemeti düşük olan betonların elastisite modüllerinin de düşük olacağı gösterilebilir. Basınç mukavemetlerinin birbirine yakın olduğu dolomit ve mavi kalker kökenli agregalarla üretilen serilerde, elastisite modüllerinin de birbirine yakın olduğu söylenebilir.

## 4.3. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

### 4.3.1. Su/Çimento Oranı İle Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki

Üretilen betonlardan alınan küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımlarının, su/çimento oranı ile değişimi kullanılan ince agrega içeriklerine göre Şekil 4.13'te verilmiştir.

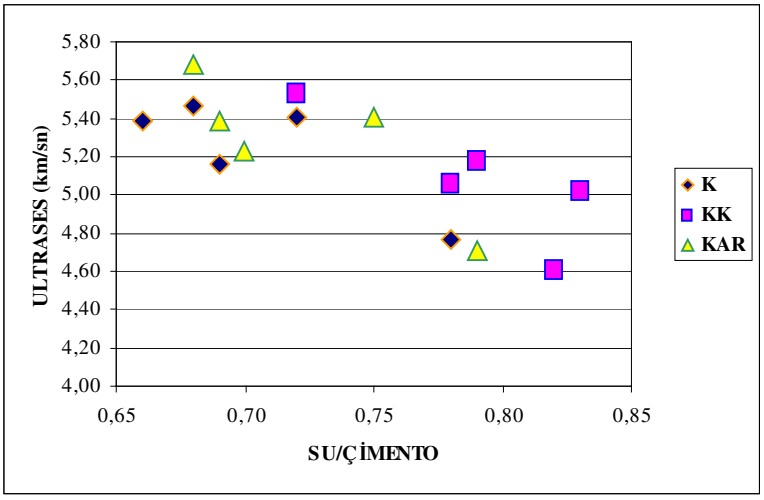



**Şekil 4.13:** Su/Çimento Oranı İle Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki

Üretilen betonların su/çimento oranlarının birbirine yakın olduğu halde, Şekil 4.13'ten görüldüğü gibi su/çimento oranının artması genel olarak basınç mukavemetini düşürmektedir. Sadece kırma kum ile üretilen serilerin daha düşük basınç dayanımlarına sahip olması su/çimento oranlarının daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

### 4.3.2. Su/Çimento Oranı İle Ultrases Hızı Arasındaki İlişki

Üretilen betonlardan alınan küp numunelerin ultrases hızlarının, su/çimento oranı ile değişimi Şekil 4.14'te verilmiştir.

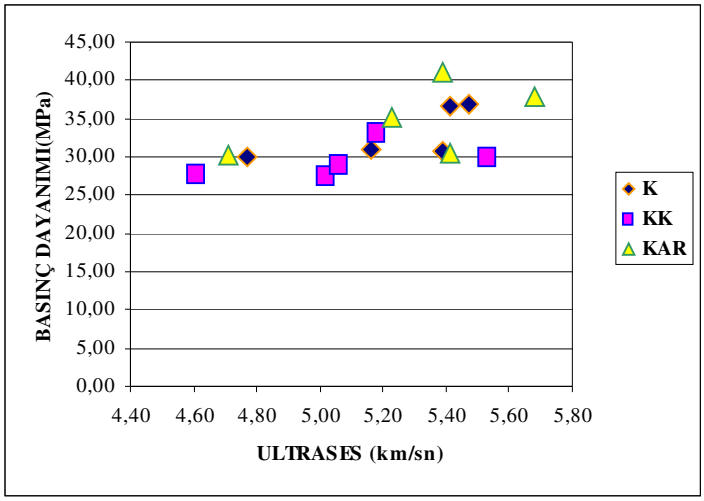



**Şekil 4.14:** Su/Çimento Oranı İle Ultrases Hızı Arasındaki İlişki

Şekil 4.14'ten görüldüğü üzere artan su/çimento oranı ultrases hızını düşürmektedir. Ultrases hızı, sesin beton içinden geçme hızı olduğundan boşluklu betonda daha düşük, boşluksuz betonda daha yüksek olması beklenir. Su/çimento oranının artması numunedeki boşlukların artmasına neden olduğundan, ultrases hızının düşmesine sebep olmaktadır.

### 4.3.3. Ultrases Hızı İle Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki

Üretilen betonlardan alınan küp numunelerin ultrases hızlarının, basınç dayanımı ile değişimi kullanılan kum, kırma kum, kum-kırma kum içeriklerine göre Şekil 4.15'te verilmiştir.

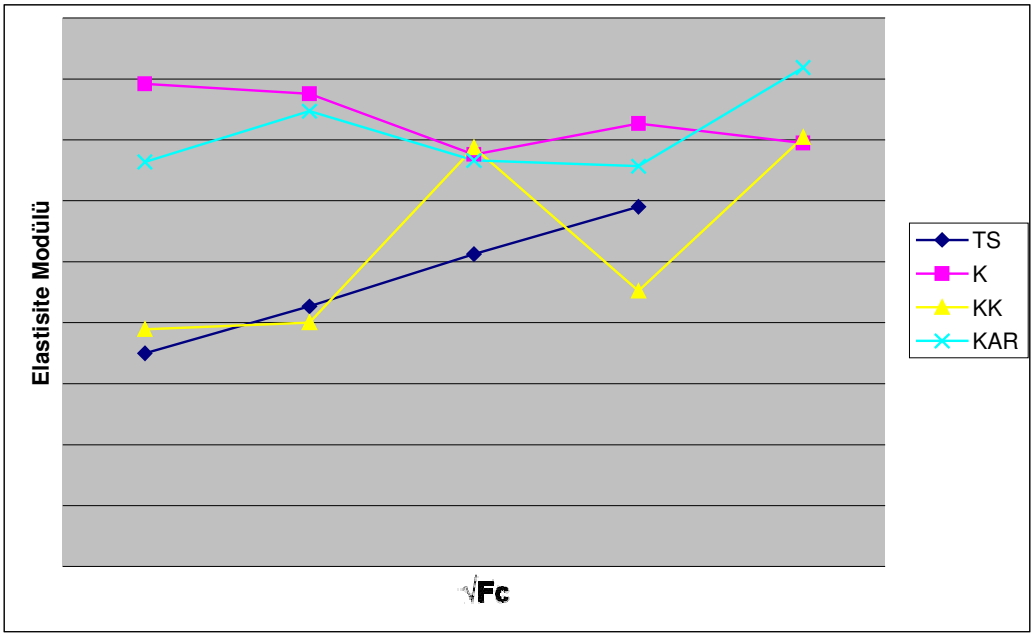



**Şekil 4.15:** Ultrases Hızı İle Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki

Şekil 4.15'ten; basınç dayanımının artmasıyla ultrases hızının yükseldiği görülmektedir. Su/çimento oranının artması basınç mukavemetini ve ultrases hızını düşürdüğü için, artan ultrases hızının basınç dayanımının da yükselmesine neden olacağı söylenebilir.

### 4.3.4. Elastisite Modülü İle Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki

Üretilen betonlardan alınan silindir numunelerin elastisite modüllerinin basınç dayanımı ile değişimi kullanılan kum, kırma kum, kum-kırma kum içeriklerine göre Şekil 4.16'da verilmiştir.




**Şekil 4.16:** Elastisite Modülü İle Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki

Şekil 4.16 'dan görüldüğü gibi kırma kum kullanılarak yapılan üretimlerin elastisite modülleri ile basınç dayanımlarının karekökü arasındaki değişimin TS ile yakın değerler verdiği görülmüştür.

# 5. GENEL SONUÇLAR

Yapılan bu çalışma şartlarına göre elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

## 5.1. Taze Beton Özellikleri İle İlgili Sonuçlar

- Kum malzemesi yerine kırma kum kullanılması durumunda, aynı işlenebilirliğin sağlanabilmesi için gereken su miktarı artmaktadır.
- Kullanılan agreganın kökenine bağlı olarak, özgül ağırlığı yüksek olan agreganın betonda kullanılması durumunda, betonun birim ağırlığının da yükseldiği görülmüştür.

## 5.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri İle İlgili Sonuçlar

- Su/çimento oranının artması, sertleşmiş beton özelliklerinden basınç dayanımı, ultrases ve elastisite modüllerini düşürmektedir.
- Bazalt ve kumtaşı agregaları ile üretilen betonların ilk günlerdeki basınç dayanımı gelişiminin, diğer agregalara göre daha yavaş olduğu görülmüştür.
- Özgül ağırlığı diğerlerine göre nispeten daha yüksek olan bazalt agregasıyla yapılan kum-kırma kum üretimlerinin basınç dayanımı sonuçlarının başarılı olmasında, kayacın sık dokulu, boşluksuz ve daha az su gereksinimi duyan yapısının etkisi olumlu olmaktadır.
- Bazalt agregası kullanılarak yapılan üretimlerde kum ve kırma kumun bir arada kullanılmasının basınç mukavemetini yükselttiği göz önüne alınarak, bu agrega ile yapılacak üretimlerde her iki ince agreganın birlikte kullanılmasının daha faydalı olacağı düşünülmektedir.
- Kumtaşı agregası ile üretilen betonlarda ince agrega olarak kırma kum kullanılmasının yerine, yalnızca kum kullanılmasının daha yararlı olduğu ortaya çıkmaktadır.

- Dolomit agregası ile üretilen betonlar için kum ve kırma kumun bir arada kullanıldığı karışımın seçilmesinin daha yararlı olduğu söylenebilir.
- Beyaz kalker agregası kullanılarak üretilen betonlarda yalnızca kum veya kum-kırma kum birlikte kullanılması durumlarında önemli bir fark olmadığı görülmektedir.
- Mavi kalker agregası ile yapılan betonlarda kum ve kırma kumun birlikte kullanılmasının daha yararlı olacağı düşünülmektedir.
- Her bir agrega grubu için, yalnızca kırma kum kullanılarak üretilen betonların ultrases hızlarının, yalnızca kum veya kum-kırma kum birlikte kullanılarak üretilen betonların ultrases hızlarına göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Kırma kumla yapılan üretimlerde su/çimento oranının yüksek olması bu sonuçta etkilidir.
- Yalnızca kırma kum kullanılarak üretilen betonların elastisite modüllerinin, yalnızca kum ve kum–kırma kum karışımlarının elastisite modüllerinden daha düşük olduğu söylenebilir. Her bir agrega grubu içinde basınç dayanımları birbirine yakın olan numunelerin, elastisite modülleri arasında önemli bir fark olmadığı görülmüştür.

# KAYNAKLAR


**[1] Kocataşkın, F.,** 1991. Betonun Dünü Bugünü Yarını, 2. Ulusal Beton Kongresi, Yüksek Dayanımlı Beton, Kardeşler Matbaası, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası s.23–42.

**[2] Erdoğan, Y.T.,** 1995. Betonu Oluşturan Malzemeler Agregalar, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul.

**[3] Draffin, J.O.,** 1943. A Brief History of Lime, Cement, Concrete and Reinforced Concrete, Journal of the Western Society of Engineers, Vol. 48, March, pp. 14–47.

**[4] Bye, G.C.,** 1983. Portland Cement, Pergamon Press, Oxford.

**[5] Akman, S.,** 1977. Yapı Malzemeleri, İ.T.Ü Cilt 35, Sayı 3, İstanbul.

**[6] Şengül, Ö., Taşdemir, C., Koruç, Ş., Yüceer, Z.,** 2003. Agrega Türünün Farklı Beton Sınıflarının Aşınma Dayanımına Etkisi, 5. Ulusal Beton Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, s.525–534 , İstanbul.

**[7] Neville, A.M.,** 1981. Properties Of Concrete, Third Edition, Longman Scientific and Technical.

**[8] Gülşahin, S., Akkaya, Y.,** 2006. Taze Betonda Segregasyonun Ölçülmesi ve Sertleşmiş Beton Özelliklerine Etkisi, Sika Teknik Bülten, Sayı:2, İstanbul.

**[9] Wong, G.S., Alexander, M.A., Haskins, R., Poole, T., Malone, P.G. and Wakeley, L.,** 2001. Portland Cement Concrete Rheology and Workability, Final Report, USAE Research and Development Center.

**[10] ACI Committee 116,** 1994. Cement and Concrete Terminology, ACI Manual of Concrete Practice, Part 1.

**[11] Shah, S.P., Winter, G.,** 1968, Inelastic Behavior and Fracture of Concrete, Symp. on Causes, Mechanism and Control of Cracking in Concrete, ACI Special Publication, Volume 20, January, pp.5–28.

**[12] Mehta, P. K., Monteiro P.J.M.,** 1997. Concrete Microstucture, Properties and Materials. Chapter: 8, Admixtures, Indian Concrete Institute, Chennai, pp.256–271

**[13] Yeğinboğalı, A.,** 1999. Betonun Dayanıklılığı, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Çimento ve Beton Araştırma Geliştirme, s.1–21 , Ankara.

**[14] Massazza, F.,** 2004. Durability of Concrete and Servic Life of Structures: Two Solvable Problems, Beton 2004 Kongresi Bildirileri, THBB Yayını, pp:88–105 , Haziran, İstanbul.

**[15] Kılınçkale, F., Girginkardeşler, S.,** 2006. Betonun Dayanıklılığını Etkileyen Etkenler, Hazır Beton, THBB Yayını, Eylül-Ekim, s. 48–53 , İstanbul.

**[16] Copeland, L.E., Bragg, R.H.,** 1953. Determination of $Ca(OH)_2$ in Hardened Pastes with X-ray Spectrometer, Port. Cem. Assoc. Rep., Chicago.

**[17] Postacıoğlu, B.,** 1986. Beton, Cilt 1- Bağlayıcı Maddeler, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.

**[18] Jennings, H.M.,** 1998. Design Of High Strength Cement Based Materials, Part2: Microstructure, Materiels Science And Technology.

**[19] Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H.,** 2002. Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite), Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, Yayın No:298.

**[20] Popovics, S.,** 1992. Concrete Materials, Properties, Specifications and Testing, Second Edition.

**[21] Postacıoğlu, B.,** 1987. Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton, Cilt 2, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.

**[22] Erdoğan, Y.T.,** 2003. Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayını, Ankara.

**[23] Şimşek, O.,** 2004. Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayıncılık, Ankara.

**[24] ASTM C 29,** 1994. Standard Test Method For Spesific Gravity and Unit Weight and Voids in Aggregate, Annual Book of ASTM Standards.

**[25] Özkul, H., Taşdemir, M.A., Tokyay, M., Uyan, M.,** 1999. Meslek Liseleri İçin Her Yönüyle Beton, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul.

**[26] TS 706**, 1980. Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

**[27] Mindess, S., Young, J.F.,** 1981. Concrete, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.

**[28] Hansen, W.C.,** 1967. Basic Chemistery of Reactions of Aggregates in Portland Cement Concrete, J. of Materials, Vol. 2, No. 2, June

**[29] Bloem, D.L., Gaynor, R.D.** 1963. Effects of Aggregate Properties on Strength of Concrete, Journal of American Concrete Inst., Volume:60, pp.1429–1456, October.

**[30] Yıldırım, H.,** 1995. Agrega Konsantrasyonunun Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**[31] TS EN 934–2**, 2002. Kimyasal Katkılar-Beton, Harç ve Şerbet İçin – Bölüm 2: "Beton Katkıları Tarifler, Özellikler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme" Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

**[32] Akman, M.S.,** 1996. Kimyasal Katkıların Betona Uygulanması, 4. Ulusal Beton Kongresi, s.1-11, 30 Ekim-1 Kasım, İstanbul.

**[33] Pailerre, A.M., Ben Basat, M., Akman, M.S.,** 1992. Guide for Admixture in Concrete.

**[34] ASTM C 494,** 1994. Standard Specification of Chemical Admixtures for Concrete, Annual Book of ASTM Standards.

**[35] Uyan. M.,** 1982. Isıl İşlem Uygulaması İle Birlikte Katkı Kullanımının Beton Özelliklerine Etkisi, Doçentlik Tezi, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul.

**[36] Yıldırım, H., ve Ark.,** 1996. Süper ve Normal Akışkanlaştırıcı Katkıların Çimento ile Uyumu, 4. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul.

**[37] Neville, A.M., Brooks, J.J.,** 1987. Concrete Technology, Longman Scientific and Technical, pp.155.

**[38] Akman, S.,** 1990. Yapı Malzemeleri, İ.T.Ü, İnşaat Fakültesi Matbaası.

**[39] Bryce, J.R.G.,** 1980. Sulfite Pulping in Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology, Ed.J.P. Casey, Wiley, pp.291-376, New York.

**[40] Özkul, H., Şahin, Y.E., Sağlam, A.R., Parlak, N.,** 2003. Farklı Kimyasal Kökenli Lignosülfonatların Betonun Dayanıklılık Özelliklerine Etkileri, 5. Ulusal Beton Kongresi, s. 87-98, İstanbul.

**[41] Akman, M.S.,** 1984. Beton Agregaları, Fiziksel, Petrografik ve Kimyasal Nitelikleri, Beton Semineri, Devlet Su İşleri Yayını, Ankara, 6-10 Şubat.

**[42] Neville, A.M.,** 1996. Properties Of Concrete, Fourth and Final Edition, John Willey, G.Sons. pp. 56-80

**[43] Kawakami, H.,** 1992. Effect of Aggregate Type on the Mechanical Properties of Concrete, Interfaces in Cementitious Composites, J.C.Masa (Ed) Touluuse, pp. 179–186.

**[44] Alexander, M.G., Milne, T.I.,** 1995. Influence of Cement Blend and Aggregate Type on Stress- Strain Behavior and Elastic Modulus of Concrete, ACI Materials Journal, Volume 92, May-June.pp 227–235

**[45] Kaplan, M.F.,** 1959. Flexural and Compressive Strength of Concrete as Affected by the Properties of Coarse Aggregates, Journal of American Concrete Institute, May, pp. 1193–1208

**[46] Özturan, T., Çeçen, C.,** 1997. Effect of Aggregate Type on the Mechanical Properties of Concretes with Different Strengths, Cement and Concrete Research, 27, No: 2, s. 165–170.

**[47] Tasong, W.A., Lynsdale, C.J., Crpp, C.,** 1998. Aggregate-Cement Paste Interface II: Influence of Aggregates Physical Properties, Cement and Concrete Research, 28, pp.1453-1465

**[48] Özkahraman, H.T., Işık, E.C.,** 2005. The Effect of Chemical and Mineralogical Composition of Aggregates on Tensile Adhesion Strengt of Tiles, Construction and Building Materails, Vol: 9, No:4. pp.251–255.

**[49] Çetin, A., Carrasquillo R.L.,** 1998. High Performance Concrete, Influence of Coarse Aggregates on Mechanical Properties, ACI Materials Journal, Volume 95, pp. 252–161, May-June.

**[50] Giaccio, G., Rocco, C., Violini, D., Zappitelli, J., Zeerbino, R.,** 1992. High Strength Concretes Incorporating Different Coarse Aggregates, ACI Materials Journal, Volume 89, pp.242–247, May-June.

**[51] Gutierrez, P.A., Canovas, M.F.,** 1996. High Performance Concrete: Requirements for Constituent Materials and Mix Proportioning, ACI Materials, Volume 93, pp. 233–141, May-June.

**[52] Çalışkan, S.,** 2003. Agrega Cinsi ve Tane Boyunun Arayüzey Aderans Dayanımına Etkisi, Çimento ve Beton Dünyası, Sayı:41, s.65–66, Ankara.

**[53] Murdock, L.J. ve diğ.,** 1991. Concrete Materials and Practice, 26, London.

**[54] Taşdemir, C. ve diğ.,** 1998. The Influence of Aggregate Type on the Mechanical Properties of Concrete, Proceedings of the 12. ERMCO Congress, pp.633–640, Lisbon.

**[55] Yeğinboğalı, A.,** 1999. Betonun İç Yapısı, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Notları, No:3, Ankara.

**[56] Şengül, Ö.,** 2000. Agrega Türünün Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

## ÖZGEÇMİŞ

M. Selin APAYDIN, 1981 yılında Adana' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Adana' da tamamladı. 1998 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne girdi. 1998 yılında başladığı lisans öğrenimini 2003 yılında tamamladı. 2004 yılında İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı.