

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI KÖKENLİ AGREGALARIN BETON
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Songül KAYATURAN

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

OCAK 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI KÖKENLİ AGREGALARIN BETON
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Songül KAYATURAN
(501031192)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Ocak 2010

Tez Danışmanı : Y. Doç. Dr. Hasan YILDIRIM (İTÜ)

**Diğer Jüri Üyeleri : Y.Doç.Dr.Hakan Nuri ATAHAN (İTÜ)
Doç.Dr.Nabi YÜZER (YTÜ)**

OCAK 2010

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında, bu tezi yöneten ve çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve deneyimlerinin yanında hayata dair tecrübelerininide benden esirgemeyen Hocam Sayın Y.Doç.Dr. Hasan YILDIRIM'a,

İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Ana Bilim Dalı'ndaki hocalarıma, araştırma görevlilerine ve laboratuvar çalışanlarına,

Deneylerin gerçekleştirilmesi sırasındaki yardımları dolayısıyla kardeşim Onur KAYATURAN'a ve arkadaşım Yüksel DEMİR'e,

Çalışmalarım boyunca gösterdikleri maddi ve manevi her türlü yardımlardan dolayı aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2009

Songül KAYATURAN

İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Betonun İç Yapısı	2
1.1.1 Çimento hamurunun iç yapısı	2
1.1.2 Agreg a çimento arayüzeyinin iç yapısı.....	3
1.2 Betonun Mekanik Davranışı.....	5
1.3 Betonun Elastik Özellikleri	7
1.4 Agreg a Özellikleri	8
1.4.1 Agreg a dayanımı.....	9
1.4.2 Agreg a hacim konsantrasyonu.....	9
1.4.3 Agreg a granülometrisi ve maksimum tane boyutu	10
1.4.4 Agreg a tane şekli ve yüzey yapısı	11
1.4.5 Agreg a incelik modülü	13
1.4.6 Agreg anın birim ağırlığı,özgül ağırlığı ve kompositesi.....	13
1.4.7 Agreg a-çimento hamuru bağı	14
1.5 Agreg a Türünün Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi İle İlgili Yapılmış Olan Araştırmalar.....	16
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	19
2.1 Çalışmanın Amacı	19
2.2 Kullanılan Malzemeler	19
2.2.1 Çimento.....	19
2.2.2 Agreg a.....	21
2.2.2.1 Bazalt	21
2.2.2.2 Beyaz kalker	23
2.2.2.3 Mavi kalker	25
2.2.2.4 Kumtaşı	27
2.2.2.5 Dolomit	29
2.2.3 Kum	31
2.2.4 Su	32
2.2.5 Kimyasal katkı	32
2.3 Agreg a Karışım Oranları	33
2.4 Beton Karışımları	34
2.4.1 Yapılan varsayımlar	34
2.4.2 Beton bileşim hesabı.....	35

2.4.3 Beton üretimi	37
2.4.4 Üretilen numuneler	37
2.5 Taze Beton Deneyleri	37
2.5.1 Çökme deneyi	37
2.5.2 Birim ağırlık deneyi	38
2.6 Sertleşmiş Beton Deneyleri	38
2.6.1 Basınç dayanımı deneyi	38
2.6.2 Ultrases deneyi	38
2.6.3 Elastisite modülü deneyi	38
3. DENEY SONUÇLARI	39
3.1 Taze Beton Deney Sonuçları	39
3.1.1 Çökme deney sonuçları	39
3.1.2 Birim ağırlık deney sonuçları	39
3.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri Sonuçları	40
3.2.1 Basınç dayanımı deney sonuçları	40
3.2.2 Ultrases hızı deney sonuçları	41
3.2.3 Elastisite modülü değerleri	42
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	43
4.1 Taze Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	43
4.1.1 Çökme deney sonuçlarının değerlendirilmesi	43
4.1.2 Birim ağırlık deney sonuçlarının değerlendirilmesi	43
4.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri Sonuçlarının Değerlendirilmesi	44
4.2.1. 7 Günlük basınç deney sonuçlarının değerlendirilmesi	44
4.2.2 28 Günlük basınç deney sonuçlarının değerlendirilmesi	47
4.2.3 7 ve 28 Günlük basınç deneyleri sonuçlarının karşılaştırılması	51
4.2.4 Ultrases hızı deney sonuçlarının değerlendirilmesi	51
4.2.5 Elastisite modülü değerlerinin değerlendirilmesi	52
4.2.6 Su/çimento oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki	53
4.2.7 Su/çimento oranı ile ultrases hızı arasındaki ilişki	53
4.2.8 Ultrases hızı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki	54
4.2.9 Elastisite modülü ile basınç dayanımı arasındaki ilişki	55
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	57
5.1 Taze Beton Özellikleri İle İlgili Sonuçlar	57
5.2 Sertleşmiş Beton İle İlgili Sonuçlar	57
KAYNAKLAR	59
EKLER	63

KISALTMALAR

ASTM	: American Society for Testing and Materials
DIN	: Deutsche Institut für Normung (Alman Standart Enstitüsü)
PÇ	: Portland Çimentosu
TS	: Türk Standartları

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1: Agregaların geometrik özelliklerinin açılımları	11
Çizelge 1.2: Beton agregalarının yüzey özellikleri.....	12
Çizelge 2.1: Çimentonun mekanik özellikleri..	20
Çizelge 2.2: Bazalt kökenli agreganın minerolojik bilgileri.....	22
Çizelge 2.3: Bazalt kökenli agreganın elek analizleri	22
Çizelge 2.4: Bazalt kökenli agreganın özgül ağırlıkları	23
Çizelge 2.5: Beyaz kalker kökenli agregaların minerolojik özellikleri	24
Çizelge 2.6: Beyaz kalker kökenli agregaların elek analizleri.....	24
Çizelge 2.7: Beyaz kalker agregaların özgül ağırlıkları	25
Çizelge 2.8: Mavi kalker kökenli agreganın minerolojik bilgileri	26
Çizelge 2.9: Mavi kalker kökenli agreganın elek analizleri	26
Çizelge 2.10: Mavi kalker kökenli agreganın özgül ağırlıkları	27
Çizelge 2.11: Kumtaşı kökenli agregaların minerolojik özellikleri.....	28
Çizelge 2.12: Kumtaşı kökenli agregaların elek analizleri	29
Çizelge 2.13: Kumtaşı kökenli agregaların özgül ağırlıkları.....	29
Çizelge 2.14: Dolomit agregasının mineral bileşimi	30
Çizelge 2.15: Dolomit kökenli agreganın elek analizleri..	30
Çizelge 2.16: Dolomit kökenli agreganın özgül ağırlıkları..	31
Çizelge 2.17: Kum agregasının mineralolojik özellikleri.	32
Çizelge 2.18: Kum agregasının elek analizi	32
Çizelge 2.19: Kimyasal katkının özellikleri..	33
Çizelge 2.20: Üretilen betonların isimlendirilmesi ve ince agrega %'si	34
Çizelge 2.21: Üretilen betonların gerçek bileşimleri.	36
Çizelge 3.1: Çökme deneyi sonuçları.	39
Çizelge 3.2: Hava miktarı, teorik ve gerçek birim ağırlık değerleri.	40
Çizelge 3.3: Basınç dayanım değerleri	41
Çizelge 3.4: Ultrases hızı deney sonuçları.....	42
Çizelge 3.5: Elastisite modülü değerleri	42
Çizelge 4.1: Küp numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanım oranları.....	51

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Yüzeyi parlatılmış agreg a ile çimento hamuru arasındaki temas yüzeyi ...	4
Şekil 1.2 : Agreg a, sertleşmiş çimento hamuru ve betonun basınç altında gerilme- şekil değıştirme eğrileri.....	5
Şekil 1.3 : Betonun basınç altında gerilme-şekil değıştirme eğrisi	6
Şekil 1.4 : Agreg a ile çimento hamuru arasındaki temas yüzeyi etkileşimlerin şematik gösteriliş i.....	15
Şekil 4.1 : Üretilen betonların 7 günlük basınç dayanımları	44
Şekil 4.2 : %100 Kırma kum ile üretilen betonların 7 günlük basınç dayanımları ...	45
Şekil 4.3 : %100 Kum ile üretilen betonların 7 günlük basınç dayanımları.....	46
Şekil 4.4 : Kum-kırma kum ile üretilen betonların 7 günlük basınç dayanımları	46
Şekil 4.5 : Küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımları	47
Şekil 4.6 : Silindir numunelerin 28 günlük basınç dayanımları	48
Şekil 4.7 : %100 Kırma kum ile üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımları .	49
Şekil 4.8 : %100 Kum ile üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımları.....	50
Şekil 4.9 : %100 Kırma kum ile üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımları .	50
Şekil 4.10 : Elastisite modülü deneyi sonuçları.....	52
Şekil 4.11 : Su/çimento oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki	53
Şekil 4.12 : Su/çimento oranı ile ultras es hızı arasındaki ilişki.....	54
Şekil 4.13 : Ultras es hızı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki	55
Şekil 4.14 : Elastisite modülü ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	55
Şekil A.1 : Agreg aların granülo metrik eğrileri.....	63

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 biriside 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 (İstanbul-Cendere), Dolomit (Kırklareli), Beyaz Kalker (İstanbul-Çatalca) ve Mavi Kalker (İstanbul-Cebeci) agregalarının kırma taşları ile doğal kum (Çorlu) kullanılmıştır. Her bir üretim için farklı bir granülometri hazırlanmış, incelik modülü 4.04-4.08 değerleri arasında kalacak şekilde karışım oluşturulmuştur.

Üretimlerde CEM I 42,5 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 6 adet 150x150x150 mm boyutlarında küp ve 3 adet 150 mm çapında 300 mm yüksekliğinde silindir numune alınmıştır. Numuneler sıcaklığı 21±2°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.

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

Farklı agregalar ile üretilen betonlardan, dolomit agregası kullanılarak üretilenler en yüksek birim ağırlığa ve basınç dayanımına erişmiştir. Dolomit ve mavi kalker agregaları ile üretilen betonların ultrases hızlarının, beyaz kalker, kumtaşı ve bazalt 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.

THE IMPACT OF DIFFERENT TYPES OF AGGREGATES 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 (Corlu-Karatepe), Sandstone (Istanbul-Cendere), Dolomite (Kirkclareli), White Limestone (Istanbul-Catalca), Grey Limestone (Istanbul-Cebeci), and natural sand (Corlu) have been used. For each production of 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 42,5 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, 6 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 different types of aggregates. The produced specimens are cured in 21±2°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 affects 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.

Among the test 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 modulus have been observed to drop.

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

Including all the concrete mixture design made with different aggregates, it should be said that, the concrete, which made with dolomite aggregates has reached the highest unit weight and compressive strength. Also the concretes, which made with dolomite and gray limestone, have higher ultrasound velocity than the concrete made with sandstone, white limestone and basalt. 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.

1. GİRİŞ

Beton, günümüzde Türkiye’de ve dünyada en yaygın kullanılan bir yapı malzemesidir. Joseph Aspdin’in 1824 yılında portland çimentosunu bulmasıyla birlikte başlayan ve 1800’lü yılların sonlarına doğru betonarme, 1930’lu yıllarda da öngerilmeli beton yapı sistemlerin geliştirilmeye başlamasıyla, hızlanan süreçte beton vazgeçilmez bir yapı malzemesi olmuştur. Betonun bugüne kadar yaygın olarak kullanılması onun klasik bir malzeme olarak algılanmasını sağlamıştır. Fakat, bu durum betonun yeniliklere kapalı bir malzeme olduğunu göstermez, aksine, yapılan çalışmaların da gösterdiği üzere beton geliştirilmeye en açık yapı malzemesidir.

Beton çimento, agrega, su ve bazen de katkı malzemelerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulan kompozit bir malzemedir. Çimento, su ile birleştiğinde oluşan çimento hamuru agrega tanelerinin yüzeyini kaplayarak ve taneler arasındaki boşlukları doldurarak bağlayıcılık görevini yapar. Agregası ise betonun iskeletini oluşturan kum, çakıl, kırmataş gibi taneli mineral malzemedir [1].

Agrega maliyeti çimentoya göre oldukça düşük olduğundan agrega betonda bir dolgu malzemesi olarak kabul edilebilir ancak agrega kullanmanın tek sebebi ekonomi sağlamak değildir. Agregası aynı zamanda betona teknik avantajlar sağlar; beton çimento hamuruna göre daha iyi bir hacim sabitliğine ve çevre etkilerine karşı daha çok dayanıklılığa sahip olur. Bunlarla birlikte taze betonun işlenebilmesi, pompalanabilmesi, beton içerisindeki hava miktarı da agrega tarafından belirlenir [2].

Betonu diğer yapı malzemelerinden ayıran en önemli özellik istenilen biçimin verilebilmesini sağlayan plastik kıvamı ve basınç dayanımıdır. İyi bir betondan işlenebilir olması, dayanımının yüksek olması ve dış etkenlere karşı dayanıklı olması gibi özellikler beklenir. Basınç dayanımı beton kalitesi üzerinde genel bir fikir verir. Diğer birçok özelliği etkilediğinden, karışım seçiminde en önemli faktör olarak görülür. Belirli bir basınç dayanımını sağlayan karışım seçilirken karışımın ekonomik ve kullanıldığı yere göre işlenmesi kolay bir kıvamda olması gerekir [3].

Heterojen bir yapıya sahip olan betonun özellikleri kullanılan malzemelerle yakından ilgilidir. Beton hacminin yaklaşık % 60-% 85'ini oluşturan agreganın kalitesi oldukça önemlidir. İyi beton elde edebilmek için uygun agrega kullanılması gerektiği, bilinen bir gerçektir. Agreganın kimyasal ve minerolojik bileşimi, petrografik yapısı, özgül ağırlığı, dayanımı, fiziksel ve kimyasal kararlılığı, boşluk yapısı ve rengi gibi özellikleri elde edildiği kayacın özelliklerine bağlıdır. Ancak agreganın tane şekli ve boyutları, yüzey yapısı ve su emmesi gibi özellikleri göz önüne alınır.

1.1 Betonun İç Yapısı

Beton agrega ve sertleşmiş çimento hamuru fazlarından oluşan kompozit malzeme olarak ele alınabilir. Bundan dolayı betonun davranışı, agreganın ve sertleşmiş çimento hamurunun davranışlarının ve bunların etkileşimlerinin ortak sonucudur.

1.1.1 Çimento hamurunun iç yapısı

Çimento, bağlayıcı özelliğe sahip bir malzemedir. Çimentonun sağlayabileceği bağlayıcılık özelliği, bu malzemenin su ile birleşmesi sonucunda elde edilmektedir. Çimento ve suyun oluşturduğu malzeme, çimento hamuru olarak adlandırılmaktadır. Çimento hamurunun yapısı, aralarında su dolu küçük boşluklar bulunan çimento tanelerinden oluşmaktadır. Bu su dolu küçük boşluklar birbiriyle bağlantısı bulunan kapiler sistem oluşturmaktadır.

Çimento hamurunun yapısında jel boşlukları ve kapiler boşluklar yer almaktadır. Jel boşlukları hidrasyon sonucunda oluşan jellerin yapısında yer alan boşluklardır. Hidrasyon sonucu ortaya çıkan kalsiyum hidroksit kristalleri de dahil olmak üzere, hidrasyon ürünlerinin tümü çimento jeli olarak adlandırılmaktadır. Hidrasyon sonucu oluşmuş jelin yapısında, hacim olarak % 28 kadar jel boşluğu bulunmaktadır. Hidrasyon devam ettikçe, çimento hamurunun içerisindeki jel miktarı ve jel boşluklarının oranı değişmemektedir. Jel boşluklarının boyutu çok küçük olduğu için, jel üzerinde absorbe olan suyun hareketi çok azdır, serbest su gibi boşlukları kolayca terketmemekte ve -78°C sıcaklıkta donmaktadır [4].

Hidrasyon ürünlerinin hacmi, hidrasyon yapan çimentonun hacminden daha büyük olduğu için hidrasyon ürünleri kapiler boşlukları azaltacak oranda gelişmektedir. Kapiler boşluklar değişik şekillere ve boyutlara sahiptir. Kapiler

boşlukların ortalama çapı 0.0005 mm'dir. Çimento hamurunun içerisinde rastgele dağılım gösteren ve içerisi su dolu olan bu boşluklar, birbirleriyle genellikle bağlantılı durumdadır [4]. Ancak hidrasyonun devam etmesi ve daha çok jel üretilmesiyle, bu boşlukların arasındaki bağlantı azalmaktadır.

Kapiler boşlukların içerisindeki su, jel boşluklarındaki sudan farklı davranış göstermektedir. Sertleşmiş çimento hamurundaki bu boşlukların içerisinde bulunan su, sıcak ve kuru ortamda buharlaşıp kaybolabilmekte, ıslak ortamda boşlukların içerisinde tekrar yer alabilmektedir. Kapiler boşluklardaki su, serbest su gibi davranış göstermekte, 0°C sıcaklık civarında donmaktadır.

Çimento hamurunun yapısında başlangıçta yer alan boşlukların miktarı, çimento hamurunu oluşturan su/çimento oranına bağlıdır. Su/çimento oranı yüksek olduğu takdirde, daha çok kapiler boşluk yer almaktadır.

Sertleşmiş çimento hamurunda yer alan kapiler boşluk oranı, çimento hamurunun dayanımını, su geçirgenliğini ve dayanıklılığını etkilemektedir. Boşluk oranı yüksek olan sertleşmiş çimento hamurunun dayanımı daha az olmakta, su geçirgenliği daha çok olmakta ve dayanıklılığı azalmaktadır [5].

Bunların yanında, büyüklükleri milimetre boyutunda olan hava boşlukları da betonda mevcuttur. Hava boşlukları betonun yetersiz yerleştirilmesinden veya bazı katkıları kullanıp hava sürüklenmesinden oluşabilir.

1.1.2 Agrega çimento arayüzeyinin iç yapısı

Beton agrega ile çimento hamurundan oluşan iki fazlı bir kompozit malzeme olarak gözönüne alındığında malzeme özellikleri sadece bileşenlerin özelliklerine bağlı değildir.

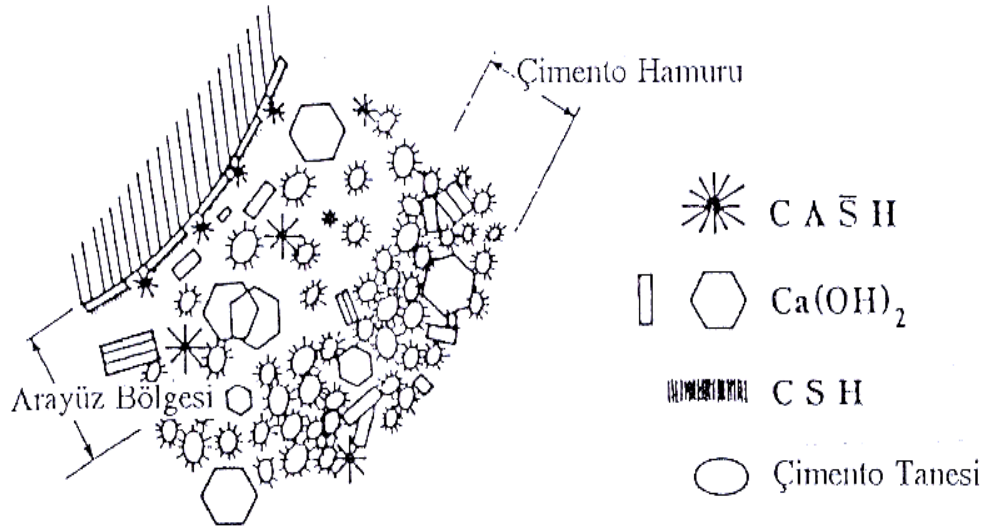
Heterojen bir malzeme olan betonun dayanımı 3 faktörden etkilenir [6]. Bunlar:

- i) matrisin dayanımı (çimento hamurunun dayanımı),
- ii) agreganın dayanımı,
- iii) arayüzeyin dayanımı.

Bu faktörlerin herbirinin çeşitli sınıflardaki betonların dayanımlarında etkileri farklıdır. Ancak agrega-çimento arayüzeyi betondaki en zayıf halka olarak kabul edilmektedir.

Çimento hamuru ile agrega arasındaki temas yüzeyi, çimento hamurundan farklılıklar gösterir. Bu davranışlar betonun mekanik davranışında oldukça etkilidir.

Temas yüzeyi için birçok modelleme yapılmıştır. Bunlardan biri de Monteriro tarafından Şekil 1.1’de şematik olarak gösterilen modeldir.



Şekil 1.1: Yüzeyi parlatılmış agrega ile çimento hamuru arasındaki temas yüzeyi [8].

Betonda iki agrega tanesi arasına sıkışmış çimento hamurunun kalınlığı 80-150 μm dir. Bunun 25-100 μm ’si arayüz bölgesidir. Bu kalınlık çimento hamuru kalınlığının %30-%50’sidir. Bu da arayüz bölgesinin toplam sistemde büyük bir oranda olduğunu ve iyi anlaşılması gerektiğini gösterir [7].

Agrega-harç temas yüzeyinin kalınlığı;

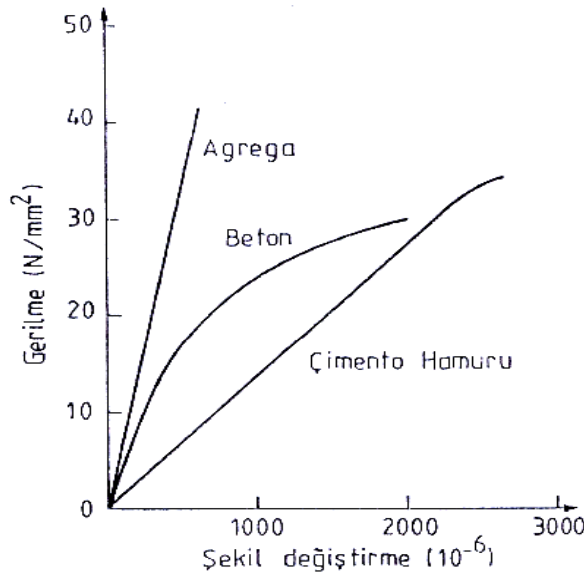
- i) Agrega ve çimento tipine
- ii) Su/çimento oranına
- iii) Kompozitin yaşına
- iv) Bağın türüne (fiziksel, fiziko-kimya yada mekanik)
- v) Deney ve ölçüm metoduna bağlıdır.

Temas yüzeyinin morfolojisi üzerine son yıllarda çok sayıda çalışmalar yapılmış, deney tekniklerindeki gelişmelerle birlikte betondaki bu zayıf bölgenin daha iyi anlaşılabilmesi yönünde önemli ilerlemeler olmuştur.

1.2 Betonun Mekanik Davranışı

Betonun göçmesi hacimsel şekil değiştirme süresince absorbe edilen kayma şekil değiştirme enerjisine bağlıdır. Çatlama, a) Çimento hamurunun göçmesi, b) agreganın kırılması c) Agreg-açimento hamuru temas yüzeyinin göçmesi ile başlayabilir [9].

Agrega-çimento hamuru arayüzeyi betonun basınç altında kısa süreli davranışını önemli ölçüde etkiler. Agreg ve hidrete olmuş çimento hamuruna ayrı ayrı yük uygulandığında gerilme-şekil değiştirme eğrileri hemen hemen lineer elastik bir cisimin davranışına benzer. Ancak Şekil 1.2’de görüldüğü gibi betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisi lineer değildir [10].



Şekil 1.2: Agreg, sertleşmiş çimento hamuru ve betonun basınç altında gerilme-şekil değiştirme eğrileri.

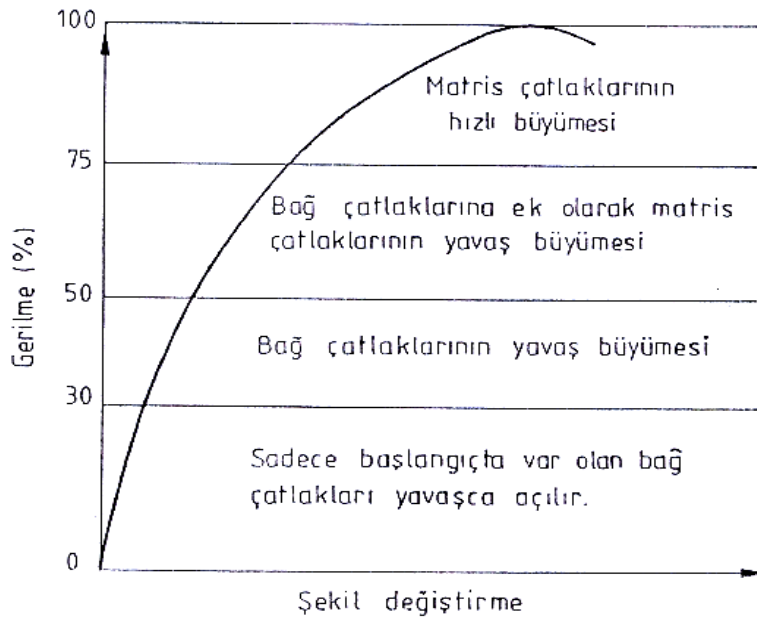
Betonun lineer olmayan davranışı agreg-açimento hamuru arayüzeyinin varlığını ortaya koyar ve en küçük yükte bile bu temas yüzeyindeki mikroçatlamayı gösterir. Agreg-açimento hamuru arayüzeyindeki bu mikroçatlaklar betondaki bir kusur olarak düşünülebilir.

Araştırmalar, agreg ile çimento hamuru arasındaki temas yüzeyinde çok küçük mikroçatlakların varlığını, bunların yük uygulamadan önce bile bulunduğunu ortaya çıkarmıştır [11]. Betonun genel bir özelliği olan bu mikroçatlaklar iri agreg ile hidrate olmuş çimento hamurunun özelliklerinin farklı olmasından, kuruma rötresi

sebebiyle oluşabilir. Yükleme öncesi mikroçatlaklar betonun düşük çekme mukavemetinden önemli derecede sorumludur [12].

Betona yük uygulandığında basınç dayanımının %30'una kadar mikroçatlaklar yavaşça açılırlar. %30'un üzerinde bu bağ çatlakların uzunlukları, genişlikleri ve sayıları artmaya başlar. Bu aşamada çatlakların ilerlemesi yavaştır. Uygulanan gerilme düzeyi basınç dayanımının %50'sine kadar malzemede lineer elastik davranış görülebilir, yani yük kaldırıldığı zaman deformasyon tersinirdir. Gerilmenin basınç dayanımına oranı %70-%90 olduğu zaman çatlaklar çimento hamuru ile ince agregadan oluşan harç fazı içinde açılmaya başlar ve sayıları önemli derecede artar. Bu çatlaklar birleşerek sürekli çatlaklar oluştururlar ve bir çatlak ağı ortaya çıkar. Bu aşamada hızlı çatlak yayılması görülür [12]. Basınç dayanımının %90'ına ulaşıldıktan sonra ise bu bileşik çatlaklarda kararsız yayılış oluşur.

Bu çatlak ağı büyük ölçüde oluştuğundan sonra betonun yük taşıma kapasitesi azalır. Şekil 1.3'de mikroçatlamanın şematik olarak bir açıklaması verilmektedir.



Şekli 1.3: Betonun basınç altında gerilme-şekil değiştirme eğrisi.

Çimento esaslı malzemelerin mekanik mukavetleri aşağıdaki özelliklere göre saptanır:

- 1) Kimyasal bileşim, mikroyapı ve çimentolu malzemelerin boşluk geometrisi
- 2) Agregaların özellikleri

3) Agreg-a-imento hamuru aderansı [13,14].

Mukavemet öncelikle mezo düzeyde ve makro düzeyde belirlenir, mikro düzeyde belirlenmez [15]. Çimento esaslı kompozitlerin mukavemetini saptayan parametreler şöyledir.

- i) Toplam porozite
- ii) Boşluk boyutu dağılımı
- iii) Malzemedeki kusurların varlığı
- iv) Malzeme sistemlerinin homejenliği veya heterojenliği.

1.3 Betonun Elastik Özellikleri

Beton, gevrek ve farklı fazlardan oluşan bir kompozit olduğundan elastik bir malzeme değildir. Ancak küçük gerilmeler altında elastik özellik gösterebilir. Teorik olarak bu gerilme basınç dayanımının %30 ile %40'ı arasındaki bir değere karşılık gelir [16]. Bu açıdan bu oranlara kadar beton, mühendislik hesaplamalarında elastik bir malzeme olarak kabul edilir [5,17].

Beton için en çok kullanılan elastik sabit ise elastisite modülüdür. Elastisite modülü gerilmenin buna karşılık gelen deformasyona oranı olarak tarif edilir [6].

Betonun bünyesinde imento hamuru gibi viskoz bir fazın bulunması ve malzemenin deformasyonunun asıl katı cisimlerin deformasyonundan farklı bir şekilde olmasına yol açmakta olup gerilme-deformasyon eğrisinde başlangıçta bir doğru parçası bulunmamaktadır. Bu durum betonlarda çeşitli elastisite modüllerinin tanımlanmasına neden olmaktadır.

a) Sekant Modülü: Bu modül gerilme-deformasyon eğrisinin herhangi bir M noktasını koordinat merkezine birleştiren doğrunun eğimidir.

b) Başlangıç teğeti modülü (Tanjant Modülü): Bu modül gerilme-deformasyon eğrisinin başlangıçtaki teğetinin eğimidir. Gerilmelerin küçük olması halinde özellikle basınç mukavemetinin üçte birinden küçük olduğu taktirde başlangıçtaki teğetin gerilme-deformasyon eğrisi ile çakıştığı pratik bakımdan kabul etmek mümkündür.

c) Dinamik elastisite modülü: Gerilme–deformasyon eğrisinin şekli, uygulanan gerilme hızı ile birlikte değişmektedir. Genel olarak iki dakika süren bir deneyde elde edilen gerilme deformasyon eğrisinin başlangıctaki teğetinin eğimini dinamik elastisite modülü olarak kabul etmek mümkündür [18].

Bu üç elastisite modülünden mühendislik hesaplarına en çok kullanılan gerilmeye ve gerilme artış hızına bağlı bulunması nedeni ile dinamik elastisite modülüdür [18].

Agrega porozitesi ve agreganın elastisite modülü, çimento hamuru matrisinin özellikleri, çimento hamuru-agrega geçiş bölgesi ve deney parametreleri elastisite modülünü etkileyen başlıca faktörlerdir [19].

Ayrıca, elastisite modülü, kullanılan agreganın boyutu ve miktarına oldukça duyarlıdır. Örneğin, kırmataş kullanarak üretilmiş bir betonun elastisite modülü düşük iken, aynı betonda yuvarlak çakıl kullanıldığında elastisite modülünün yüksek çıktığını görmek mümkün olabilir [20].

Betonun elastisite modülünün bilinmesi beton, betonarme ve öngerilmeli beton yapılarda elastik şekil değiştirmelerin hesaplanmasını sağlar. Bu şekil değiştirmelerin yapılarda birçok bakımdan bilinmesi gerektiğinden elastisite modülü tayin edilmesi gerekli bir malzeme sabitidir.

Agrega elastisite modülünün beton elastisite modülüne etkisi yüksek mukavemetli betonlarda daha fazladır. Konsantrasyon etkisi kolayca hesaplandığı halde, agreganın elastisite modülü her zaman bilinmez. Bu yüzden betonun elastisite modülünü tahmin etmek için, betonun birim ağırlığı ve basınç mukavemeti değerlerini içeren formüller öne sürülmüştür [21,22].

1.4 Agreganın Özellikleri

Agregalar beton yapımında çimento ve su ile birlikte kullanılan kum, çakıl, kırmataş gibi taneli malzemelerdir. Beton hacminin % 60-% 85'ini oluşturan agreganın özellikleri betonun dayanımını ve dayanıklılığını etkilemektedir [23]. Bu sebeple agregaların özelliklerini bilmek faydalıdır.

1.4.1 Agregada dayanımı

Agregaların basınç dayanımı, agrega tanelerinin kaynağını oluşturan kaya parçalarının basınç dayanımına bağlıdır. Betonda kullanılan agreganın basınç dayanımına dair ortalama bir değer belirtmek gerekirse, bu değer 1500-2000 kgf/cm² olduğu söylenebilir. Bazı kayaların basınç dayanımlarına ait ortalama değerler şu şekildedir: Granit, 2000 kgf/cm²; kalker, 1600 kgf/cm²; kumtaşı, 1300 kgf/cm² [24,25].

Nehir yataklarından elde edilmiş olan agregalar, genellikle yüksek dayanımlı ve sert agregalardır.

Yaklaşık olarak 40 MPa'lık bir basınç mukavemetine kadar, agreganın mukavemeti birinci derecede öneme sahip değildir, çatlak oluşumu önce agrega-matris temas yüzeyinde başlar, sonra matris çatlar ve yayılma matrisde olur. Yüksek mukavemetli beton ($f_c > 60$ MPa) halinde ise kırılma süreci çatlakların agrega içinde geçmesiyle olur. Yani normal dayanımlı betondaki gibi çatlak temas yüzeyinde başlayıp agrega etrafında tur atarak yayılmaz doğrudan agreganın içinden geçer [26].

1.4.2 Agregada hacim konsantrasyonu

Birden fazla faz içeren bir malzemenin mekanik davranışı her fazın özelliklerine bağlı olduğu gibi bu fazların malzeme içinde bulunuş oranlarıyla da ilgilidir. Yıldırım [27] tarafından verilen sonuçlara göre agrega hacmi arttıkça taze betondaki işlenebilirlik azalmakta, normal ağırlıklı agregalarla üretilen betonlarda ise agrega hacmi arttıkça elastisite modülleri artmaktadır.

Stock ve arkadaşları [28] daha önce yayımlanmış olan betonun dayanımına ve elastisite modülüne agrega konsantrasyonunun etkisi ile ilgili çalışmalarını derlemişlerdir. Bu çalışmaya göre;

a) Çimento hamuru içerisine uygun granülometreli hacmen %20 oranında agrega konursa çekme dayanımının düştüğü, fakat agrega hacmi daha fazla arttırılırsa bu dayanımın arttığını,

b) %20 oranında agrega hacmi konması sonucu basınç dayanımının düştüğünü ve bu düşüşün % 60 agrega hacmi oluncaya kadar devam ettiğini ve daha fazla agrega hacmi ilave etmenin basınç dayanımını arttırdığını,

c) Çimento hamuru dayanımının, beton çekme ve basınç dayanımı tahmini için kullanılabileceğini,

d) Çekme ve basınç hallerinde elastisite modülünün agrega konsantrasyonunun hamur içinde arttırılmasıyla artış gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

Kaplan, [29] betonun mikro çatlaması üzerine strain gauge tekniği kullanarak eğilme, basınç ve tek eksenli çekme deneyleri yapmıştır. Çalışmasında betonun çatlaması esnasındaki şekil değiştirme ve çekme gerilmelerinin betondaki iri agrega konsantrasyonu ile ilgili olduğunu, iri agrega hacmi artışının betonun kırılması anındaki çatlak başlangıcı durumunda şekil değiştirme ve gerilmelerde azalışa sebep olduğunu belirtmiştir.

1.4.3 Agrega granülometrisi ve maksimum tane boyutu

Agrega numunesindeki tanelerin değişik boyutlarda olması, sabit bir hacim içerisinde yer alan agrega taneleri arasında daha az boşluk bulunmasına yol açmaktadır. Taze betonun işlenebilme özelliği agrega granülometresi tarafından doğrudan etkilenen bir özelliktir. Hem iri agregayı oluşturan tanelerin hem de ince agregayı oluşturan tanelerin, büyüklüklerine göre, uygun dağılım göstermesi gerekmektedir. Beton için uygun olarak kabul edilen agrega granülometresi, taze betonun işlenebilmesi, taşınması ve yerleştirilmesi işlemlerinde, iri ve ince tanelerinin ayrışmasına neden olmayarak, betonun üniform olmasını sağlayan, betonda istenilen düzeydeki işlenebilmenin ve yoğunluğun elde edilebilmesine yol açan agrega tane dağılımıdır.

Uygun granülometriye sahip olmak kaydıyla, bir agreganın maksimum tane büyüklüğü ne kadar büyük olursa, o agregayı oluşturan tanelerin yüzey alanlarının toplam alanı küçük olmaktadır. Bunun sonucunda, beton yapımında kullanılacak su miktarı ve ince agrega miktarı azalacaktır. Dolayısıyla daha az su ve çimento içeren bir betonda büzülme oranı azalacak hidratasyon ısısı düşecektir.

Kırma işleminde, kırmataşlı agregalar bünyesinde mikroçatlaklar oluşabilmektedir. Mikroçatlakların sayısı iri agregalarda daha fazla olduğu için yüksek dayanımlı betonlarda genelde 10-14 mm boyutunda agregalar kullanılır [30].

1.4.4 Agregatane şekli ve yüzey yapısı

Yassı ve uzun taneli agregaların karışım içindeki oranları ne kadar az ise tane şekli açısından agrega o kadar iyidir. Yassı ve uzun taneli agregaların kompozitesi düşük ve işlenebilirlik için gerekli su miktarları fazladır. Köşeli ve yüzeyi pürüzlü agregaların kullanımı durumunda agrega ile çimento harcı arasında oluşan mekanik yapışma çok güçlü olmasına rağmen işlenebilirlikleri yuvarlak agrega ile kıyaslandığında çok daha zordur. Agregaların geometrik ve yüzey durumuna ilişkin özellikler Çizelge 1.1’de verilmiştir [31].

Çizelge 1.1: Agregaların geometrik özelliklerinin açıklamaları.

Tane Şekli	Açıklama	Örnekler
Yuvarlak	Tamamen su içerisinde sürtünme nedeniyle yuvarlaklaşmışlardır.	Nehir yada deniz kıyısı çakılları, çöl, deniz kıyısı ve rüzgarın serpiştirdiği kumlar
Şekilsiz	Doğal olarak şekilsizdirler veya sürtünme nedeniyle kenarları yuvarlanmış biraz şekillidirler.	Diğer çakıllar, kum veya adi çakmak taşları
Köşeli	Pürüzlü düzlemsel yüzeylerin kenarlarda kesiştiği bir yapıdır.	Kırılmış kayaların bütün çeşitleri, yamaç molozu, camsı cüruf.
Yassı	Agrega genişliğinin diğer iki boyuta göre daha küçük olduğu agregalardır.	Laminalı-yapraksı kayaç
Uzun (Prizmatik)	Genellikle köşeli ve bir boyutun diğer iki boyuttan fark edilir şekilde daha büyük olduğu agregalardır.	Laminalı-yapraksı-kayaç
Uzun ve Yassı	Tane uzunluğunun genişliğinden ve genişliğin ise belirgin bir şekilde kalınlıktan daha büyük olduğu agregalardır.	Laminalı-yapraksı-kayaç

Beton agregalarının yüzey özellikleri ise Çizelge 1.2’de verilmiştir.

Çizelge 1.2: Beton agregalarının yüzey özellikleri.

Grup Nu.	Yüzey Karakteri	Kırılma Yüzeyi	Bazı Kayaç Örnekleri
1	Camsı	Konkav, oyuklu	Çakmak taşı, Camsı letiye
2	Düzgün	Gayet düzgün	Çakıl, arduaz, mermer, kumtaşı
3	Taneli	Az veya çok miktarda taneler var	Kumtaşı, oolit
4	Pürüzlü	İnce ve orta büyüklükte taneler ve zorlukla gözlenebilen kristaller	Bazalt, porfir, sert kumtaşları
5	Kristalli	Gözle görülebilen kristaller	Granit, andezit, gabro, gnays
6	Çok boşluklu	Gözle fark edilen boşluk ve oyuklar	Boşluklu kumtaşı, tüfler, pomza

Agrega tanelerinin şekli, taze betonun işlenebilme özelliğini ve buna bağlı olarak, betonun su ihtiyacını etkilemektedir. Çakıl gibi yuvarlak agregalara yapılan betonların işlenebilmeye katkısı daha çok olmaktadır. Kırmataş gibi köşeli agregalar, sürtünme etkisiyle, taze betonun akıcılığını azaltmaktadır. Bu nedenle, yuvarlak agregayla yapılan ve belirli bir kıvama sahip olan betonların su ihtiyacı, aynı kıvama sahip olan kırmataş agregasıyla yapılmış olan betonların su ihtiyacından daha az olmaktadır. İşlenebilmeyi artırmak üzere, köşeli agregalarla yapılan betonlarda, daha çok ince agreganın kullanılması gerekmektedir [5].

Agrega tane şeklinin nasıl tanımlanması konusunda birçok araştırma yapılmıştır [32,33]. Türk standartlarına göre en büyük boyutu en küçük boyutundan 3 misli veya daha çok olan taneler şekilce kusurlu taneler olarak tanımlanmaktadır [34].

Köşeli agregalarla yapılan betonlarda agreganın taneleri ile çimento hamuru arasındaki aderans daha iyi olmaktadır. Bunun nedeni olarak köşeli agreganın yüzey alanının yuvarlak agreganın yüzey alanından daha büyük olmasıdır [17]. Kaplan tarafından yapılan araştırmalarda, köşeli agregalarla yapılan betonların

eğilme ve basınç dayanımlarında sırasıyla % 31 ve % 22 artış olduğu görülmüştür [35].

1.4.5 Agreganın incelik modülü

Agreganın gradasyon özelliğini belirtebilmenin bir başka yolu da, agreganın tanelerinin ortalama büyüklüğünün veya başka değerlerin tek bir sayı halinde ifade edilmesidir. Elek analizinde, göz açıklığı en küçük olan standart elek en altta olmak üzere küçükten büyüğe doğru dizilmiş olan standart elekler üzerinde kalan agreganın yığışımı yüzdelere toplamının 100'e bölünmesiyle elde edilen amprik sayısal değer incelik modülü olarak tanımlanır.

Ancak, böyle bir sayı, agreganın inceliği veya kalınlığı hakkında genel bir bilgi verebilmekle beraber, agredaki tane dağılımı oranının belirtmekten uzak kalmaktadır.

1.4.6 Agreganın birim ağırlığı, özgül ağırlığı ve kompozitesi

Agreganın birim ağırlığı, belirli hacimdeki bir kabı dolduran agreganın tanelerinin toplam ağırlığının, kabın hacmine bölünmesiyle saptanmaktadır. Belirli bir hacmi dolduran tanelerin birim ağırlığı agreganın granülometrisine, tane şekline, tanelerin nem durumuna, tanelerin kap içerisine gevşek ve sıkıştırılmış olmalarına bağlı olarak farklı değerler göstereceğinden, hesaplanan birim ağırlık değerinin hangi koşullarda elde edildiğinin mutlaka belirtilmesi gerekmektedir. Birim ağırlık değerinin yüksek olması, agreganın tanelerinin arasındaki boşluğun az olduğunu göstermektedir.

Özgül ağırlık değerlerine agregaların jeolojik kökenleri etkir, silisli agregaların, özellikle kuvarzlı agregaların özgül ağırlıkları $2,65 \text{ kg/dm}^3$ tür, kalkerli agregaların özgül ağırlıkları ise $2,70 \text{ kg/dm}^3$ tür. Farklı kökenli kütlelerden oluşan agregalarda bu değer $2,55\text{-}2,80 \text{ kg/dm}^3$ arasında değişebilir. Özel hafif ve özel ağır agregalarda bu sınırların dışına çıkılır [36].

Normal ağırlıklı betonlarda, agreganın katı hacminin %0 ile %20'si arasında değişen boşluk bulunabilmektedir. Hafif ağırlıklı agregalarda ise bu oran %30 -%50 kadardır.

Agregadaki boşluklar değişik şekillerde ve boyutlarda olmaktadır. Genel olarak, agredaki boşlukların birbiriyle bağlantısı yoktur. Granit, mermer gibi yoğunluğu nispeten yüksek olan taşlardan oluşan agregadaki boşlukların boyutu genellikle,

setleşmiş çimento hamurunda mevcut olan kapiler boşlukların ortalama boyutu kadardır. Kumtaşı ve hafif ağırlıklı agregalar oldukça büyük boşluk boyutlarına sahiptir [37].

1.4.7 Agreg-açimento hamuru bağı

Beton geleneksel biçimde harç (veya çimento hamuru) ile agregadan oluşan iki fazlı bir kompozit malzeme olarak gözönüne alınır. Agreg-a ve harç arasındaki temas yüzeyi betonda en zayıf halka olduğundan bu bölgeyi de ayrı bir faz gibi düşünmek söz konusu olabilir. İç yapı yaklaşımı ile betonu üç fazlı bir kompozit varsayımının daha gerçekçi bir yaklaşım olabileceği düşüncesinde olan araştırmacılar da vardır [38].

Çimento esaslı kompozitlerde bağlar mekanik kenetlemeden veya fazlar arasındaki etkileşimli büyümeden ileri geldiği gibi, Van der Waals kuvvetlerinden, hidrojen bağlarından ve muhtemelen kimyasal reaksiyonlardan da ileri gelebilir.

Çimento hamuru ile agreg-a arasındaki etkileşimler bakımından üç ayrı mekanizmadan söz edilebilir.

i) Fiziksel etkileşim:

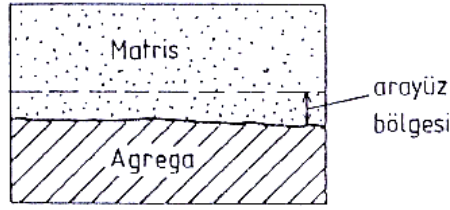
Yüzeyi çok iyi parlatılmış agregalar için matris ile kimyasal etkileşim yoksa, matris mukavemeti kuvvetli olsa da bağ mukavemeti ihmal edilebilir. Agreg-a matris arayüzeyi sistemde en zayıf halka olur. (Şekil 1.4a)

ii) Fiziko-kimyasal etkileşim:

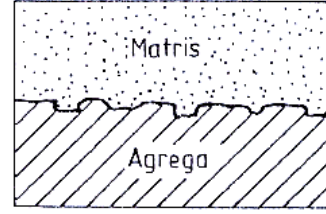
Çimento hamuru matrisi ile kimyasal etkileşime sahip agregalarda, çimento hamuru matrisi ile agreg-a arasında kuvvetli bir bağ gelişebilir. (Şekil 1.4b)

iii) Mekanik kenetlenme:

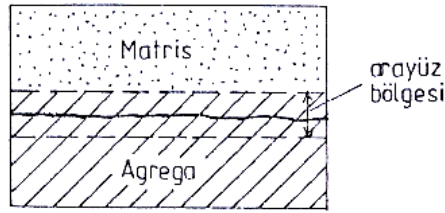
Boşluklu agregalar veya yüzeyi pürüzlü agregalar halinde, çimento hamuru veya çimento hidratasyon ürünleri agreg-a yüzeyindeki boşluklara girebilir. Bu agreg-a ile matrisi birlikte bağlayan çoklu kancalar rolü oynar. (Şekil 1.4c) [8].



d) Fiziksel etkileşim



c) Mekanik kenetlenme



b) Fiziko-Kimyasal etkileşim

Şekil 1.4: Agreg a ile çimento hamuru arasındaki temas yüzeyi etkileşimlerin şematik gösterilişi.

Bu farklı mekanizmaların önemleri açık değildir, malzemelerin kimyasal tabiatına ve hidratasyon koşullarına bağlı olarak sistemden sisteme değişir.

Arayüz bölgesinin yapısı, agreganın boyut ve biçimine bağlıdır ve pürüzlü, girintili çıkıntılı olan agregalar pürüzsüz parlak olan agregalara göre daha iyi bir mekanik kenetlenmeye sahiptir.

Agrega-harç temas yüzeyinin zayıflığı aşağıda verilen olaylarla açıklanabilir.

- i) Temas yüzeyinde devamlı fazınkinden daha yüksek porozitenin oluşması
- ii) Hidratasyon ürünlerine ait daha büyük kristal tanelerinin bu bölgede şekillenmesi
- iii) Temas yüzeyinde çökelmiş kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ile agregadaki kristallerin birikmesi [39].

1.5. Agreg a Türünün Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi İle İlgili Yapılmış Olan Araştırmalar

Agreg a türü ve özelliklerinin betonun eğilme ve basınç dayanımını inceleyen Kaplan [35] 13 farklı agreg a kullanarak 3'er farklı beton karışımı üretmiştir. Aynı karışım oranları kullanmasına rağmen eğilme dayanımında % 40'a, basınç dayanımında ise % 30'lara varan değişimler elde etmiştir. Agreg anın şekli, yüzey yapısı ve elastisite modülü gibi özelliklerinin betonun mekanik davranışında etkili olduğunu dayanım arttıkça bu özelliklerin daha önem kazandığını ortaya koymuştur.

Baalbaki [40] yaptığı çalışmada agreg a türünün yüksek performanslı betonların elastik özelliklerine etkisini incelemiştir. Dolomit, kumtaşı ve kuvarsit kullanılarak, 0,27 su/bağlayıcı oranında betonlar üretmiş ve bunların mekanik davranışları karşılaştırmıştır. Deney sonuçlarına göre betonların gerilme şekil değiştirme diyagramları, kayaçların diyagramlarıyla benzerlik göstermektedir. Kuvartis içeren betonlar en düşük basınç dayanımını ancak en yüksek elastisite modülünü vermiştir. Bunun nedeni olarak ise bu agreg anın nisbeten az sıkıştırılabilir olmasını göstermişler, bunun da betonun rijitliğini arttırdığını ancak dayanımını azalttığını iddia etmişlerdir. Yüksek gerilmelerde agreg a-çimento hamuru arayüzeyinde, bu malzemelerin elastisite modüllerinin farkından kaynaklanan gerilme artışlarının betonun dayanımını azalttığını belirtmişlerdir. Kumtaşı içeren betonlar ise en yüksek basınç dayanımını fakat en düşük elastisite modülünü vermiştir. Bu durum ise agreg a ile harç arasında elastik olarak daha uyumlu olmasına, bunun ise gerilme artışlarını azaltmasına ve kumtaşı agreg asının porozitesinin harçla olan temas yüzeyini iyileştirmesine bağlanmıştır.

Alexsander ve Milne [41] dört farklı tipte agreg a ve portland çimentosu ile bazı puzolanlar kullanarak yaptıkları çalışmada betonun mekanik davranışını çeşitli yaşlarda incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre, verilen bir su/çimento oranı için agreg a türüne göre basınç dayanımı 20 MPa kadar değişebilmektedir. Araştırmacıların buldukları sonuçlara göre özgül ağırlıkları nisbeten yüksek olan dolomit ve andezit agreg alarıyla portland çimentosu kullanılarak yapılan betonların rijitlikleri daha fazladır. Granit ve kuvarsit ile yapılan betonların elastisite modülleri daha düşük bulunmuştur. Farklı türdeki agreg a ve bağlayıcının geçiş bölgesinin

yapısını etkilediği bunun ise beton özelliklerinde etkili olduğunu, bu etkinin aynı zamanda yaşa bağlı olduğunu göstermişlerdir.

Tighiouart [42] ise dört tür agrega kullanarak su/çimento oranları 0,22 ve 0,27 olan iki seri yüksek dayanımlı ve su/çimento oranları 0,50 olan bir seri normal dayanımlı beton üretmiş, bu betonların mekanik ve elastik özelliklerini incelemiştir. Deney sonuçlarına göre yüksek dayanımlı betonlarda basınç dayanımı %24, elastisite modülleri ise %50 kadar farklılık göstermiştir. Su/çimento oranına bağlı olan çimento hamuru dayanımının, betonların yükleme ve boşaltılmasıyla elde edilen histersiz eğrilerinin kalınlığını etkilediğini, bu eğrilerin şekillerinin ise iri agrega tarafından kontrol edildiğini belirtmiştir.

Çetin ve Carrasquillo [43] agrega türü ve hacim konsantrasyonunun etkilerini inceledikleri çalışmada özgül ağırlıkları $2,5 \text{ gr/cm}^3$ ile $3,14 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişen beş tür agrega kullanılarak 0,28 su/çimento oranında betonlar üretilmişlerdir. Çakıl içeren betonlar tüm üretim tiplerinde en düşük basınç dayanımlarını göstermiştir. Bu durum çakılın şekil ve yüzey yapısına bağlı olarak iyi mekanik kenetlenmenin olmamasına bağlanmıştır. Çimento hamuruna göre önemli derecede sert olan agregaların yüksek gerilme seviyelerinde agrega-çimento hamuru ara yüzeyinde gerilme yığılmaları oluşturduğu ve arayüzey bölgesinde mikroçatlaklara yol açtığı savunulmuş, buna kanıt olarak da çatlakların bu agregaların çevresinden ilerlerken, daha yumuşak agrega içeren betonlarda çatlakların agrega tanesinin içinden geçmesi gösterilmiştir. Bulunan sonuçlara göre, daha küçük agrega içeren betonlar daha yüksek basınç dayanımlarına ulaşmışlardır.

Gutierrez ve Cavanos [44] yüksek dayanımlı betonlar için malzeme seçimi ve karışım oranları için bazı öneriler geliştirmişlerdir. 6 farklı agrega kullandıkları çalışmalarında agreganın beton kıvamı ve dayanımına etkilerini incelemiştir. Betonun kıvamını en çok etkileyen temel agrega özelliği su emmesidir. Agreganın su emmesi işlenebilmeyi azaltır. Agregaların su emmelerinin yakın olması durumunda işlenebilmeyi etkileyen diğer faktörler ise tane şekli, granülometri, maksimum tane boyutu gibi özellikleridir. Araştırmacılar mekanik özellikleri birbirlerine yakın iki tip agregadan, kireçtaşı ile üretilen betonun daha iyi sonuç verdiğini görmüşler, bunun nedeni olarak da kireçtaşı agregasının çimento hamuru ile arasındaki iyi epütaksi bağı göstermişlerdir.

Taşdemir ve arkadaşlarının [45] yaptıkları araştırmada, beyaz ve gri kalker kullanarak 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.

Şengül [46] dört farklı agrega kullanılarak C18'den C90' a kadar beton sınıfında beton üretimleri 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.

Terzibaşoğlu [47] doğal kum yerine kırmataş tozu kullanarak ürettiği betonlarda basınç dayanımlarının önemli oranda arttığını ancak işlenebilirliğin azaldığını ve kırmataş tozu miktarı fazla olan betonların priz sürelerinin daha kısa olduğunu belirtmiştir. Bunun sebebi olarak ise; kırmataş miktarının artması ile betonun birim hacim ağırlığının arttığı ve boşluksuz bir yapı oluşturması olarak göstermiştir.

Yeniboğalı [48], 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 minerolojik yapısının da bu bağda etkili olduğunu ifade etmiştir.

Çalışkan'ın [49] 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.

Menadi [50] ve arkadaşları kırmataş tozunun betonun durabilitesi üzerindeki etkilerini araştırmak üzere yaptıkları çalışmada su/çimento oranını sabit tutarak %15 oranında kırmataş kumunun miktarının yerine kırmataş tozu kullanmış ve bunun sonucunda betonun su geçirimsizliğinin azaldığını, gaz ve klor geçirimsizliğinin arttığını belirtmişler ve deniz yapılarında kırmataş tozu kullanımının sınırlandırılması gerektiğini belirtmişlerdir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde laboratuvarda yapılan deneysel çalışmalar açıklanmıştır. Önce, çalışmanın amacı ve kullanılan malzemeler hakkında bilgiler verilmiş ardından üretilen beton türleri ile saklama ve deney koşulları açıklanmıştır.

2.1 Çalışmanın Amacı

Betonda kullanılacak agregası için mevcut doğal kaynaklar sınırlı olduğundan ve hatta temin edilmesi sıkıntılar yaratmaya başladığından geleceği düşünerek, agreganın bilinçli tüketilmesi gerekmektedir. Betonda ince agregası olarak kullanılan doğal kum ekonomik olarak hem pahalı, hem de rezerv bakımından tükenme tehlikesiyle karşı karşıya kalan malzemedir. Bu nedenle, beton karışımlarının hazırlanmasında doğal kumun yerine kırma kum kullanılması kaçınılmazdır.

Bu çalışmada; minerolojik kökenleri farklı 5 değişik agregası türü kullanılarak kumun yerine kırma kum kullanılması halinde taze ve sertleşmiş betonun özellikleri üzerindeki etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

2.2 Kullanılan Malzemeler

2.2.1 Çimento

Bütün üretimlerde Akçansa Çimento Fabrikasının üretimi olan CEM I PÇ 42.5 çimentosu kullanılmıştır. Çimentolar fabrikanın aynı gün üretimidir. Kimyasal analiz TS EN 196-2, fiziksel denemeler TS EN 196-3 ve TS EN 196-6, dayanım deneyleri ise TS EN 196-1 standartlarına uygun yapılmıştır. Kullanılan çimento üzerinde yapılan deney sonuçları aşağıda verilmiştir.

Fiziksel Özellikleri:

Blaine özgül yüzeyi	[mm ² /kg]	: 328
90 mikronluk elekte kalan	[%]	: 0,2
200 mikronluk elekte kalan	[%]	: 0

Özgöl ağırlık [gr/cm³] : 3,17

Normal kıvam suyu [%] : 30

LE Chatelier halkalarının

toplam açılması [mm] : 2,5

Priz başlangıcı : 2 saat 40 dakika

Priz sonu : 4 saat

Mekanik Özellikleri:

Çimentonun Rilem-Cembureau yöntemi ile bulunan dayanım değerleri Çizelge 2.1 'de verilmiştir.

Çizelge 2.1: Çimentonun mekanik özellikleri.

Basınç Dayanımları (N/mm ²)		Egilme Dayanımları (N/mm ²)	
7 Günlük	28 Günlük	7 Günlük	28 Günlük
40,3	54,6	7,2	7,8

Kimyasal Özellikleri:

SiO : % 20,3

Al₂O₃ : % 5,06

Fe₂ O₃ : % 3,60

CaO : % 63,24

MgO : %1,12

S O₃ : % 2,82

K₂O : % 0,78

Na₂O : % 0,27

Cl : % 0,03

TiO₂ : % 0,31

Kızdırma kaybı : % 2,75

Kullanılan çimento fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler bakımından çimento TS EN 197-1 standardına uygundur.

2.2.2 Agregalar

Deneylerde kullanılan agregalar kum, kırma kum, kırmataş I ve kırmataş II'dir. Tüm üretimlerde aynı kum, ancak minerolojik kökeni farklı 5 tür kırmataş kullanılmıştır. Bazalt Çorlu bölgesinden, beyaz kalker Çatalca'dan, mavi kalker Cebeci'den, Kumtaşı Ayazağa'dan, Dolomit ise Kırklareli'nden temin edilmiştir.

2.2.2.1 Bazalt

Deneylerde çalışmada kullanılan bazalt agregası Çorlu- Karatepe'den temin edilmiştir. Bu agregaya ait minerolojik ve petrografik analizler aşağıda sunulmuştur.

Makroskobik inceleme:

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

Herhangi bir ayrışım ve yönlenme göstermeyen örnek makroskobik yönden ince taneli, afanitik (tane yapısı göstermeyen) görünümlü, sertliği 5-6 Mohs, asitle reaksiyonda (%10 HCL) herhangi bir köpürme göstermez. Buradan kayaç karbonat grubuna ait değildir.

Mikroskobik İnceleme:

Kayaç örneği (ince kesitte) polarizan petrografik mikroskop altında incelenmiş, aşağıdaki bulgular saptanmıştır.

Doku:

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

Tane Boyutu:

-Mikritik Kalsit : 0,6 - 0,3 mm

-Olivinler : 0,5-0,4 mm

Bazalt kökenli agreganın mineralojik bilgileri Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2: Bazalt kökenli agreganın mineralojik bilgileri.

Mineral Bileşim	% Modal Oran	Özellikleri
Plajioklas	25	İdiyomorf, ince çubuksu kristaller.İkizlenme gösterir. (labrador % 70), birbirleriyle girifit konumunda yer alırlar.
Olivin	15	İdiyomorf ve yarı idiyomorf kristaller halinde plajioklas aralarında orta ve iri taneli, çatlaklı, opak minerallerle beraber bulunur. Ayrışma göstermez. Forsterik bileşimlidir.
Matriks (mikrolitik)	60	İnce taneli, plajioklas ve olivin ince tanelerinden oluşur. Beraberinde opak ve mineral olarak manyetit ve hematit bileşimlidir.

Bu analiz sonuçlarına göre kayaç Olivinli Bazalt olarak sınıflandırılabilir.

Bazalt agregasına ait elek analizleri Çizelge 2.3’de ve özgül ağırlıkları ise Çizelge 2.4’de verilmiştir.

Çizelge 2.3: Bazalt kökenli agregaların elek analizi.

Elek Açıklığı (mm)	Elekten Geçen %		
	Kırma Kum	Kırmataş 1	Kırmataş 2
31,5	100	100	100
16	100	100	58
8	100	51	0
4	98	3,5	0
2	65	0,3	0
1	62	0,2	0
0,5	37	0	0
0,25	23	0	0

Çizelge 2.4: Bazalt kökenli agregaların özgül ağırlıkları.

Agrega Türü	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)
Kırma Kum	2,79
Kırmataş 1	2,90
Kırmataş 2	2.88

2.2.2.2 Beyaz kalker

Deneysel çalışmada kullanılan beyaz kalker agregası İstanbul- Çatalca'dan temin edilmiştir. Bu agregaya ait minerolojik ve petrografik analizler aşağıda sunulmuştur.

Makroskobik inceleme:

Kırmataşlar (mıcır), 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. Agregalar herhangi bir yönlenme ve yapraklanma göstermemektedir.

Malzeme Kayacın Sertliği 3 – 3,5 Mohs civarındadır, asitle reaksiyonda (%10 HCl ile) çok hızlı bir köpürme izlenmiştir. Buradan da bu kayacın karbonat grubu minerallerden (kalsit, vs.) oluştuğu söylenebilir.

Mikroskobik İnceleme:

Polarizan – petrografik mikroskop (LEİTZ POL – SM Lux) altında, malzemenin ince kesitleri incelenmiş, buradan kayacın iç yapısı (dokusu) ile mineral bileşimi, % Modal oranları ile tane boyutu ve mineral özellikleri dikkate alınarak malzeme kayaç petrografik yönden adlandırılmıştır.

Doku:

Mikroskop altında boşluklu mikritik, kriptokristalli, yarıkristallin, az fosilli, ince çatlaklı ve boşlukları opak mineraller (limonit, homatit) dolgulu, yeniden kristalleşmiş zonlar, mikritik kristalli zonlarla içiçe, doku sergilemektedir.

Tane Boyutu:

Mikritik Kalsitler: 22 – 32 mikron

Reristalize Kalsit : 0,03 – 0,04 mm (bazende 0,5 mm boyutlarında)

Boşluklar : 0.07 mm-0.7 mm ile 1 mm

Beyaz kalker agregasının mineralojik bilgileri Çizelge 2.5’de verilmiştir.

Çizelge 2.5: Beyaz kalker agregasının mineralojik özellikleri.

Mineral Bileşim	% Modal Oran	Özellikleri
Kalsit (mikritik)	49–6	Çok ince taneli, kriptokristalli, kristalin kalsit ile içiçe, kahve tonlarında (az oranda demir içerir) esas kayalık yapıcı mineraldir.
Kalsit (kristalin) ikincil oluşumlu	36–44	Farklı tane boyutlu lenstakın, berrak ikizlenme ve mikritik tane içinde dilinim gösterirler. Özellikle az olan fosil kavrakları kristalleşmiştir.
Boşluk	2–3	Çok küçük ve değişik boyutta ve şekilde boşlulardır.
İmpürte (opak mineral)	3–4	Mineral (kalsit) ile birlikte ince taneli veya boşluklarda siyah renkli, limonit – hematit bileşimlidir.

Yukarıdaki analiz sonuçlarına göre örnek malzemenin (kayaç) rekristalize kireçtaşı olduğu söylenebilir. Beyaz kalker agregasına ait elek analizleri Çizelge 2.6’de ve özgül ağırlıkları ise Çizelge 2.7’de verilmiştir.

Çizelge 2.6: Beyaz kalker kökenli agregaların elek analizi.

Elek Açıklığı (mm)	Elekten Geçen %		
	Kırma Kum	Kırmataş 1	Kırmataş 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

Çizelge 2.7: Beyaz kalker kökenli agregaların özgül ağırlıkları.

Agrega Türü	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)
Kırma Kum	2,64
Kırmataş 1	2,62
Kırmataş 2	2,60

2.2.2.3 Mavi kalker

Deneyisel çalışmada kullanılan mavi kalker agregası İstanbul-Cebeci'den temin edilmiştir. Bu agregaya ait minerolojik ve petrografik analizler aşağıda sunulmuştur.

Makroskobik inceleme:

Kırmataş malzeme koyu gri tonlarında ve orta sıklıkta ince beyaz damar dolgularla kesilmiştir. Masif, kompakt ince taneli görünümdeki malzemede yüzeysel olarak herhangi bir ayrışım izine rastlanmamıştır. Sertliği 3-3,5 Mohs olan kayaç %10'luk HCl (asit) ile reaksiyonunda çok hızlı bir köpürme göstermiştir. Buradan kayacın karbonat grubuna ait mineraller içerdiği (kalsit, vb.) söylenebilir.

Mikroskobik İnceleme:

Kayaç örneği (ince kesitte) polarizan petrografik mikroskop altında incelenmiş, aşağıdaki bulgular saptanmıştır.

Doku:

Mikrokristalin (kriptokristalli) mikritik matrisli (esas doku) içinde orta ve iri taneli rekristalize kalsitler (ikizlenme ve dilinim gösterirler), yer yer çok az oranda fosil kavkıları, çoğunlukla kalsitleşmiş izleri ayrıca ikincil kalsit damar dolgular yer almaktadır. Doku mikrobiyosparitik doku şeklindedir.

Tane Boyutu:

Mikritik kalsitler : 0.006 mm-0.3 mm

İritaneli (ikincil) kalsitler :0.7-1.5 mm

Mavi kalker agregasına ait minarelajik bilgiler Çizelge 2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2.8: Mavi kalker agregasının mineralalojik bilgileri.

Mineral Türü	% Modal Oran	Özellikleri
Kalsit (mikritik)	55-60	Mikritik matriks, kriptokristalli, arada yeniden kristalleşme zonları içerir, beraberinde opal mineraller izlenir.
Kalsit (iritaneli, ikincil)	34-38	Orta iri taneli, ikizlenme ve dilinim gösterir. Berrak kristaller halindedir. İkincil olup, dolgu zonlar halindedir.
Kuvars + albit	1-2	İkincil kalsit dolguları içindedir.
İmpürte (opak)	3-4	Matriks içinde kriptokristalli kalsitlerle beraber ince taneler halinde olup, limonit ve hematit (demir oksit) şeklindedir.
Dolomit	1-3	Rekristalize kalsitlerle beraber kümeler halinde ve çok az oranda rastlanır.

Yukarıdaki analiz sonuçlarına göre örnek malzemenin (kayaç) rekristalize kireçtaşı olduğu söylenebilir. Mavi kalker agregasına ait elek analizleri Çizelge 2.9’da ve özgül ağırlıkları ise Çizelge 2.10’da verilmiştir.

Çizelge 2.9: Mavi kalker kökenli agregaların elek analizi.

Elek Açıklığı (mm)	Elekten Geçen %		
	Kırma Kum	Kırmataş 1	Kırmataş 2
31,5	100	100	100
16	100	100	62
8	100	45	0,4
4	98	3	0,3
2	59	0,6	0,3
1	34	0,6	0,2
0,5	23	0,6	0,2
0,25	15	0,6	0,2

Çizelge 2.10: Mavi kalker kökenli agregaların özgül ağırlıkları.

Agrega Türü	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)
Kırma Kum	2,70
Kırmataş 1	2,72
Kırmataş 2	2,71

2.2.2.4 Kumtaşı

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

Makroskobik inceleme:

Örnek malzeme, koyu gri-siyah tonlarında daha çok köşeli ve az yuvarlak olup, küreselliği düşüktür. Ele az toz bırakan (tozlu) yıkanmamış, yüzeyde az-orta pürüzlüdür. Koyu gri-siyah tonlarında, ince kılcal damarlarla kesilmiş, daha çok köşeli ve az yuvarlak olup küreselliği düşüktür. Şiştozite (yapraklanma), yönlenme ve ayrışım izlenmez. Sertliği 6-6,5 Mohs olup, % 10 HCl ile reaksiyonunda, çok hafif bir yüzeysel köpürme izlendi.

Mikroskobik İnceleme:

Kayaç örneği (ince kesitte) polarizan petrografik mikroskop altında incelenmiş, aşağıdaki bulgular saptanmıştır.

Doku:

Malzeme ince kesitte farklı tane boyutlu (iri-orta ve ince) mineraller ve bunları çevreleyen ince taneli bir matriks ile çevrelenmiştir. Kristal-mineral taneleri köşeli-yarı köşeli, çoğunlukla (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 : 0,05mm-0,08 mm arasında ölçülmüştür.

Kumtaşı agregasına ait minarelajik bilgiler Çizelge 2.11'de verilmiştir.

Çizelge 2.11: Kumtaşı agregasının mineralojik özellikleri.

Mineral Türü	% Modal Oran	Özellikleri
Kuvars	39-44	İri-orta ve ince taneli, kristalin veya çok kristalli, dalgalı yanıp sönmeler gösterir. Esas kayak yapıcı mineraldir.
Plajiyoklas	11-14	İri-orta taneli, kuvars kristalleriyle beraber, ayrışım göstermez. Albit ikizli (plajiyoklas) ve ortoz türlerindedir.
Kalsit (ikincil)	11-13	Kriptokristalli, ikincil oluşuklu, ince damarlar içindedir.
Mika (klorit+serizit)	10-11	İnce iğnemsî veya merceksel kristaller halinde. Kuvars kristalleriyle ince taneli matris içinde tek kristaller halindedir.
Kayaç parçası	7-8	Volkanik kayaç parçaları, köşeli taneler oluşturur.
İmpürite (opak)	7-8	0,03-0,3 mm tane boyutlu, hematit ve pirit minerallerinden oluşur.

Yukarıda petrografik analizi verilen örnek kayaç malzeme kuvars'ça zengin sert ve yüksek dayanıma sahiptir. Ayrışma göstermeyen mineral bileşimi, tali oranda ikincil kalsit, feldspat (albit ve ortoz) ve mika içeriğine rastlanmıştır. Analiz sonuçlarına göre örnek malzemenin (kayaç) rekristalize mikrotaneli kumtaşı olduğu söylenebilir.

Kumtaşı agregasına ait elek analizleri Çizelge 2.12'de ve özgül ağırlıkları ise Çizelge 2.13'de verilmiştir.

Çizelge 2.12: Kumtaşı kökenli agregaların elek analizi.

Elek Açıklığı (mm)	Elekten Geçen %		
	Kırma Kum	Kırmataş 1	Kırmataş 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	1	0

Çizelge 2.13: Kumtaşı kökenli agregaların özgül ağırlıkları.

Agrega Türü	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)
Kırma Kum	2,73
Kırmataş 1	2,74
Kırmataş 2	2,76

2.2.2.5 Dolomit

Deneysel çalışmada kullanılan dolomit agregası Kırklareli’nden temin edilmiştir. Bu agregaya ait minerolojik ve petrografik analizler aşağıda sunulmuştur.

Makroskobik inceleme:

Beyaz bej veya grimsi bej tonlarında, masif, kompakt bir yapıya sahiptir. İnce taneli, çıplak gözle tane yapısı homojen ve belirsiz (taneler)dir. Kayacın sertliği 3,6-4 Mohs olup, % 10’luk seyreltik HCl’ile reaksiyonda, çok hafif bir yüzeysel bir köpürme izlenmiştir. Buradan örnek kırmataş malzemenin karbonat grubuna ait, kalsit yanında daha çok dolomit minerallerine rastlanmıştır.

Mikroskobik İnceleme:

Kayaç örneği (ince kesitte) polarizan petrografik mikroskop altında incelenmiş, aşağıdaki bulgular saptanmıştır.

Doku:

Mikritik, yarı spesifik özellikli doku altında, kalsit kristalleri mikritik kriptokristalin özellikte, bunlarla içiçe 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 dir.

Dolomit agregasının minarel bileşimi Çizelge 2.14’te verilmiştir.

Çizelge 2.14: Dolomit agregasının mineral bileşimi.

Mineral Türü	% Modal Oranr
Kalsit (Mikritik)	17- 18
Dolomit (Sparitik)	81-83
Opak Mineral Limonit, Hematit	0,5-1

Analiz sonuçlarına göre örnek malzemenin (kayaç) dolomitik kalker (Dolomitik Kireç Taşı) olduğu söylenebilir.

Dolomit agregasına ait elek analizleri Çizelge 2.15’te ve özgül ağırlıkları ise Çizelge 2.16’da verilmiştir.

Çizelge 2.15: Dolomit kökenli agregaların elek analizi.

Elek Açıklığı (mm)	Elekten Geçen %		
	Kırma Kum	Kırmataş 1	Kırmataş 2
31,5	100	100	100
16	100	100	65
8	100	45	0,1
4	97	0,8	0
2	56	0,5	0
1	36	0	0
0,5	29	0	0
0,25	22,4	0	0

Çizelge 2.16: Dolomit kökenli agregaların özgül ağırlıkları.

Agrega Türü	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)
Kırma Kum	2,79
Kırmataş 1	2,84
Kırmataş 2	2,84

2.2.3 Kum

Deneysel çalışmada kullanılan kum agregası Çorlu bölgesinden temin edilmiştir. Özgül ağırlığı 2,56 gr/cm³ olan kuma ait minerolojik ve petrografik analizler aşağıda sunulmuştur.

Makroskopik inceleme:

Sarımsı beyaz tonlarında, farklı taneli (0-2 mm tane boyutları arasında) kum boyutludur. Çok az oranda ise ince çakıl boyutlu bir doğal malzemedir. Kum az oranda çakıl boyutlu malzeme, yuvarlak-yarı yuvarlak, yarı köşeli şekillerde, bazende köşeli taneler (mineral) içermektedir.

Su ile reaksiyonda çok hafif açık sarı tonlarında bulanıklık oluşturmaktadır. Malzeme içerisinde %1 den az oranda kil boyutlu mineral içermektedir. %10'luk seyreltik HCl ile reaksiyonda, herhangi bir köpürme izlenmemiştir. Malzemede (kumda) karbonat grubuna ait (kalsit-dolomit) mineraller bulunmamaktadır.

Mikroskopik inceleme:

Doku:

Mikroskop altında (binoküler mikroskopta) incelemede, yarı-yuvarlak, yarı köşeli, küresellik orta-kötü arası, kum boyutlu malzemede az oranda ince çakıl boyutlu minerallerde rastlanmıştır. Burada kum boyutlu malzeme oranı %80 oranında olup, %4 oranında ince çakıl boyutlu (3-4 mm tane boyutlu) mineral bulunmaktadır.

Kum agregasının minarel bileşimi Çizelge 2.17'de verilmiştir.

Çizelge 2.17: Kum agregasının mineralalojik özellikleri.

Mineral Türü	% Modal oran	Mineral Özellikleri
Kuvars	79-84	Berrak, yarı köşeli şekillerde, beyaz şeffaf ve kirlilik içermez.
Feldspat	9-11	Sarımsı veya beyaz renkli, yarı köşeli ve köşeli şekillerde. Ayrışma izlenmemiştir.
Mika	3-4	Muskovit türü, ince levhalar şeklindedir.
Gröna	1	Kahve-kırmızı renkli, köşeli şekillerdedir.
Piroksen+Amfibol	0.5	Yarı köşeli ve ince taneler halinde yeşil tonlardadır.
İmürte (Opak)	1.5-2	Limonit, manyetit, hematit bileşimli, tek taneler şeklinde veya demir oksit (limonit) olarak feldspatlarla beraberdir.

Analiz sonuçlarına bağlı olarak örnek malzemenin kuvars kumu olduğu söylenebilir. Kullanılan kumun elek analizi Çizelge 2.18’de verilmiştir.

Çizelge 2.18: Kumun elek analizi.

Elek Açıklığı (mm)	Elekten Geçen %
31,5	100
16	100
8	100
4	99
2	95
1	83
0,5	61
0,25	17

2.2.4 Su

Üretimlerde şehir şebeke suyu kullanıldı.

2.2.5 Kimyasal katkı

Bu çalışmanın tamamında agrega kökeninin farklılığının 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 Çizelge 2.19’da verilmiştir.

Çizelge 2.19: Kimyasal katkıının özellikleri.

Özellik	
Yoğunluk	1,16
Ph	6
Renk- Görünüm	Koyu Kahverengi
Köpüklenme	0,1
Katı Madde	34,6
Homojenite	Homojen

2.3 Agreg a Karışım Oranları

Agregaların hacimce karışım oranları incelik modülü 4,05-4.08 oranı sabit tutularak yapılmıştır. Buna göre üretilen betonlarda kullanılan agregaların granülometri eğrileri EK-A Şekil A.1’de verilmiştir.

Numunelerin isimlendirilmesi aşamasında harfler kullanılan agreg a türünü, sayılar ise karışımlarda kullanılan ince agreg a içeriğini göstermektedir. Örneğin mavi kalker agregası kullanılarak üretilen betonlarda sadece kırma kum kullanılan karışım MK1, sadece kum kullanılan karışım MK2, hem kum hemde kırma kum kullanılan karışım MK12 olarak isimlendirilmiştir. Üretilen betonların isimlendirilmesi ve ince agreg a yüzdeleri Şekil 2.20’de verilmiştir.

Çizelge 2.20: Üretilen betonların isimlendirilmesi ve ince agrega %'si

Agrega Kökeni	Numune Kodu	İnce Agreg. % si
Bazalt	B1	% 100 Kırma Kum
	B2	% 100 Kum
	B12	% 44 Kum-%56 Kırma Kum
Kumtaşı	K1	% 100 Kırma Kum
	K2	% 100 Kum
	K12	% 42 Kum-%58 Kırma Kum
Dolomit	D1	% 100 Kırma Kum
	D2	% 100 Kum
	D12	% 43 Kum-%57 Kırma Kum
Beyaz Kalker	BK1	% 100 Kırma Kum
	BK2	% 100 Kum
	BK12	% 41 Kum-%59 Kırma Kum
Mavi Kalker	MK1	% 100 Kırma Kum
	MK2	% 100 Kum
	MK12	% 42 Kum-%58 Kırma Kum

2.4 Beton Karışımları

2.4.1 Yapılan varsayımlar

- Üretilen betonların granülometrisi aynı tutuldu.
- En büyük agrega boyutu sabit ve 31,5 mm olarak alındı.
- Aynı cins çimento ve akışkanlaştırıcı katkı kullanıldı.
- Agravalar yüzey kuru suya doygün durumda kullanıldı. Böylece her bir beton sınıfında efektif su / çimento oranı sabit tutuldu. Ancak agraganın emdiği su miktarı karışım suyuna ilave edildiği için toplam su/çimento oranları değişti.

2.4.2 Beton bileşim hesabı

Yapılan deneysel çalışmada 5 adet agrega cinsi kullanıldı. Her bir agrega türü için sadece kum, sadece kırma kum ve hem kum hem de kırma kum kullanılarak 3 ayrı bileşim hazırlanmış olup toplam 15 adet seri beton üretilmiştir.

Üretilen karışımların incelik modülü 4,05-4,08 aralığına uyacak şekilde oluşturulmuştur. Karışıma giren tüm agregalar etüv kurusu halinde kullanılmıştır. Üretimlerin tamamında hedef çökme değeri 14-16 cm olarak belirlenmiştir. Üretilen tüm karışımlarda çimento miktarı sabit olup 290 kg /m^3 , kimyasal katkı miktarı ise çimento ağırlığının % 0,8'i kadar kullanılmıştır. 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 hesaplanarak Çizelge 2.21'de verilmiştir.

Çizelge 2.21: Üretilen betonların gerçek bileşimleri (1m³ beton için)

Beton Kodu	Çimento (kg/m ³)	Kum (kg/m ³)	Kırma kum (kg/m ³)	Kırmataş 1 (kg/m ³)	Kırmataş 2 (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	Katkı (%)	Su/Çimento	Hava (%)	Gerçek Birim Ağırlık (kg/m ³)
K1	289	-	1025	390	357	239	0,8	0,83	2,0	2311
K2	295	728	-	482	597	225	0,8	0,76	0,2	2330
K12	287	353	520	432	471	236	0,8	0,82	1,4	2303
B1	289	-	903	555	418	234	0,8	0,81	1,3	2401
B2	291	693	-	765	409	219	0,8	0,75	1,0	2381
B12	298	348	474	611	469	219	0,8	0,73	0,6	2421
MK1	295	-	1043	398	360	233	0,8	0,78	0,6	2332
MK2	293	726	-	551	513	217	0,8	0,74	1,3	2303
MK12	299	367	534	482	444	208	0,8	0,70	1,3	2336
BK1	282	-	1058	450	165	221	0,8	0,78	5,1	2179
BK2	284	738	-	412	545	215	0,8	0,76	3,8	2196
BK12	284	367	550	427	356	213	0,8	0,75	4,3	2200
D1	286	-	1064	464	387	197	0,8	0,69	2,9	2401
D2	284	716	-	567	530	206	0,8	0,72	3,6	2306
D12	287	365	530	520	462	203	0,8	0,71	2,6	2369

2.4.3 Beton üretimi

Betonların üretiminde düşey eksenli cebri karıştırıcı 50 dm³ kapasiteli betoniye kullanıldı. Malzemenin daha iyi karışması için kum, kaba agrega ve çimento betoniye konulup kuru karışım yapılmıştır. Karma suyunun yarısına yakının kuru karışım eklenmesi ile karışım devam edilmiştir. Kalan suya akışkanlaştırıcı eklenip karışımın içine eklenmiştir. Taze beton üzerinde çökme ve birim ağırlık deneyleri yapıldıktan sonra beton bir süre daha karıştırılıp ardından vibre edilerek kalıplara yerleştirilmiştir.

2.4.4 Üretilen numuneler

Her karışım boyutları 150x150x150 mm olan 6 adet küpe ve çapı 150 mm yüksekliği 300 mm olan 3 adet silindire yerleştirilerek her üretimden toplam 9 adet numune üretilmiştir. Beton numuneleri 24 saat sonra kalıptan çıkarılarak 20 ±2 °C deki kirece doymuş su içinde saklanmıştır. 7. günde küp numunelerde basınç ve 28. günde ise küp numunelere basınç ve ultrases deneyi silindir numunelerde ise basınç ve elastisite modülü deneyi yapılmıştır.

2.5 Taze Beton Deneyleri

2.5.1 Çökme deneyi

Taze Betonun işlenebilme özelliğinin ölçülmesi amacıyla TS EN 12350-2'e göre çökme hunisi ile çökme deneyi yapılmıştır. Çökme deneyinde üst çapı 10 cm, alt çapı 20 cm ve yüksekliği 30 cm olan kesik koni içine eşit yükseklikte 3 tabaka halinde beton doldurulur. Her tabaka doldurulduktan sonra 25 defa çelik çubuk ile şişlenerek malzemenin yerleşmesi sağlanır. Koni tamamen doldurulduktan sonra üstü mala ile düzlenir ve doldurulan beton sarsılmadan kesik koni kalıp yukarı çekilir. Çökme miktarı kesik koninin üst kenarı ile yayılan betonun üstünde oluşan en yüksek orta ve en düşük yükseklikler alınarak çökme miktarı bulunur.

Çökme miktarının fazla olması betonun kendi ağırlığı altındaki hareket etme kabiliyetinin büyük olduğunu gösterir. Bu bakımdan çökme miktarı ne kadar fazla ise işlenebilme özelliğini derecesi okadar fazladır.

2.5.2 Birim ağırlık deneyi

Taze betonun gerçek malzeme miktarlarını hesaplayabilmek için betonda birim ağırlık deneyi yapılmıştır. Bu deney esnasında 7,2 lt 'lık birim ağırlık kabı kullanılmıştır. Bu kaba beton vibre edilerek yerleştirilmiş daha sonra tartılmış ve tartım sonucunda çıkan ağırlık kabın darası düşüldükten sonra kabın hacmine bölünerek birim ağırlık bulunmuştur.

2.6 Sertleşmiş Beton Deneyleri

2.6.1 Basınç dayanımı deneyi

Üretilen betonlardan küp numunelerde 7 ve 28. günde basınç deneyi, silindir numunelere ise 27.günde kür havuzundan çıkarılıp numunelerin üst yüzeylerine çimento+kum karışımınılı harç ile başlık yapıldıktan sonra 28.günde basınç deneyi yapılmıştır.

2.6.2 Ultrases deneyi.

Üretilen numunlerden 3 adet küp numune üzerinde 28. günde ultrases hızı ölçümleri yapılmıştır. Deney tek eksenli basınç deneyine tabi tutulacak numunelere uygulanmıştır. Bu deney esnasında tüm numunelerin boyları ölçülmüş, karşılıklı yüzeyleri üzerine gres yağı sürülüp numune ses alıcı ve verici proplar arasına yerleştirilmiştir. Sesin numune boyunca geçiş süresi mikro saniye cinsinden ölçülmüştür. Sesin numuneden geçiş süresi, numunenin boyuna bölünerek ultrases hızı (km/s) biriminde tespit edilmiştir. Her bir karışıma ait hızlar üçer adet deney numunesindeki sonuçların ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

2.6.3 Elastite modülü deneyi.

27.günde kür havuzundan çıkarılıp beton başlık yapılarak kurumaya bırakılan 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğindeki silindir numunelere 28.günde 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 eğrisinden elastisite modülleri hesaplandı. Elastisite modülü hesaplanırken gerilme-şekil değiştirme eğrisinde, maksimum yükün % 33'üne kadar olan bölgedeki gerilme şekil değiştirme değerleri kullanıldı.

3.DENEY SONUÇLARI

3.1 Taze Beton Deney Sonuçları

3.1.1 Çökme deney sonuçları

Üretilen betonlara ait çökme deney sonuçları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1: Çökme deneyi sonuçları.

Beton Kodu	Beton Kodu	Çökme (cm)
Kumtaşı (%100 Kırma Kum)	K1	15,5
Kumtaşı (%100 Kum)	K2	16
Kumtaşı (% 42 Kum-%58 Kırma Kum)	K12	14
Bazalt (%100 Kırma Kum)	B1	14
Bazalt (%100 Kum)	B2	14
Bazalt (% 44 Kum-%56 Kırma Kum)	B12	16
Mavi Kalker (%100 Kırma Kum)	MK1	15
Mavi Kalker (%100 Kum)	MK2	16
Mavi Kalker (% 42 Kum-%58 Kırma Kum)	MK12	15,5
Beyaz Kalker (%100 Kırma Kum)	BK1	15
Beyaz Kalker (%100 Kum)	BK2	15,5
Beyaz Kalker (% 41 Kum-%59 Kırma Kum)	BK12	15
Dolomit (%100 Kırma Kum)	D1	15
Dolomit (%100 Kum)	D2	14
Dolomit (% 43 Kum-%57 Kırma Kum)	D12	15

3.1.2 Birim ağırlık deney sonuçları

Üretilen betonlara ait hava miktarı, teorik ve gerçek birim ağırlık değerleri Çizelge 3.2’de verilmektedir.

Çizelge 3.2: Hava miktarı, teorik ve gerçek birim ağırlık değerleri.

Beton Kodu	Teorik Birim Ağırlık (kg/m ³)	Gerçek Birim Ağırlık (kg/m ³)	Hava Miktarı (%)
K1	2311	2311	2,0
K2	2292	2330	0,2
K12	2306	2303	1,4
B1	2402	2401	1,3
B2	2369	2381	1,0
B12	2372	2421	0,6
MK1	2299	2332	0,6
MK2	2287	2303	1,3
MK12	2294	2336	1,3
BK1	2249	2179	5,1
BK2	2244	2196	3,8
BK12	2251	2200	4,3
D1	2431	2401	2,9
D2	2352	2306	3,6
D12	2392	2369	2,6

3.2 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

3.2.1 Basınç dayanımı deneyi sonuçları

Üretilen betonlara ait 7 ve 28 günlük küp basınç dayanımları ve 28.gün silindir basınç dayanımları Çizelge 3.3'te verilmiştir. Bu sonuçlar 3 adet numunenin ortalamasıdır.

Çizelge 3.3: Basınç dayanım değerleri.

Beton Kodu	Basınç Dayanımları (MPa)		
	Küp		Silindir
	7. Gün	28. Gün	28.Gün
K1	20,3	26,2	26,0
K2	21,3	27,4	27,5
K12	22,6	31,1	26,3
B1	23,4	33,8	32,8
B2	24,0	33,2	27,1
B12	28,4	36,4	33,4
MK1	26,6	32,2	29,0
MK2	26,9	35,3	34,3
MK12	32,6	39,0	32,6
BK1	25,5	30,4	28,5
BK2	27,2	33,6	31,8
BK12	30,3	34,1	31,3
D1	32,4	39,6	36,2
D2	24,6	33,1	31,2
D12	30,0	35,3	30,7

3.2.2 Ultrases hızı deney sonuçları

Ultrases deneyi numuneler 28.günde küp numunelere basınç deneyi uygulanmadan önce yapılmıştır. Ultrases hızı deney sonuçları Çizelge 3.4'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.4: Ultrases hızı deney sonuçları (km/sn)

Agrega Tipi	Numune Kodları		
	Kırma Kum (1)	Kum (2)	Kum-Kırma Kum (12)
	Ultrases Hızı(km/sn)		
Kumtaşı (K)	5,29	5,56	5,24
Bazalt (B)	5,58	5,47	5,70
Mavi Kalker (MK)	5,81	5,75	5,94
Beyaz Kalker (BK)	5,50	5,60	5,64
Dolomit (D)	6,58	6,02	6,50

3.2.3 Elastisite modülü değerleri

Silindir numuneler üzerinde yapılan basınç deneyi sırasında belli aralıklarla ölçülen defarmasyon değerleri gerilme-defarmasyon diyagramında yerine konularak elastisite modülleri hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5: Elastisite modülü değerleri (N/mm²)

Agrega Tipi	Numune Kodları		
	Kırma Kum (1)	Kum (2)	Kum-Kırma Kum (12)
	Elastisite Modülü (MPa)		
Kumtaşı (K)	23804	26346	23357
Bazalt (B)	25750	26267	25700
Mavi Kalker (MK)	27700	26600	27767
Beyaz Kalker (BK)	26500	28400	26500
Dolomit (D)	34067	29000	29450

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde deney sonuçlarının irdelenmesi ve değerlendirilmesi yapıldı. Farklı agrağa türlerinin ve kırma kum kullanımının taze ve sertleşmiş beton özelliklerine ne tür değişikliklere yol açtığı ve neden-sonuç ilişkisi incelenmiştir.

4.1 Taze Beton Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4.1.1 Çökme deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Çizelge 3.1'den görüldüğü gibi kumtaşı agregasıyla üretilen betonların kıvam değerleri 14-16 arasında değişmektedir. K2 serisinin su miktarı referans alınır, K1 serisinin aynı işlenebilirlikte olabilmesi için % 6 daha fazla suya, K12 serisinin ise % 5 suya ihtiyaç duyduğu görülmektedir. B2 serisinin su miktarı referans alınır, B1 serisinin aynı işlenebilirlikte olabilmesi için % 6, B12 serisinin su miktarı aynı olduğu görülmektedir. MK2 serisinin su miktarı referans alınır, MK1 serisinin aynı işlenebilirlikte olabilmesi için % 7 daha fazla suya, MK12 serisinin ise % 9 daha az suya ihtiyaç duyduğu görülmektedir. BK2 serisinin su miktarı referans alınır, BK1 serisinin aynı işlenebilirlikte olabilmesi için % 3 daha fazla suya, BK12 serisinin ise % 1 daha az suya ihtiyaç duyduğu görülmektedir. D2 serisinin su miktarı referans alınır, D1 serisinin aynı işlenebilirlikte olabilmesi için % 4 daha az suya, D12 serisinin ise % 2 daha az suya ihtiyaç duyduğu görülmektedir. Deneyler sonunda alınan sonuçlar Terzibaşıoğlu'nun yaptığı çalışma ile uygunluk göstermektedir [47].

Agregaların yüzey yapıları bu sonuçlar üzerinde etkili olabilir. Ayrıca agregaların zamana göre su emme oranları da farklı olabilmektedir.

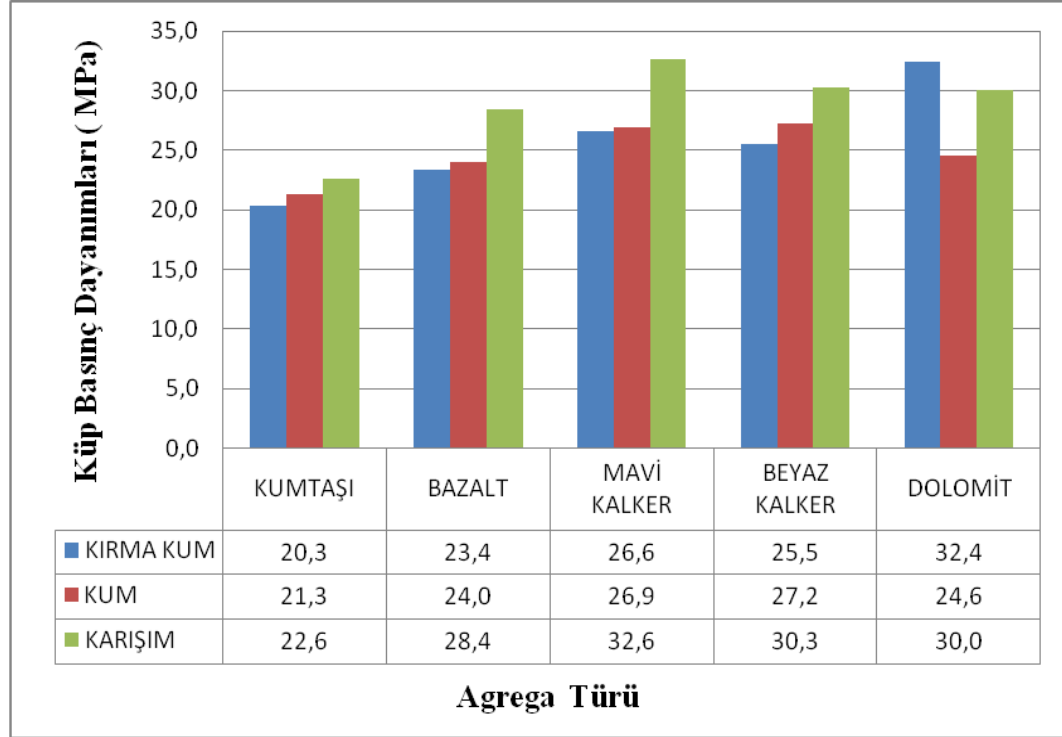
4.1.2 Birim ağırlık deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Çizelge 3.2'de verilen değerler incelendiğinde, 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 7 Günlük basınç deney sonuçlarının değerlendirilmesi



Şekil 4.1: Üretilen betonların 7 günlük basınç dayanımları.

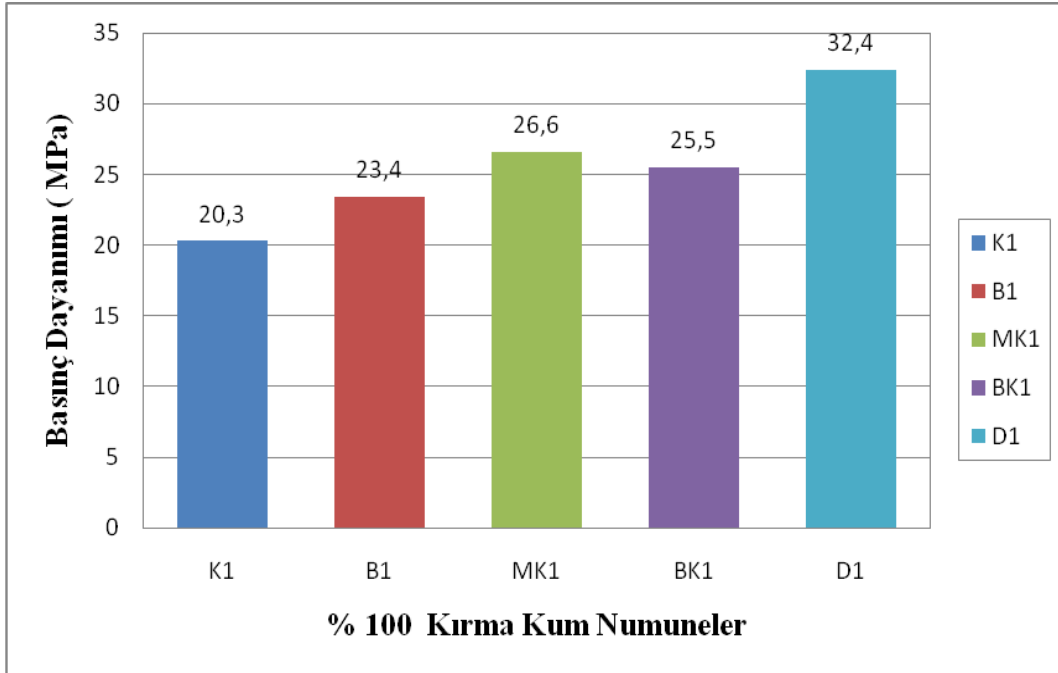
Çizelge 3.3 ve Şekil 4.1 incelendiğinde;

- K1 serisi referans alınır, 7 günlük mukavemet sonuçlarında, K2 serisinin %5 ve K12 serisinin %11 daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülmektedir.
- B1 serisi referans alınır, 7 günlük mukavemet sonuçlarında, B2 serisinin %2 ve B12 serisinin %21 daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülmektedir.
- MK1 serisi referans alınır, 7 günlük mukavemet sonuçlarında, MK2 serisinin %1 ve MK12 serisinin %22 daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülmektedir.

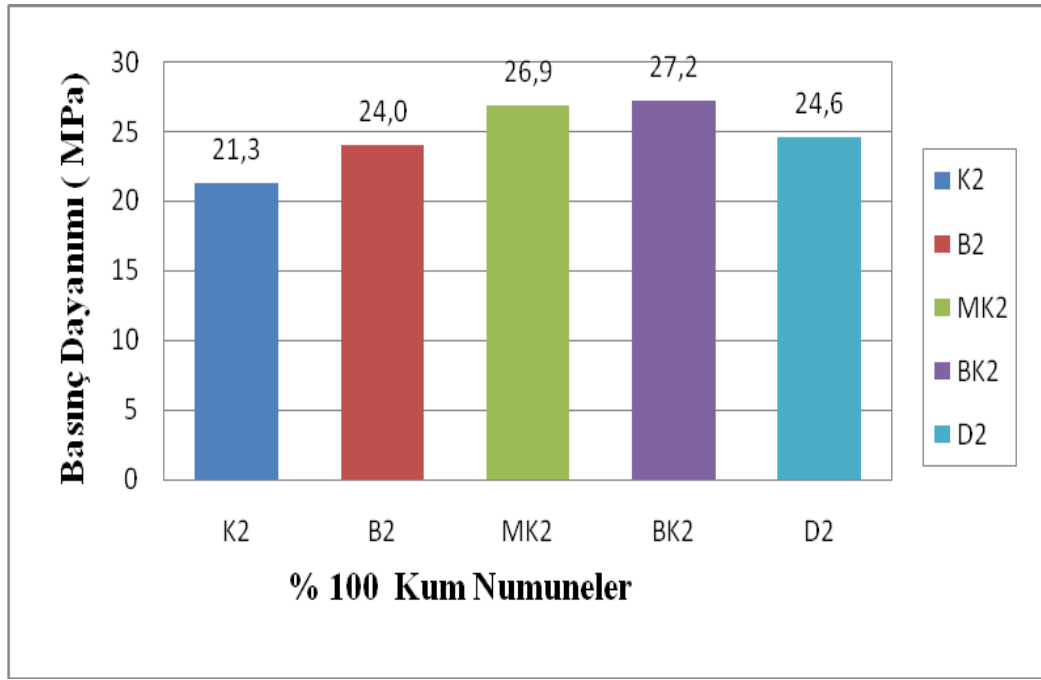
- BK1 serisi referans alınır, 7 günlük mukavemet sonuçlarında, BK2 serisinin %6 ve BK12 serisinin %18 daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülmektedir.
- D1 serisi referans alınır, 7 günlük mukavemet sonuçlarında, D2 serisinin %24 ve D12 serisinin %8 daha düşük mukavemete sahip olduğu görülmektedir.

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

Şekil 4.2: %100 Kırma kum ile üretilen betonların 7 günlük basınç dayanımları.

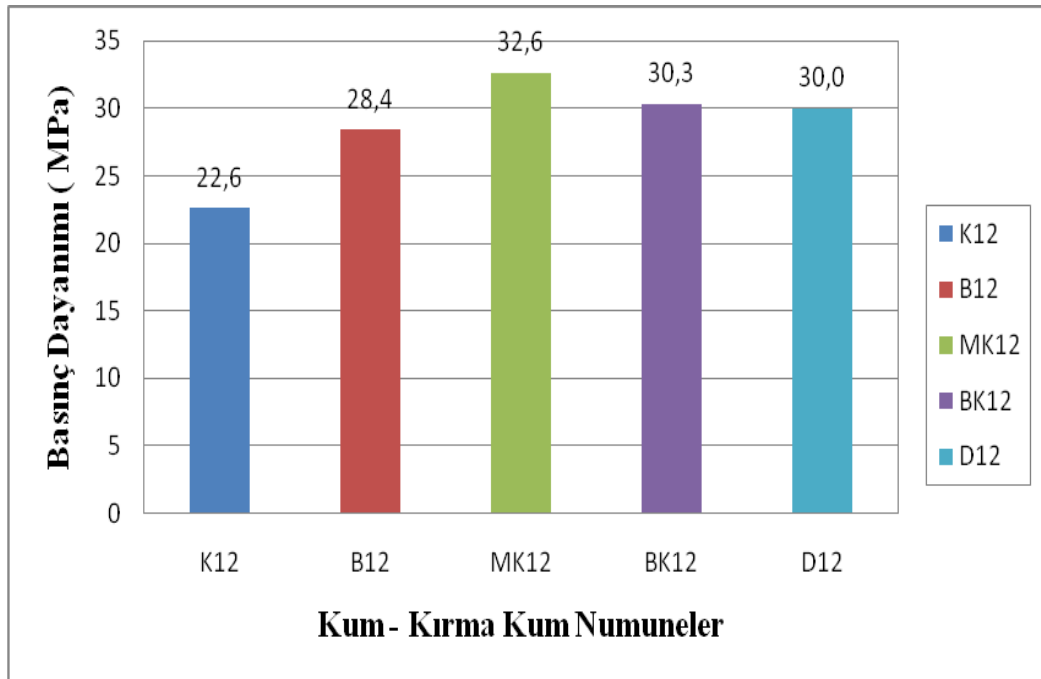


Şekil 4.2’de görüldüğü üzere sadece kırma kum kullanılarak üretilen betonların 7 günlük basınç dayanımlarında en yüksek değere dolomitin sahip olması, mukavemete etki eden en önemli faktörlerden birisi olan su/çimento oranının diğerlerine göre daha düşük olmasından kaynaklanabilir.



Şekil 4.3: %100 Kum ile üretilen betonların 7 günlük basınç dayanımları.

Şekil 4.3’de görüldüğü üzere mavi kalker agregasının 7 günlük basınç dayanımı diğer agregalara oranla yüksektir.

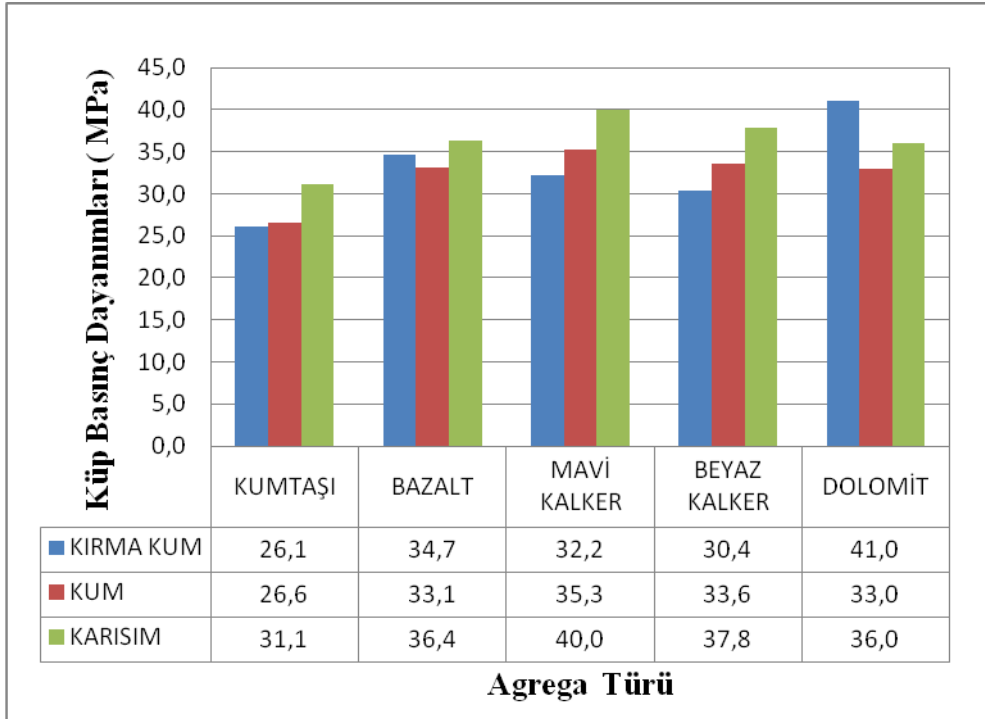


Şekil 4.4: Kum-kırma kum ile üretilen betonların 7 günlük basınç dayanımları.

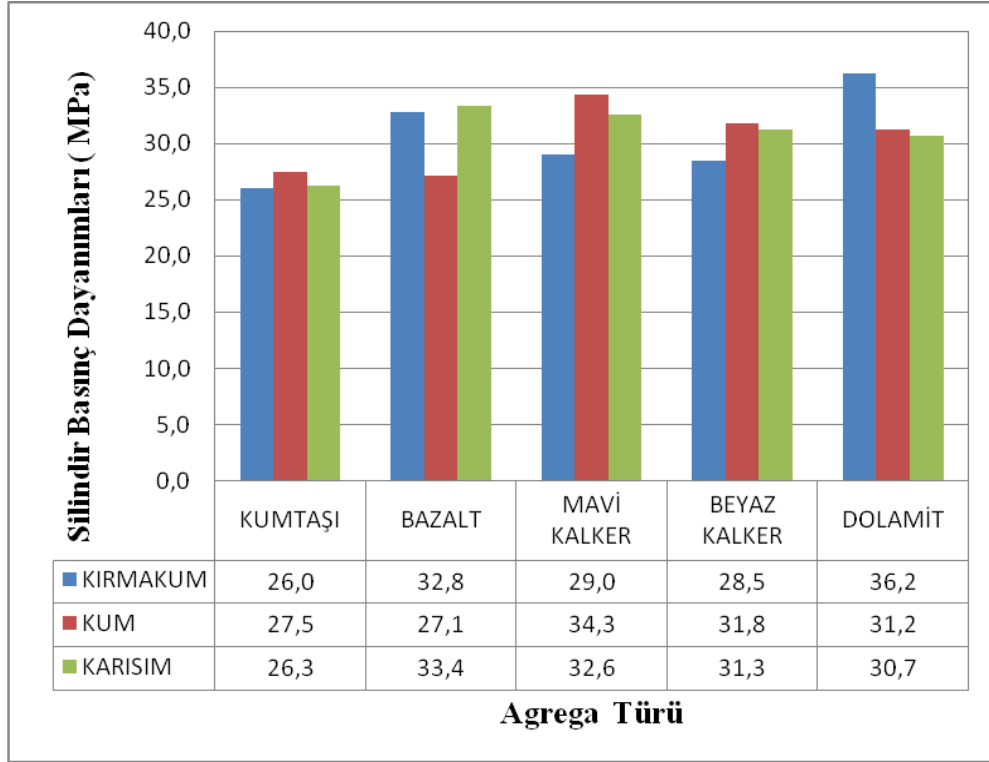
Şekil 4.4’de görüldüğü üzere mavi kalker agregasının 7 günlük basınç dayanımı diğer agregalara oranla yüksektir. Mavi kalkerin yüzey özellikleri ve minerolojisi bu sonuçlarda etkili olabilir.

4.2.2 28 Günlük basınç deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi

Çizelge 3.3’de ve Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da görüldüğü gibi küp numuneler, geçmiş yıllardaki çalışmalarda olduğu gibi, silindir numunelerden daha yüksek basınç dayanımına sahiptir.



Şekil 4.5: Küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımları.



Şekil 4.6: Silindir numunelerin 28 günlük basınç dayanımları.

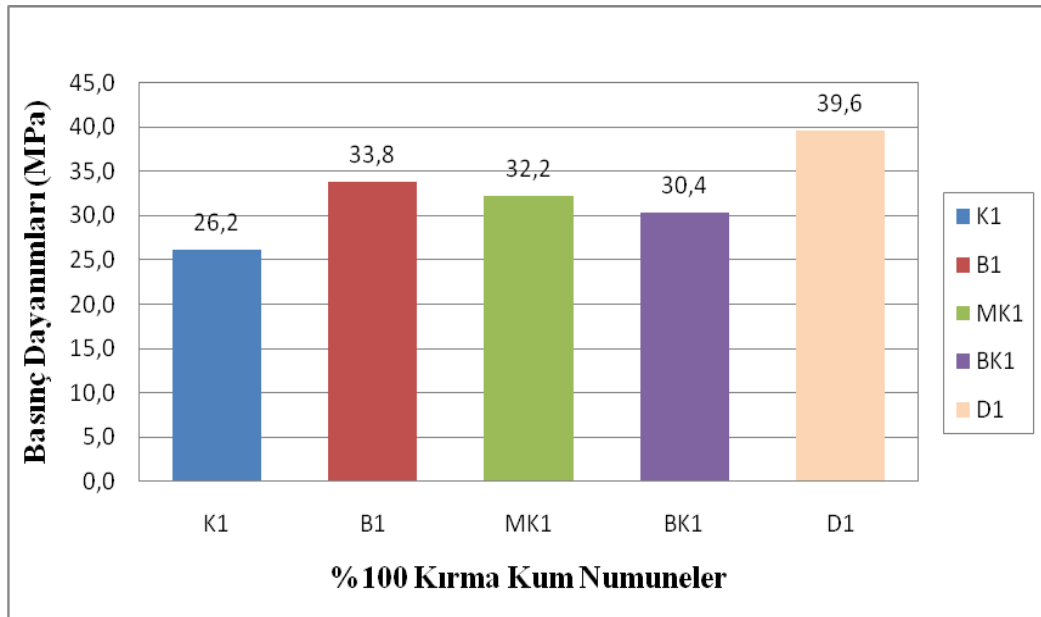
Bu sonuçlar incelendiğinde 28 günlük silindir ve küp basınç dayanımlarının farklı kökenli agregalara göre değişimlerinin benzer olduğu söylenebilir. 28 günlük küp basınç dayanımları incelendiğinde ise;

- K1 serisi referans alınır, 28 günlük mukavemet sonuçlarında, K2 serisinin %5 ve K12 serisinin %19 daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülmektedir. Kumtaşı agregası kullanılarak yapılacak üretimlerde kum ve kırma kum kullanılmasının daha faydalı olduğu düşünülmektedir.
- B1 serisi referans alınır, 28 günlük mukavemet sonuçlarında, B2 serisinin %2 daha düşük ve B12 serisinin ise %7 daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülmektedir. Bazalt agregası kullanılarak yapılacak üretimlerde kum ve kırma kum kullanılmasının daha faydalı olduğu düşünülmektedir.
- MK1 serisi referans alınır, 28 günlük mukavemet sonuçlarında, MK2 serisinin %9 ve MK12 serisinin %21 daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülmektedir. Mavi kalker agregası kullanılarak yapılacak

üretimlerde kum ve kırma kum kullanılmasının daha faydalı olduğu düşünülmektedir.

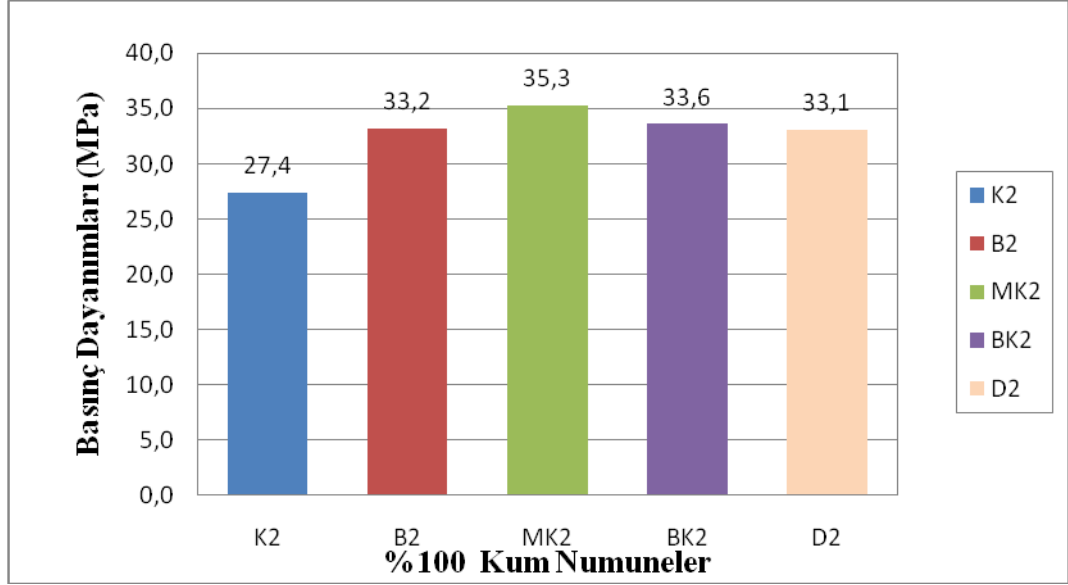
- BK1 serisi referans alınır, 28 günlük mukavemet sonuçlarında, BK2 serisinin %10 ve BK12 serisinin %12 daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülmektedir. Beyaz kalker agregası kullanılarak yapılacak üretimlerde kum ve kırma kum kullanılmasının daha faydalı olduğu düşünülmektedir.
- D1 serisi referans alınır, 28 günlük mukavemet sonuçlarında, D2 serisinin %17 ve D12 serisinin %11 daha düşük mukavemete sahip olduğu görülmektedir. Dolomit agregası kullanılarak yapılacak üretimlerde kırma kum kullanılmasının daha faydalı olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca bu bölümde sadece kum kullanılarak üretilen numunelerin küp basınç dayanımları Şekil 4.7’de, sadece kırma kum kullanılarak üretilen numunelerin küp basınç dayanımları Şekil 4.8’de ve kum-kırma kum kullanılarak üretilen numunelerin küp basınç dayanımları Şekil 4.9’da verilmiştir.



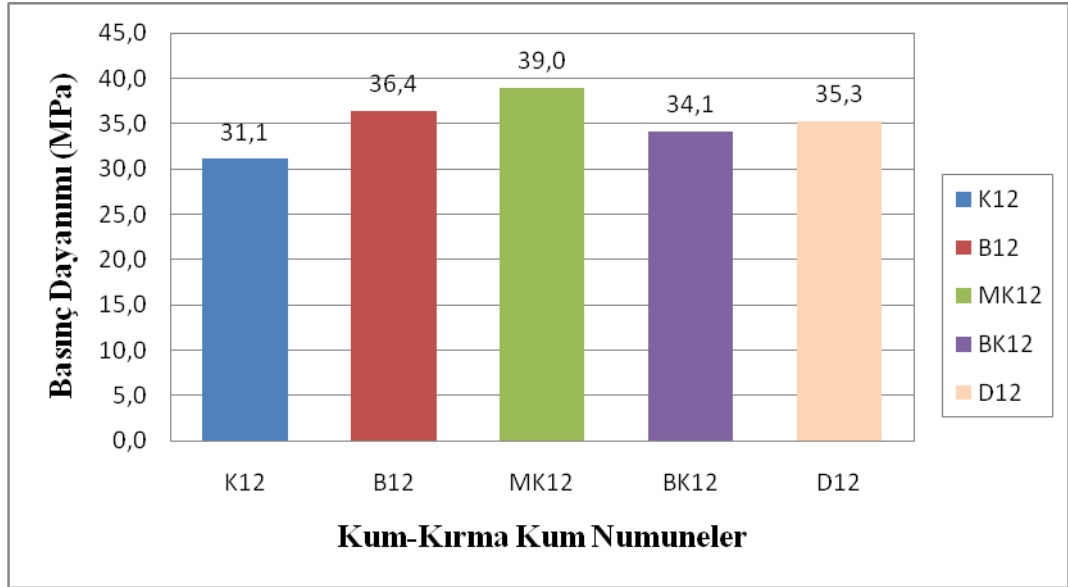
Şekil 4.7: %100 Kırma kum ile üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımları.

Şekil 4.7’de görüldüğü üzere sadece kırma kum kullanılarak üretilen betonların 7 günlük basınç dayanımlarında olduğu gibi en yüksek basınç değerine dolomit sahip olmuştur.



Şekil 4.8: %100 Kum ile üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımları.

Şekil 4.8’de görüldüğü gibi yalnızca kum kullanılarak üretilen numunelerden en yüksek basınç dayanımına mavi kalker sahip olmasının en önemli nedenlerinden birisi su/çimento oranının diğer numunelerin su/çimento oranına göre düşük olmasıdır.



Şekil 4.9: Kum- kırma kum ile üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımları.

Şekil 4.9’da görüldüğü gibi yalnızca kum-kırma kum kullanılarak üretilen numunelerden en yüksek basınç dayanımına 7 günlük basınç dayanımında olduğu gibi mavi kalker sahip olmuştur. Bunun nedeni olarak ise mavi kalkerin çimento

hamuruyla elastik uyumunun diğerlerine göre daha iyi olması ve agreganın yüzey yapısı gösterilebilir.

Ayrıca çimento hamuru ile en iyi aderansı sağlayan kayaçlar kalsiyum karbonatlar, yani kalkerlerdir [51]. Çimentonun hidratasyonu sırasında bazı kristal yapıları bileşenler [örneğin $\text{Ca}(\text{OH})_2$] ilk önce çökerek agrega yüzeyini ince bir tabaka halinde kaplar. Eğer çökelen bu ince tabakanın kristal yapısı ile agreganın kristal yapısının kafes sistemleri birbirlerine uygunsa bu yapılar arasında süreklilik oluşturularak bir aderans meydana gelir [52]. Bu tip bir aderans kalkerli agregalarda gerçekleşebilir.

4.2.3 7 ve 28 Günlük basınç deneyleri sonuçlarının karşılaştırılması

Üretilen betonlardan alınan küp numunelere 7. ve 28. günlerin sonunda uygulanan basınç deneyleri arasındaki ilişki Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1: Küp numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanım oranları.

Beton Kodu	7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	7/28 Oranları
K1	20,3	26,2	0,77
K2	21,3	27,4	0,78
K12	22,6	31,1	0,73
B1	23,4	33,8	0,69
B2	24,0	33,2	0,72
B12	28,4	36,4	0,78
MK1	26,6	32,2	0,83
MK2	26,9	35,3	0,76
MK12	32,6	39,0	0,84
BK1	25,5	30,4	0,84
BK2	27,2	33,6	0,81
BK12	30,3	34,1	0,89
D1	32,4	39,6	0,82
D2	24,6	33,1	0,74
D12	30,0	35,3	0,85

4.2.4 Ultrases hızı deney sonuçlarının değerlendirilmesi

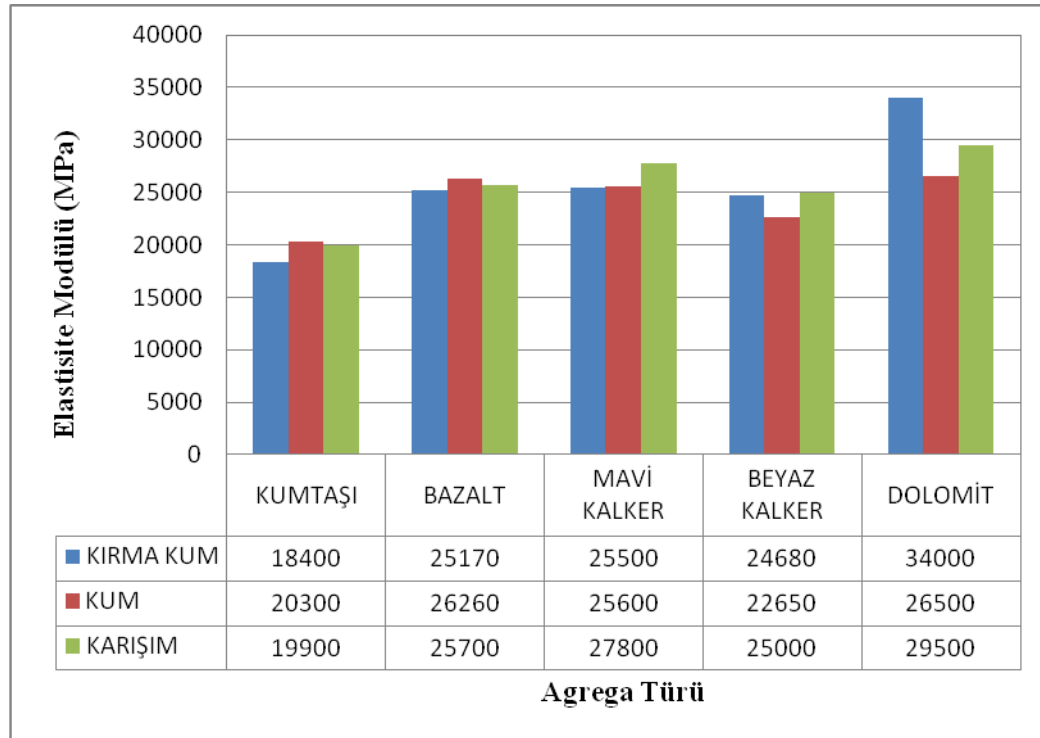
Genel olarak çok yüksek hızların (>4570 m/s) çok kaliteli betonun göstergesi ve çok düşük hızlarının da (<3050 m/s) kalitesiz betonun göstergesi olduğu

bilinmektedir. Buna göre üretilen betonların tamamı kaliteli beton sınıfına girebilmektedir.

Çizelge 3.4 incelendiğinde K1 numunesinin ultrases hızının en düşük olduğu gözlenmiştir. Bu serinin beton karışımına giren su miktarının, çimentonun hidrasyonu için ihtiyaç duyulandan daha fazla olması, fazla suyun buharlaşarak yerini boşluğa bırakması nedeniyle olabileceği düşünülmektedir. Dolomit agregası kullanılarak üretilen numunelerin su/çimento oranlarının diğer agrega türlerinde ki orandan düşük olması ultrases hızlarının yüksek olduğu gözlenmektedir.

4.2.5. Elastisite modülü değerlerinin değerlendirilmesi

Çizelge 3.5'te verilen sonuçlar Şekil 4.10'da grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.10: Elastisite modülü deneyi sonuçları.

Betonun elastisite modülü agreganın elastisite modülünden ve hacim konsantrasyonundan etkilenir.

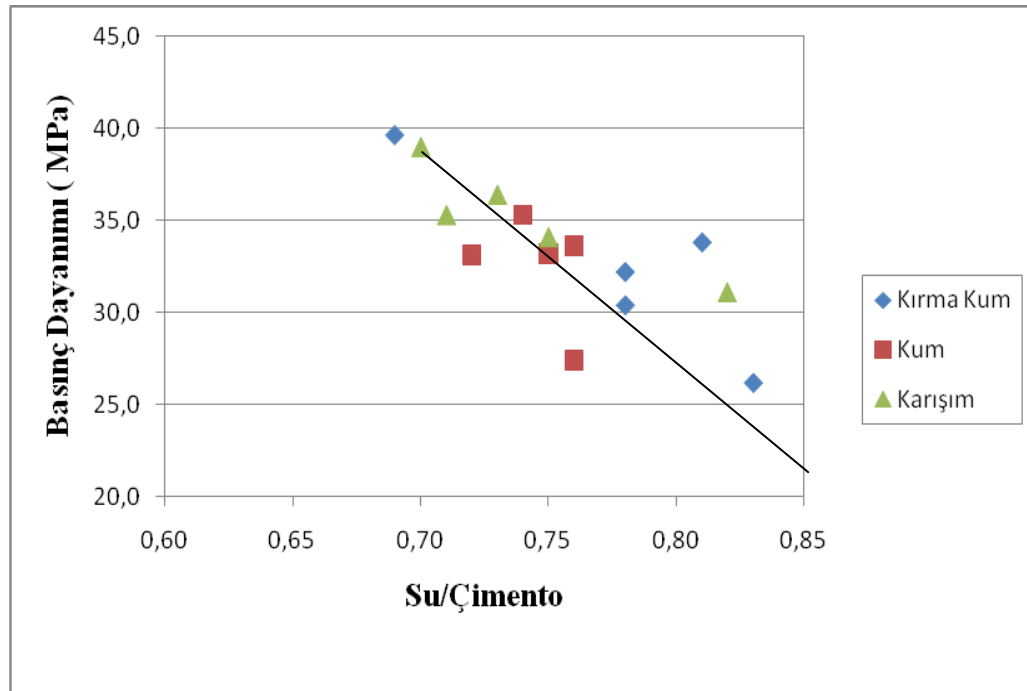
Çizelge 3.6 ve Şekil 4.10 incelendiğinde elastisite modülü en düşük kayaç beyaz kalker olduğu için bu agrega ile üretilen betonların daha düşük elastisite modülüne sahip olması gerektiği düşünülebilir. Ancak deney sonuçları incelendiğinde

elastisite modülü daha yüksek olan kumtaşı ile üretilen betonların en düşük beton elastisite modüllerine sahip olduğu görülmüştür.

Baalbaki [40] tarafından yapılan araştırmada da benzer sonuçlar bulunmuş, kumtaşının elastisite modülü daha yüksek olmasına karşın kumtaşı agregasıyla üretilen betonun elastisite modülü daha düşük çıkmıştır.

4.2.6 Su/çimento oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

Üretilen betonlardan alınan küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımlarının, su/çimento oranı ile değişimi kullanılan ince agrega içeriklerine göre Şekil 4.11’de verilmiştir.

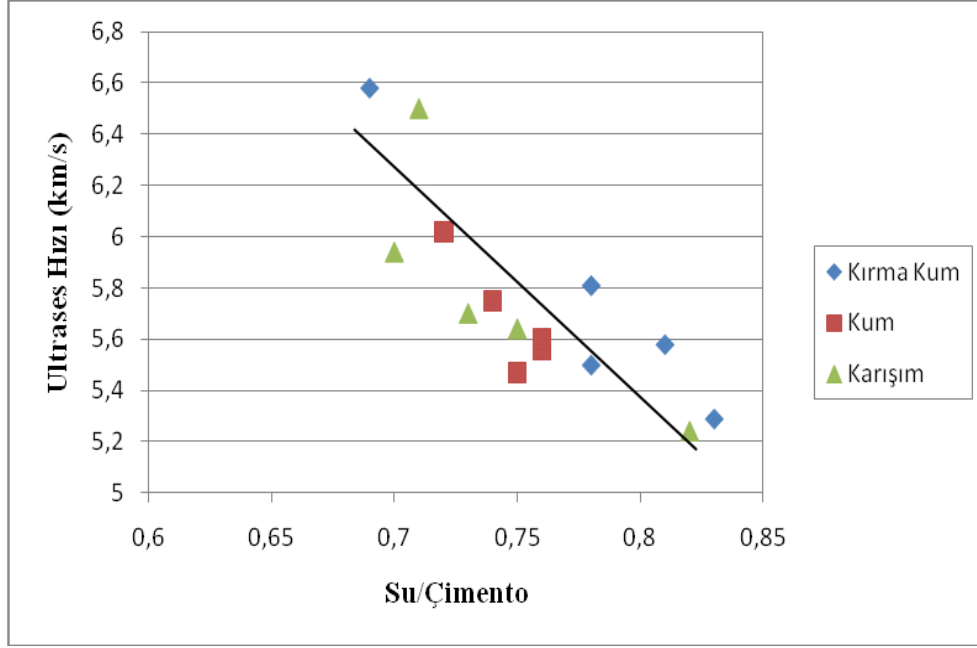


Şekil 4.11: Su/çimento oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.

Şekil 4.11’e göre su/çimento oranının artması ile betonun basınç mukavemetinde azalma olduğu görülmüştür. Sadece kırma kum kullanılan betonların istenilen işlenebilmeyi sağlaması için daha fazla suya ihtiyaç duyması nedeniyle basınç dayanımlarının azaldığı söylenebilir.

4.2.7 Su/çimento oranı ile ultrases hızı arasındaki ilişki

Üretilen betonlardan alınan küp numunelerin ultrases hızının, su/çimento oranı ile değişimi kullanılan ince agrega içeriklerine göre Şekil 4.12’de verilmiştir.

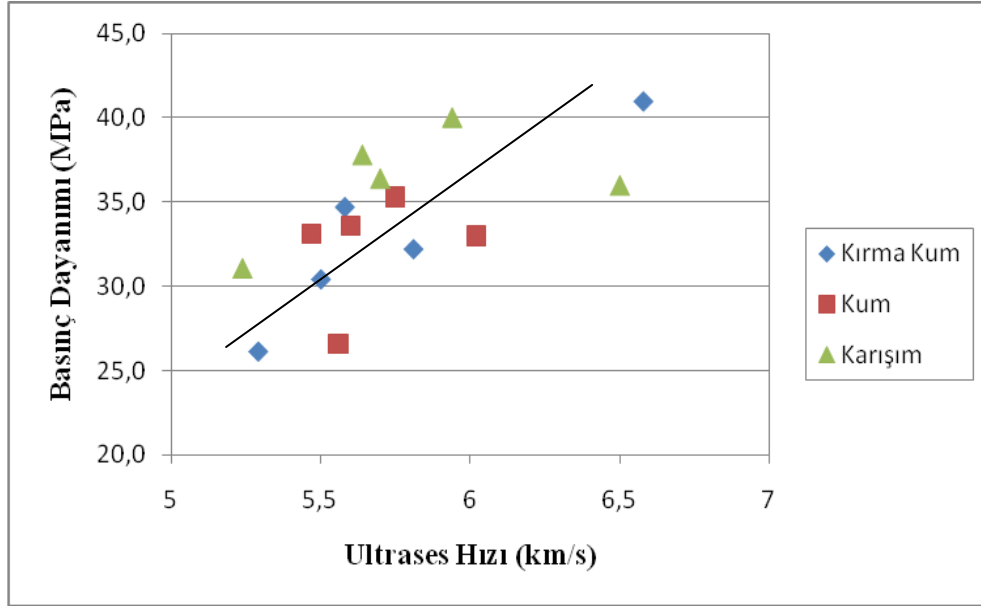


Şekil 4.12: Su/çimento oranı ile ultrases hızı arasındaki ilişki.

Şekil 4.12 incelendiğinde su/çimento oranı arttığında ultrases hızının azaldığı görülmektedir. Ultrases hızı, sesin beton içinden geçme hızı olduğundan boşluklu betonda daha düşük, boşluksuz betonda daha yüksek olması beklenir. Su/çimento oranının artması numunedeki boşluk oranının artmasına neden olacağından, ultrases hızının düşmesine neden olmaktadır.

4.2.8 Ultrases hızı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

Üretilen betonlardan alınan küp numunelerin ultrases hızının, basınç dayanımı ile değişimi kullanılan ince agregâ içeriklerine göre Şekil 4.13’de verilmiştir.

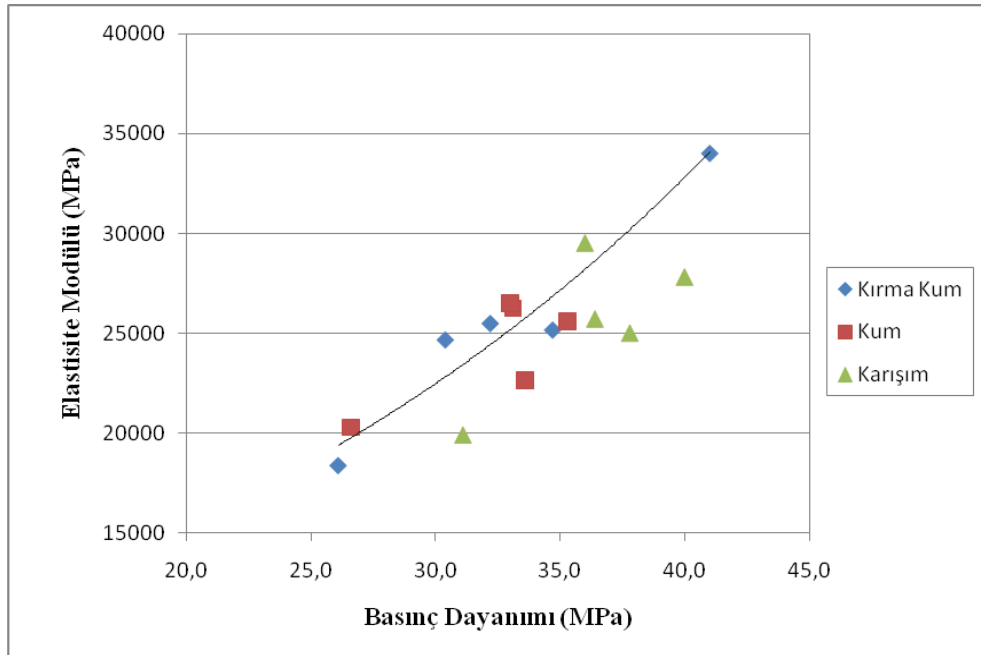


Şekil 4.13: Ultrases hızı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.

Şekil 4.13 incelendiğinde basınç dayanımının artmasıyla ultrases hızının arttığı gözlenmiştir. Su/çimento oranının azalması basınç mukavemetini ve ultrases hızını yükselmesine neden olduğu söylenebilir.

4.2.9 Elastisite modülü ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

Üretilen betonlardan alınan küp numunelerin elastisite modülünün, basınç dayanımı ile değişimi kullanılan ince agregra içeriklerine göre Şekil 4.14’de verilmiştir.



Şekil 4.14: Elastisite modülü ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.

Şekil 4.14’de görüldüğü gibi elastisite modülünün artması ile betonun basınç dayanımının arttığı görülmüştür. Betonun basınç dayanımı artarken, çimento hamuru matrisi ve ara yüzey daha yoğun ve daha sıkı olur. Ayrıca çimento hamurunun ve agregaların birbirine daha uyumlu elastik özellikleri sayesinde elastisite modülü yükselir [53].

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Taze Beton Özellikleri İle ilgili Sonuçlar

- Aynı işlenebilirliğin sağlanabilmesi için sadece kırma kum kullanılarak üretilen betonlarda daha fazla suya ihtiyaç duyulduğu görülmüştür.
- Kullanılan agreganın kökenine bağlı olarak, özgül ağırlığı yüksek olan agreganın beton üretiminde 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 modülü değerlerini düşürmektedir.
- Kumtaşı ve bazalt agregaları kullanılarak üretilen betonların ilk günlerdeki basınç dayanımı gelişiminin, diğer agregalara göre daha yavaş olduğu gözlenmiştir.
- Özgül ağırlığı diğer agregalara oranla nispeten yüksek olan dolomit agregasıyla üretilen kum-kırma kum serisinin basınç dayanımı sonuçlarının başarılı olması, kayacın sık dokulu, boşluksuz ve daha az su gereksinimi duyması gösterilebilir.
- Mavi kalker agregası ile yapılan betonlarda kum ve kırma kumun birlikte kullanılmasının daha yararlı olacağı düşünülmektedir.
- Dolomit agregası ile üretilen betonlar için sadece kırma kumun kullanıldığı karışımının seçilmesinin daha yararlı olduğu söylenebilir.
- Bazalt agregası kullanılarak üretilen betonlarda yalnızca kum veya kum-kırma kumun birlikte kullanılması durumlarında önemli bir fark olmadığı görülmektedir.
- Beyaz kalker agregası ile yapılan betonlarda kum ve kırma kumun birlikte kullanılmasının daha yararlı olacağı düşünülmektedir.

- Kumtaşı agregası ile yapılan betonlarda kum ve kırma kumun birlikte kullanılmasının daha yararlı olacağı düşünülmektedir.

Yapılmış olan bu çalışmada 5 farklı kökenli agregası kullanılarak sadece kum, sadece kırma kum ve kum-kırma kum kullanılarak üretilen betonların mekanik özellikleri incelenmiştir. İnce agregası olarak kullanılan kırma kum, farklı oranlarda kullanılarak ve s/ç oranı sabit tutularak gelecekte çalışmalar yapılabilir. Bu konuda ayrıca farklı tipte agregası, katkı maddesi ve değişik dozajlarda çimento kullanılarak betonlar üretilmeli ve bu konuyla ilgili çalışmalar da yapılmalıdır. Ayrıca varılan yargıları desteklemek için bu çalışmadaki ve yapılacak olan çalışmalarda kırma kumlu betonların durabilite özellikleri de çok iyi araştırılarak kullanımlarına karar verilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] **Erdoğan, T.Y.**, 1995, *Betonu Oluşturan Malzemeler Agregalar*, Türkiye Hazır Betonlar Birliği Yayını, İstanbul.
- [2] **Erdoğan, T.Y.**, 1995, *Agregalar*, Türkiye Hazır Betonlar Birliği Yayını.
- [3] **Özkul, M.H., Taşdemir, M.A., Tokyay, M., Uyan, M.**, 1999, *Her Yönüyle Beton*, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.
- [4] **ACI Committe 201**, 1994, *Guide Durable Concretes, ACI Manual of Concrete Practice, Part I*.
- [5] **Erdoğan, T.Y.**, 2003, *Beton* ODTÜ Yayıncılık sf.92-93.
- [6] **Popovics, S.**, 1998, *Strength and Related Properties of Concrete-A Quantitative Approach*, John Wiley & Sons Inc.
- [7] **Taşdemir, C.**, 1995, *Agrega-çimento hamuru arayüzeyi mikroyapısının yüksek mukavemetli betonların kırılma parametrelerine etkisi, Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] **Zhong, M.H. and Gjörv, O.E.**, 1990, *Microstructure of the interfacial zone between light weight aggregate and cement paste*, *Cement and Concrete Research*, **20**, pp.610-618.
- [9] **Taylor, M.A., Tai, M.K., and Ramey, M.R.**, 1975, *Biaxial compressive behaviour of fibre reinforced mortar*, *ACI Journal*, September, pp.496-501.
- [10] **Neville, A.M.**, 1986, *Properties of concrete – An Overview*, *Concrete International*, March, 60-63.
- [11] **Hsu, T.T.C. ve diğ.**, 1963, *Microcracking of plain concrete and the shape of the stress-strain curve*, *Journal of the American Concrete Institute*, February, 210-223.
- [12] **Neville, A.M.**, 1977, *Properties of Concrete*, John Wiley & Sons Inc.
- [13] **Mindess, S.**, 1985, *Relationships between strength microstructure for cement-based materials: An overview*, *Mat.Res.Soc.Symp.Proc.* **42**, pp.53-68.
- [14] **Jennings H.M., and Lange, D.A.**, 1988, *Toward High Performance Cement Based Materials*, *New Horizons in Construction Materials Proceedings of Session/ASCE National Convention St.Louis, MO/ October 26*, pp.4-25.
- [15] **Witmann, F.H.**, 1983, *Fracture Mechanics of Concrete*, Elsevier Science Publications.
- [16] **Mehta, P.K.**, 1986, *Concrete-Structures Properties and Materials*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.

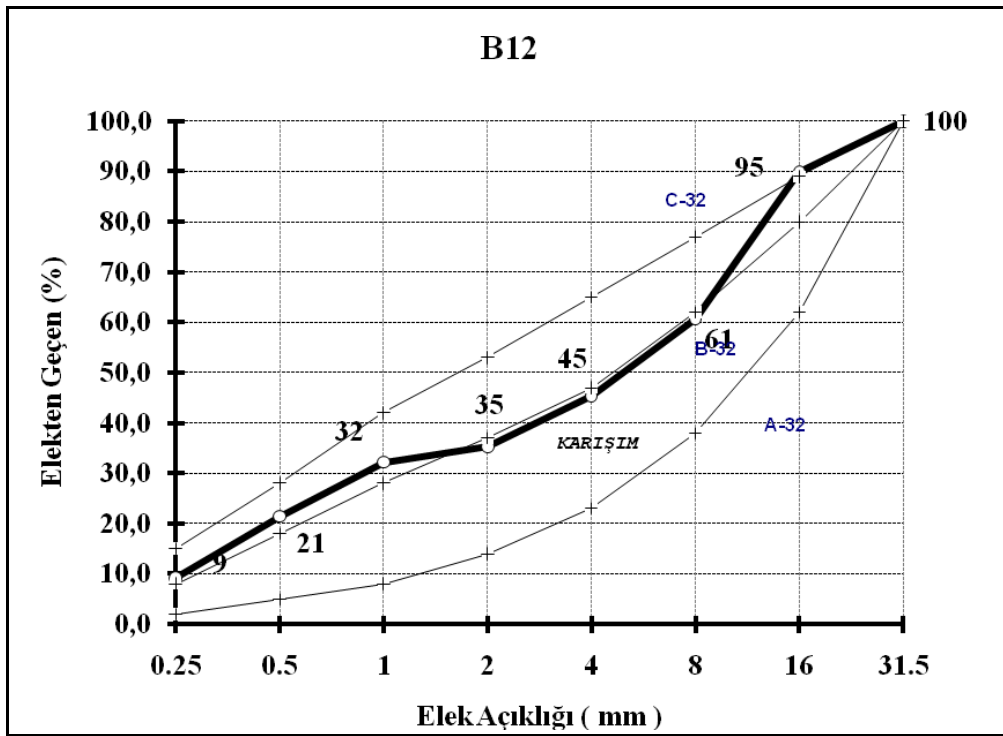
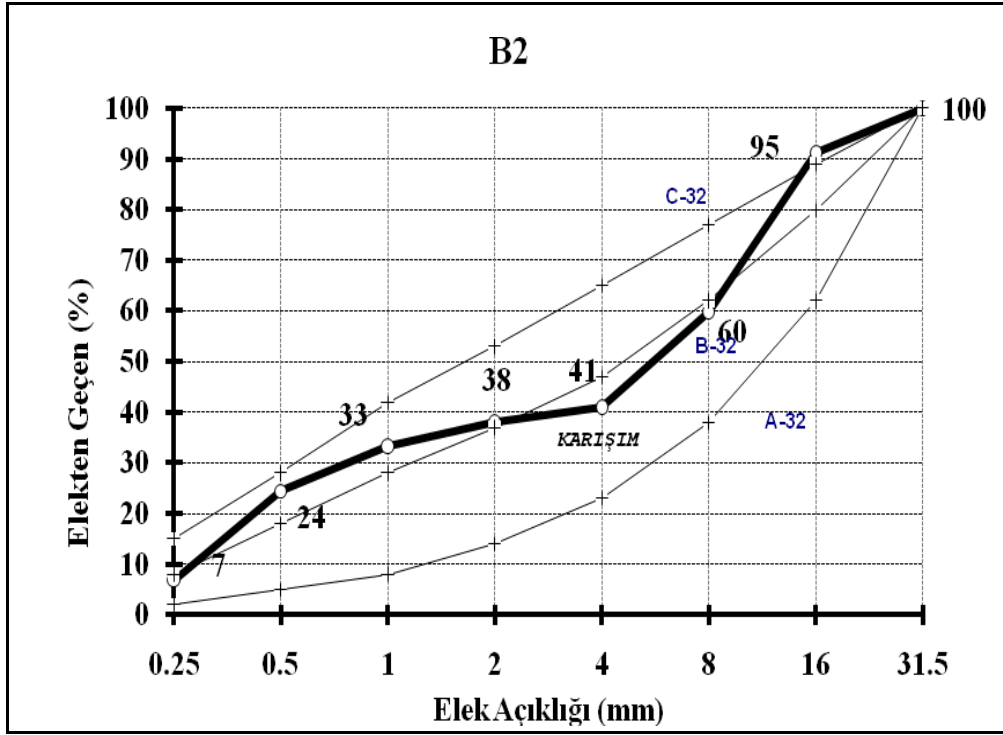
- [17] **Mindess, S. and Young J.F.**, 1981, Concrete, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- [18] **Postacıoğlu, B.**, 1981, Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri, İ.T.Ü. Matbası, İstanbul.
- [19] **Topçu, İ.B., Uğurlu, A.**, 2007, Betonda Elastisite Kuramı ve Baraj Betonları İçin Statik E-Modülünün Kompozit modellerle Tahmini, *İMO Teknik Dergi*, yazı 268, s.4055-4067.
- [20] **Nesbit, J.K.**, 1966, Structural Lighweight Aggregate Concrete, Concrete Publications Limited, London.
- [21] **Baalbaki, W. ve diğ.**, 1992, On predicting modulus of elastisity in high performance concrete, *ACI Materials Journal*, **89**, No.5.
- [22] **Neville, A.M.**, 1997, Aggregate bond and modulus of elasticity of concrete, *ACI Materials Journal*, January-February, **94**, No.1,71-74.
- [23] **Gani, M.S.J.**, 1997, Cement and Concrete, Chapman&Hall, London.
- [24] **Popovics, S.**, 1979, Concrete- Making Materials, Hemisphere Pupliching Corporation, Washington.
- [25] **Woolf, D.O.**, 1966, Toughness, hardness, abrasion, strength, and elastic propoities of aggregates, *Significiance of Tests and Properties of Concrete and Concrete Making Materials*, ASTM STP 169-A, pp.462-475.
- [26] **Struble, L., Skalny, J.and Mindess, S.**, 1986, A review of the cement-agregate bond, *Cement and Concrete Research*, **10**, pp.953-958.
- [27] **Yıldırım.H.**, 1995, Agrega Konsantrasyonun betonun mekanik özelliklerine etkisi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [28] **Stock, A.F., Hannat, D.J. and Williams, R.J.**, 1979, The effect of aggregate concentration upon the strength and modulus of elasticity of concrete, *Magazine of Concrete Research*, **31**, No.109, December, pp.229-234.
- [29] **Kaplan, M.F.**, 1963. Strain and stresses of conrete at initiation of cracking and near faiulere, *ACI Journal*, **60**, pp.853-880.
- [30] **Aitcin,P.C., and Mehta, P.K.**, 1990, Effect of coarse aggregate characteristics on mechanical properties of high stregh concrete, *ACI Materials of Journal*, **87**, No:2,pp.103-107.
- [31] **Arıoğlu, E., Arıoğlu N., Yılmaz O.A.**, 2006, *Beton Agregaları Çözümlü Problemler- Bilgi Föyleri* sf.244-245.
- [32] **TS 500**, 2000, Betonarme yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [33] **Lees, G.**, 1964, The measurement of particle elongation and flakiness; A critical discussion of British standard and other methods, *Magazine of Cocrete Research*. **16**, No.49, pp.225-230.
- [34] **TS 706 EN 12620**, 2003, *Beton Agregaları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

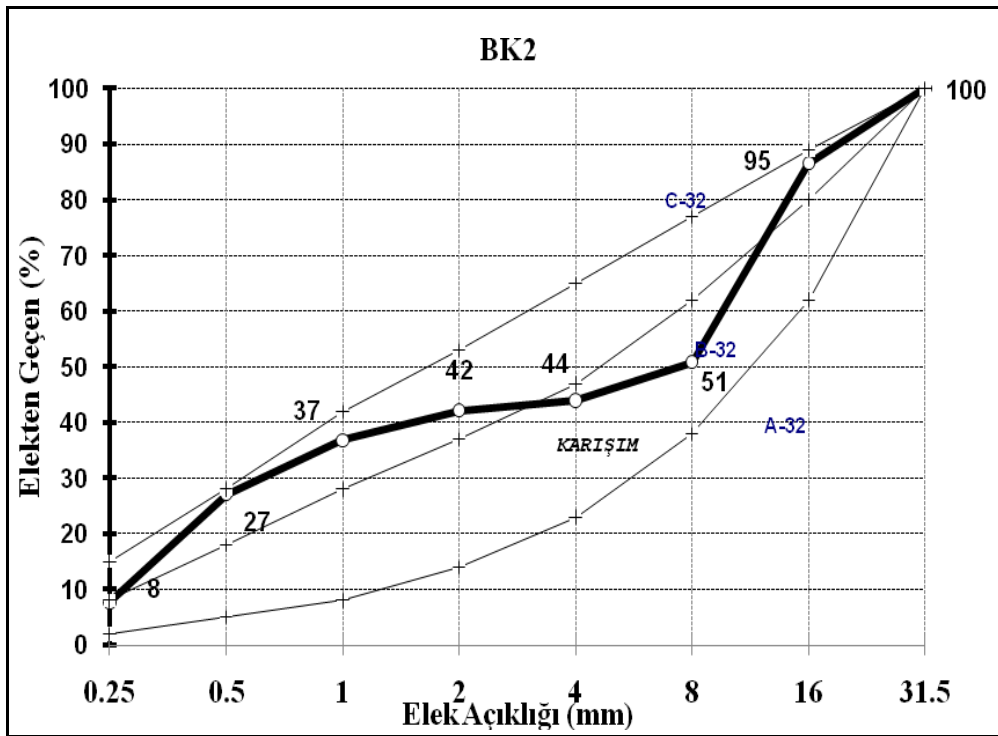
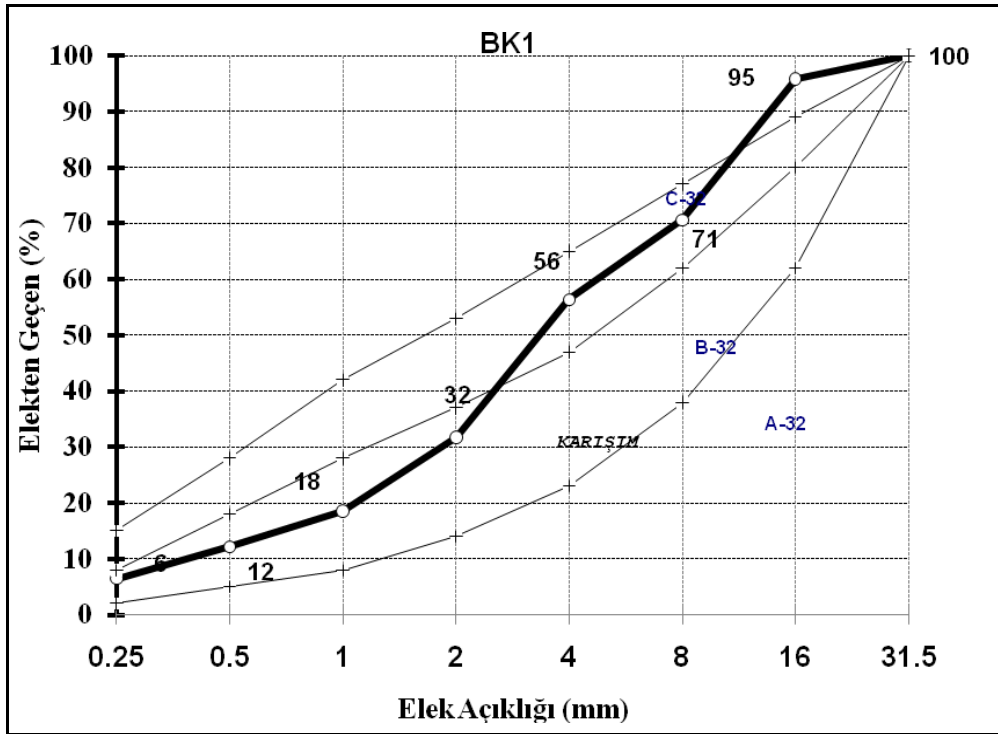
- [35] **Kaplan, M.F.**, 1959, Flexural and compressive strength of concrete as affected by the properties of coarse aggregates, *Journal of American Concrete Institute*, May, 1193-1208.
- [36] **Akman, M.S.**, 1987, Yapı Malzemeleri, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Ders Notları, s.25, İstanbul.
- [37] **Verbeck, G.**, 1966, Pore Structure Significance of tests and properties of concrete and concrete making materials, ASTM special Technical Publication No.169-A, pp.211-219, Philadelphia.
- [38] **Nilsen, A.U. and Monterio, P.J.M.**, Concrete: A three Phase Material, *Cement and Concrete Research*, **23**, No.1, pp.147-151.
- [39] **Monterio, P.J.M., Maso, J.C. and Ollivier, J.P.**, 1985, The aggregate-mortar interface, *Cement and Concrete Research*, **15**, pp.277-286.
- [40] **Baalbaki, W. ve diğ.**, 1991, Influence of coarse aggregate on elastic properties of high performance concrete, *ACI Materials Journal*, **88**, No.5, 499-503.
- [41] **Alexander, M.G. ve Milne, T.I.**, 1995, Influence of cement blend and aggregate type on stress-strain behaviour and elastic modulus of concrete, *ACI Materials Journal*, **92**, No.3, May-June, 227-235.
- [42] **Tighiouart, B. ve diğ.**, 1994, Caractéristiques mécaniques et élastiques de bétons à haute performance confectionnés avec différents types de gros granulats, *Materials and Structures*, **27**, 211-221.
- [43] **Çetin, A. and Carrasquillo, R.L.**, 1998, High performance concrete: influence of coarse aggregates on mechanical properties, *ACI Materials Journal*, **95**, May-June, 252-261.
- [44] **Gutierrez, P.A. and Cavanos, M.F.**, 1996, High performance concrete: requirements for constituent materials and mix proportioning, *ACI Materials Journal*, **93** No.3, May-June, 233-241.
- [45] **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.
- [46] **Şengül, Ö.**, 2000, Agregat türünün normal ve yüksek dayanımlı betonların mekanik özelliklerine etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [47] **Terzibaşoğlu, N.**, 1998, Kırmataş tozunun betonda kullanılabilirliği *I.Ulusal Kırmataş Sempozyumu'96* sf.239-250, İstanbul.
- [48] **Yeniboğalı, A.**, 1999, Betonun İç Yapısı, Çimento Mühtasilleri Birliği Notları, No.3, Ankara.
- [49] **Çalışkan, S.**, 2003, Agregat cinsi ve tane boyunun arayüzey aderans dayanımına etkisi, *Çimento ve Beton Dünyası*, Sayı:41, s.65-66, Ankara.
- [50] **Menadi, B. ve diğ.**, 2009, Strength and durability of concrete incorporating crushed limestone sand, *Construction and Building Materials*, **23**, pp.625-633.

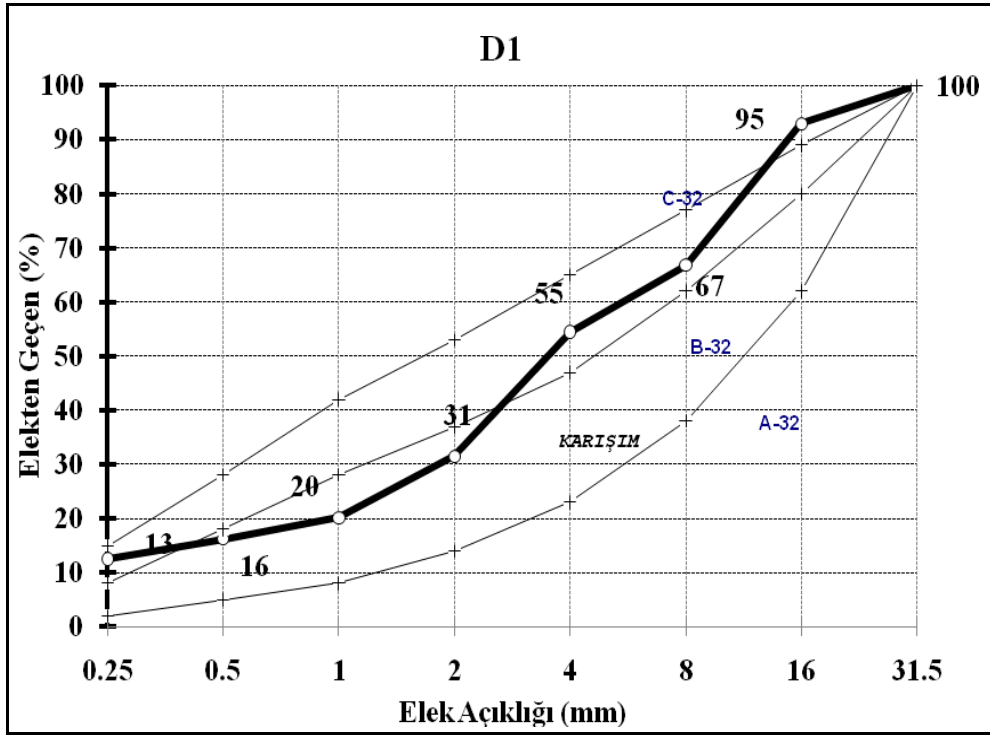
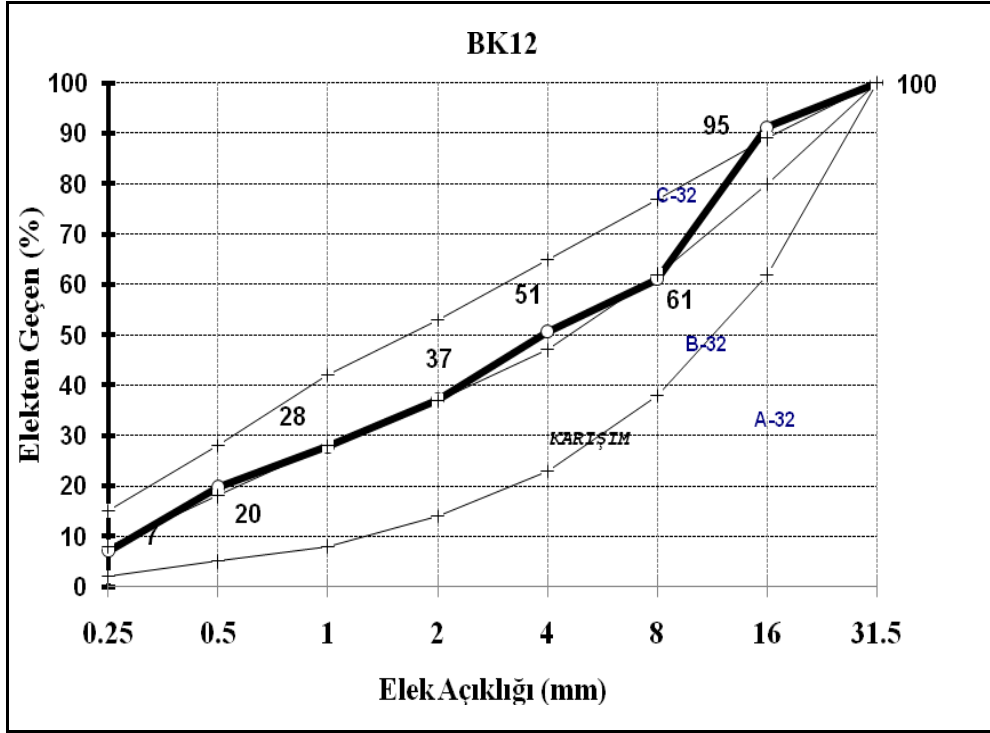
- [51] **Akman, S.**, 1993, Beton Teknolojisine Giriş, Akçiment Teknik Elemanları Eğitim Kursu.
- [52] **Oktar, O.N.**, 1977, Bağlayıcı hamurunun yapısının betonun kısa süreli elastik davranışındaki işlevi, Doktora Tezi, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- [53] **Yıldırım, H. and Şengül, Ö.**, 2007. Modulus of Elasticity of Low and Normal Quality Concretes, İ.T.Ü., İstanbul, Türkiye.

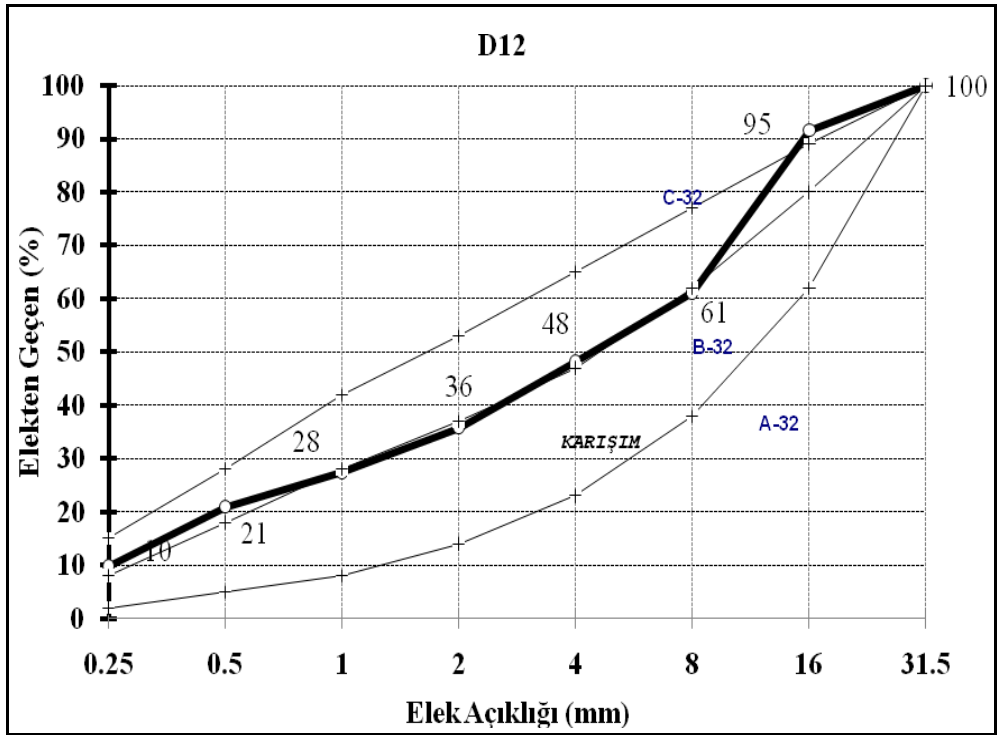
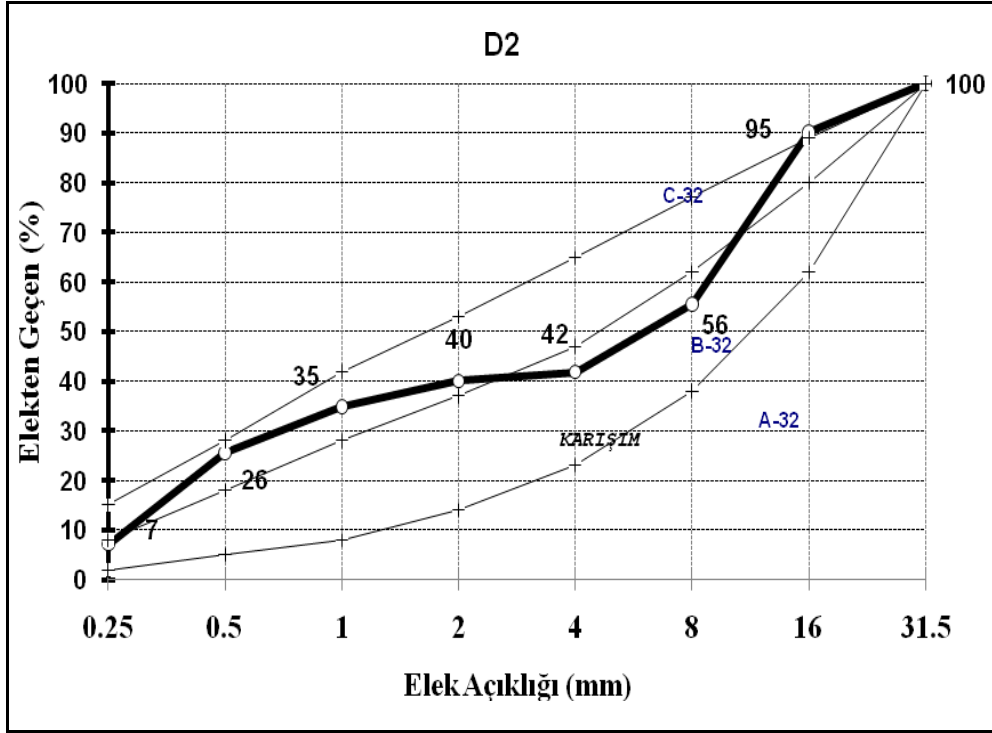
EKLER

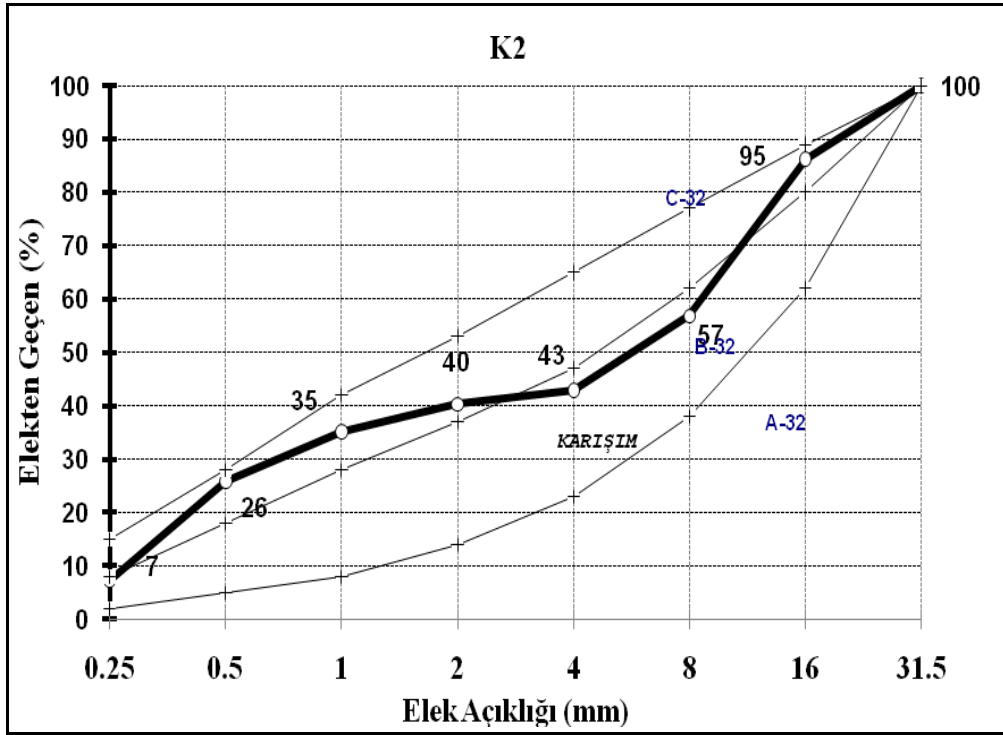
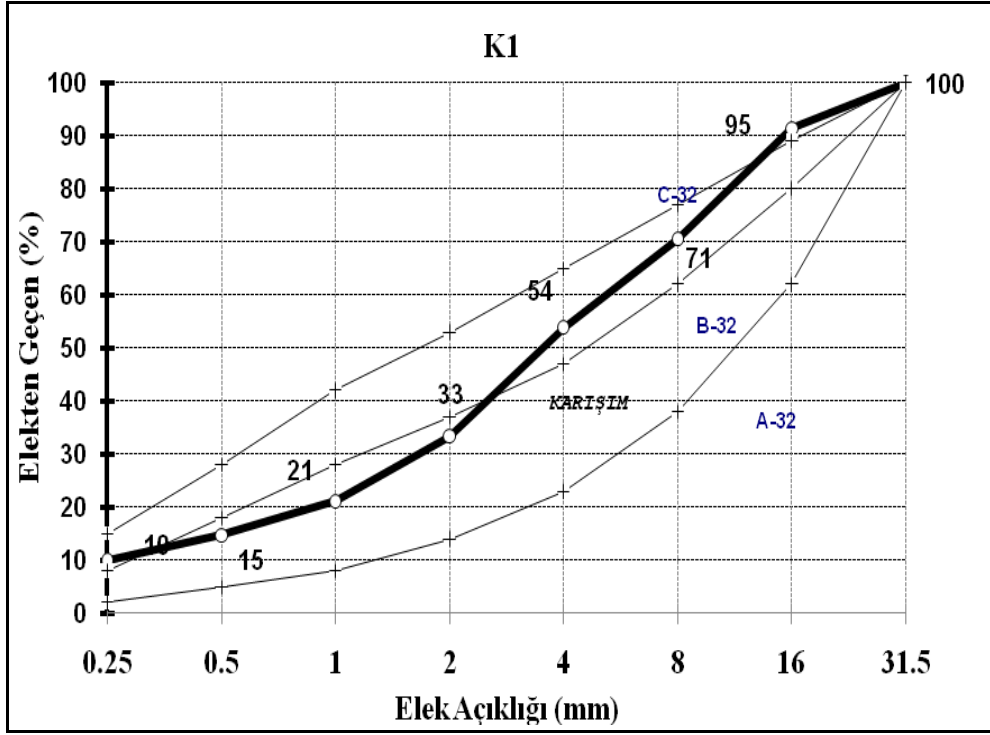
EK A.1 : Agregaların granülometrik eğrileri.

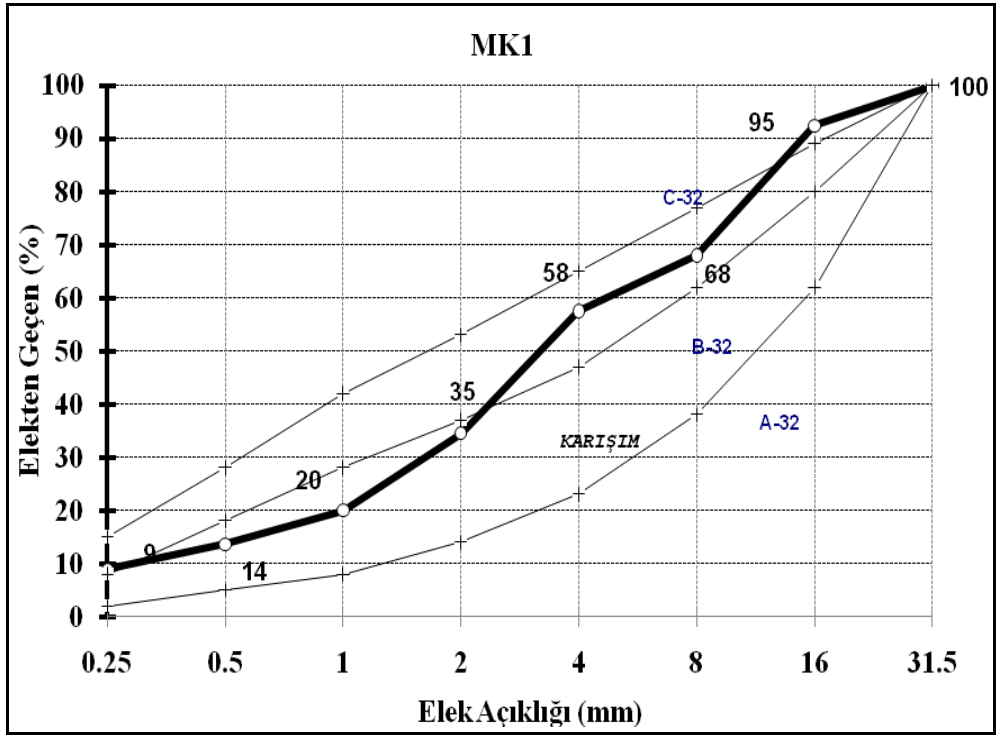
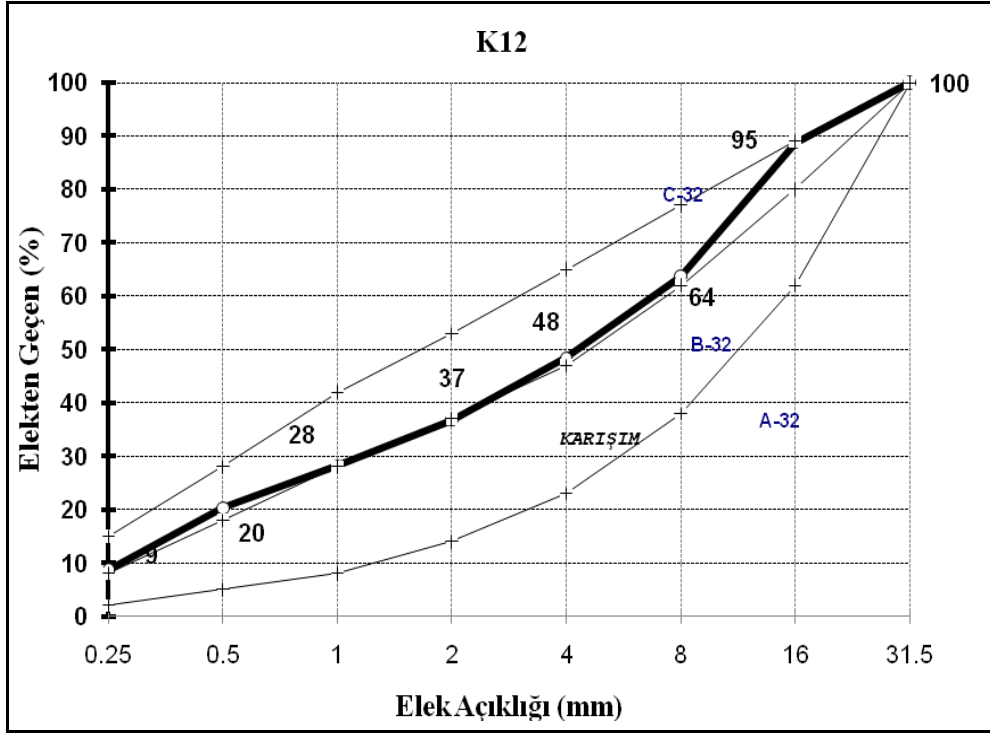


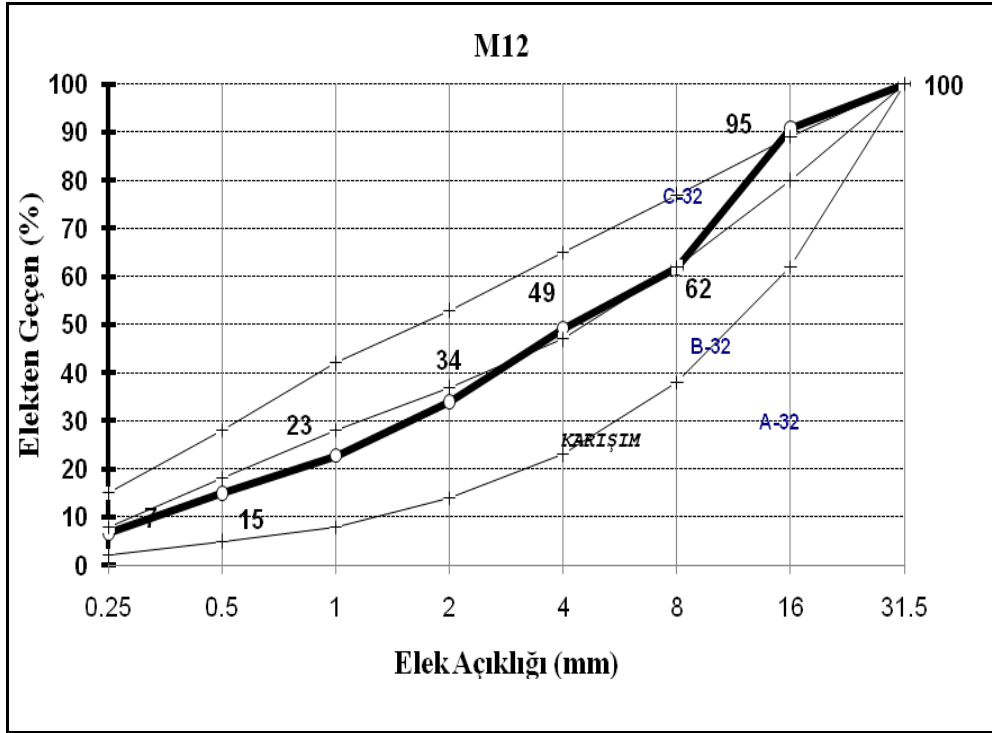
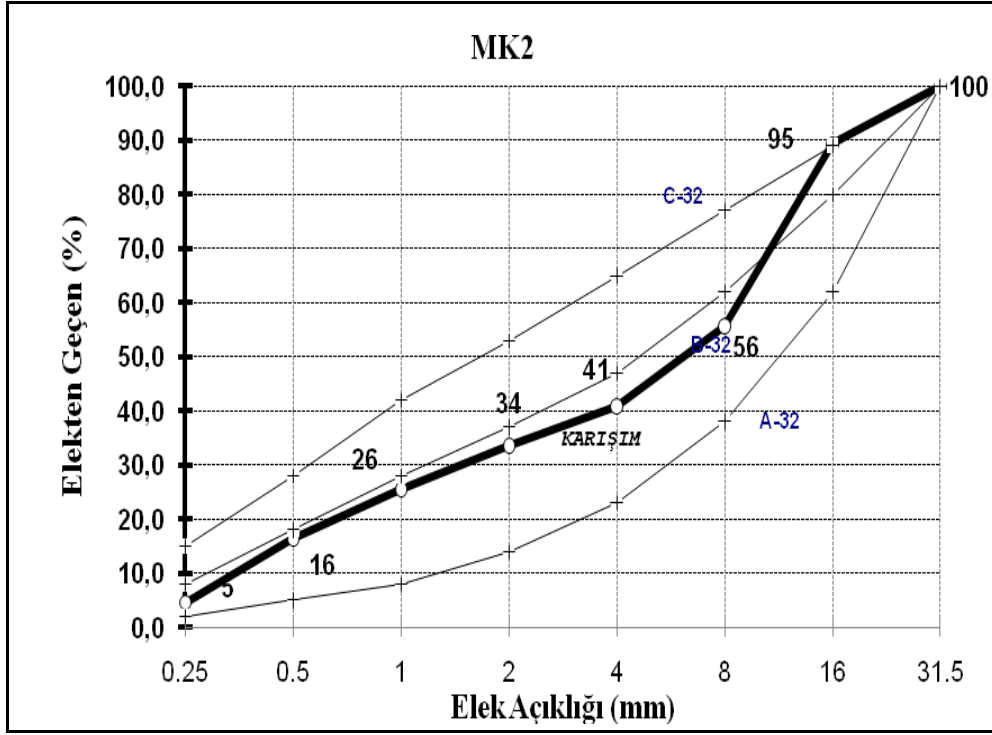












ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: SONGÜL KAYATURAN

Doğum Yeri ve Tarihi: ERZİNCAN, 20.08.1981

Lisans Üniversitesi: İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ (1999-2003)

Lise: İNCİRLİ LİSESİ (1996-1999)