

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AGREGA KONSANTRASYONUNUN BETONUN KIRILMASINA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çağrı ÖZDEMİROĞLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

AĞUSTOS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AGREGA KONSANTRASYONUNUN BETONUN KIRILMASINA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Çağrı ÖZDEMİROĞLU
(501021068)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hasan YILDIRIM

AĞUSTOS 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501021068 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Çağrı ÖZDEMİROĞLU**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**AGREGA KONSANTRASYONUNUN BETONUN KIRILMASINA ETKİSİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Hasan YILDIRIM**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Turan ÖZTURAN**
Boğaziçi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Ünal Anıl DOĞAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **25 Nisan 2014**
Savunma Tarihi : **26 Ağustos 2014**

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım süresince her türlü yardım ve desteğini esirgemeyip, yaptığım çalışmalarımın sonuca ulaşmasında büyük rolü olan sayın danışmanım Doç. Dr. Hasan Yıldırım'a, maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme ve arkadaşlarıma,teşekkür ederim.

Mayıs 2014

Çağrı Özdemiroğlu
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Giriş ve Tezin Amacı	1
1.2 Yapılan Çalışmalar	1
1.2.1 Betonun elastik olmayan davranışı	1
1.2.2 Betonun süreksizlik ve çözülme sınırlarının belirlenmesi	3
1.2.3 Agregas konsantrasyonunun ve özelliklerinin betonun dayanımına etkisi üzerine çalışmalar	3
1.3 Araştırmanın Amacı	5
1.4 Araştırmanın Kapsamı	5
2.BASINÇ ve YARMA DENEYLERİ İÇİN ÇALIŞMALAR	7
2.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler	7
2.1.1Kullanılan agregalar	7
2.1.1.1 Kum.....	7
2.1.1.2 Kırmataş	7
2.1.2 Katkı Maddesi	9
2.1.3 Çimento	9
2.2 Beton Bileşimi.....	9
2.2.1 Deneylerde Yapılan Kabuller ve Üretilen Beton Serileri	9
2.2.2 Karışım Serileri	12
2.2.3 Üretim, Karıştırma, Yerleştirme ve Kür Koşulları	12
2.2.4 Beton Numune Özellikleri	12
2.3 Yapılan Deneyler.....	12
2.3.1 Taze Beton Deneyleri.....	12
2.3.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri	12
2.3.3 Ultrases Hızı Deneyleri	13
2.3.4 Birim Ağırlık Deneyleri	13
3. YAPILAN DENEYLER VE SONUÇLARI.....	15
3.1 Taze Beton Özellikleri	15
3.2 Betonun Elastik Davranışlarıyla İlgili Özellikler.....	17
3.2.1 Agregas Konsantrasyonunun Betonun Elastisite Modülüne Etkisi.....	17
3.2.2 Konsantrasyonunun süreksizlik sınırındaki poisson oranına etkisi	18
3.3 Betonun Elastik Olmayan Davranışlarıyla İlgili Özellikler:	19
3.3.1 Agregas konsantrasyonunun betonun süreksizlik sınırına etkisi.....	21
3.3.2 Agregas konsantrasyonunun betonun çözülme sınırına etkisi.....	24

3.3.3 Agrega konsantrasyonunun betonun basınç mukavemetine etkisi.....	24
3.3.4 Agrega konsantrasyonunun betonun basınç mukavemetindeki birim kısalmaya etkisi	25
3.4 Kırılma – Şekil Değiştirme İşi ile İlgili Özellikler:.....	27
3.4.1 Agrega konsantrasyonunun kırılma – şekil değiştirme işine etkisi.....	28
3.4.2 Agrega konsantrasyonunun bağıl kırılma – şekil değiştirme işine etkisi..	28
3.5 Yarma Çekme Deneyleriyle İlgili Özellikler:	29
3.6 Ultrases Hızı Deneyleriyle İlgili Özellikler:.....	30
4. SONUÇLAR	31
4.1 Taze Beton Özellikleri ile İlgili Deney Sonuçları	31
4.2 Sertleşmiş Beton Özellikleri ile İlgili Deney Sonuçları.	31
4.2.1 Betonun elastik davranışlarıyla ilgili deney sonuçları	31
4.2.2 Betonun elastik olmayan davranışlarıyla ilgili deney sonuçları.....	31
4.3 İleri Çalışmalar İçin Öneriler.....	32
KAYNAKLAR.....	33
EKLER.....	37
ÖZGEÇMİŞ.....	55

KISALTMALAR

BE	: Beyaz Kalker Agregası
BA	: Bazalt Agregası (Çorlu)
CE	: Cebeci Kalker
DO	: Dolomit Agregası (Kırklareli)
σ	: Normal gerilme (N/mm^2)
ε	: Eksenel şekil değiştirme
ε_g	: Yanal şekil değiştirme
τ	: Kırılma şekil değiştirme işi (N/mm^2)
b	: Bağlı kırılma işi (N/mm^2)
E	: Elastisite modülü (N/mm^2)
ν	: Poisson oranı
σ_D	: Süreksizlik sınırı (N/mm^2)
σ_L	: Çözülme sınırı (N/mm^2)
f_c	: Basınç mukavemeti (N/mm^2)
$\Delta V/V_0$	: Hacimsel şekil değiştirme
ρ	: Özgül ağırlık

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Deneylerde kullanılan kumun değerleri.	7
Çizelge 2.2 : Kırmataş Özellikleri	8
Çizelge 2.3: Kırmataşaları granülometrik bileşimi.....	8
Çizelge 2.4: Betondaki agrega yüzdeleri	9
Çizelge A.1: Beyaz kalkerli betonlarda taze beton özellikleri ve gerçek malzeme miktarları	38
Çizelge A.2: Bazalt agregalıbetonlarda taze beton özellikleri ve gerçek malzeme miktarları	39
Çizelge A.3: Cebeci kalkerli betonlarda taze beton özellikleri ve gerçek malzeme miktarları	40
Çizelge A.4: Dolomit Agregalıbetonlarda taze beton özellikleri ve gerçek malzeme miktarları	41
Çizelge A.5: Beyaz kalker serilerinde sertleşmiş beton özellikleri	42
Çizelge A.6: Bazalt (Çorlu) agregalı serilerde sertleşmiş beton özellikleri	43
Çizelge A.7: Cebeci kalkerli serilerinde sertleşmiş beton özellikleri.....	44
Çizelge A.8: Dolomit (Kırklareli) agregalı serilerde sertleşmiş beton özellikleri.....	45

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 :Basınç artışı ile çatlak ilerleyişinin açıklanması	2
Şekil 2.1 :BE serisi granülometrisi	10
Şekil 2.2 : BA serisi granülometrisi.....	10
Şekil 2.3 : CE serisi granülometrisi.	11
Şekil 2.4 :DO serisi granülometrisi	11
Şekil 3.1 :Ve-Be agregası konsantrasyonu ilişkisi.	15
Şekil 3.2 :Çökme agregası konsantrasyonu ilişkisi.....	16
Şekil 3.3 :Taze beton birim ağırlığı agregası konsantrasyonu ilişkisi.....	16
Şekil 3.4 :Agregası konsantrasyonu elastisite modülü ilişkisi... ..	18
Şekil 3.5 :Agregası konsantrasyonu süreksizlik sınırındaki poisson oranı ilişkisi.....	19
Şekil 3.6 :Gerilme - şekil değiştirme ve gerilme-hacimsel şekil değiştirme.	20
Şekil 3.7 :Betonunda mikro çatlakların ilerleyişi	21
Şekil 3.8 :Agregası konsantrasyonu süreksizlik sınırı ilişkisi.....	22
Şekil 3.9 :Kırmataş agregasında çatlak başlangıcı	22
Şekil 3.10 :İki komşu kırma taş agregasında çatlak ilerleyişi	23
Şekil 3.11 :Agregası konsantrasyonu çözülme sınırı ilişkisi.....	24
Şekil 3.12 :Silindirik numunede agregası konsantrasyonu basınç mukavemeti.....	25
Şekil 3.13 :Küp numunede agregası konsantrasyonu basınç mukavemeti.....	25
Şekil 3.14 :Agregası konsantrasyonu betonun basınç mukavemetindeki birim kısalmalarıyla ilişkisi	26
Şekil 3.15 :Betonun kırılma işi	27
Şekil 3.16 :Betonun bağıl kırılma işi	27
Şekil 3.17 :Agregası konsantrasyonu betonun kırılma – şekil değiştirme işi ilişkisi... ..	28
Şekil 3.18 :Agregası konsantrasyonu betonun bağıl kırılma – şekil değiştirme işi ilişkisi	29
Şekil 3.19 :Agregası konsantrasyonu yarma dayanımı ilişkisi.....	29
Şekil 3.20 :Agregası konsantrasyonu ultrases hızı ilişkisi	30
Şekil B.1 :Beyaz kalker serileri kesit görünüşleri	47
Şekil B.2 :Bazalt (Çorlu) agregalı serilerin kesit görünüşleri	48
Şekil B.3 :Cebeci kalker serileri kesit görünüşleri.	49
Şekil B.4 :Dolomit (Kırklareli) agregalı serilerin kesit görünüşleri	50
Şekil B.5 :Yarma deneyi düzeneği.	51
Şekil B.6 :Deney aletleri.....	52
Şekil B.7 :Ultra ses deneyi düzeneği.	52
Şekil B.8 :Yatay ve düşey deplasman ölçüm düzeneği	53
Şekil B.9 :Yarma deneyinde kırılma yüzeyi.....	54
Şekil B.10 :Yarma deneyinde kırılma yüzeyi.....	54

AGREGA KONSANTRASYONUNUN BETONUN KIRILMASINA ETKİSİ

ÖZET

Tez çalışmasında bazalt, beyaz kalker, cebeci kalker ve dolomit olmak üzere dört farklı agrega kullanılarak agrega hacim konsantrasyonunun betonun kısa süreli elastik ve elastik olmayan mekanik davranışına etkisi araştırıldı. Üretilen betonlarda en büyük agrega boyutu, granülometri ve su/çimento oranı sabit tutularak agrega konsantrasyonu değiştirildi. Yarma deneyleri yardımıyla betonların şekil değiştirme kapasiteleri ölçüldü ve agrega konsantrasyonunun bu dolaylı çekme halindeki şekil değiştirme kapasitesine etkileri incelendi.

Üretilen Bazalt serileri, Cebeci Kalker serileri, Dolomit serileri ve Beyaz Kalker serileri, %0, %20, %40, %60, %75 agrega konsantrasyonlarıyla üretildi. Agreganın konsantrasyonu %0 - %75 arasında değişirken, su/çimento oranı ve en büyük tane çapı sabit tutuldu. Su/çimento oranı 0,28, en büyük agrega çapı 20mm alındı. Bütün testlerde standart silindir ve küp numuneler kullanıldı. Silindir için yükseklik 300mm, çap 150mm; küp için 150mm x 150mm boyutlarına üretilen numunelere 28. günde yarma ve basınç deneyleri uygulandı. Yapılan deneylerde taze beton özellikleri, elastik ve elastik olmayan davranış özellikleri, gerilme – şekil değiştirme ilişkisi, ultrasonik ses hızının değişimi ve elastisite modülü araştırıldı.

Deneylerde ulaşılan sonuçlara göre, agrega konsantrasyonu arttıkça taze betonda V_{e-Be} değerinin arttığı çökmeninde azaldığı görülmüştür. Su/çimento oranı sabit tutulan deneylerde, agrega konsantrasyonunun artışıyla artan agrega yüzeyini ıslatmak için daha fazla suya ihtiyaç duyuldu. Bu nedenle %60 ve %75 konsantrasyonlu numunelerde süper akışkanlandırıcı kullanıldı. Taze Beton birim ağırlığı, agrega konsantrasyonunun artışıyla, agrega özgül ağırlığının betondan fazla olmasına bağlı olarak artış gösterdi.

Elastisite modülü deneysel yöntemlerle bulundu. Kırmataş agregalarının elastisite modülü hamur ve beton fazlarına göre yüksek olduğu için, kırmataş agrega konsantrasyonundaki artışın, betonun elastisite modülünü arttırdığı gözlemlendi.

Agrega konsantrasyonundaki artışın süreksizlik sınırındaki Poisson oranını bir minimumdan geçtikten sonra arttığı görüldü. Aynı şekilde basınç dayanımı, çözülme sınırı ve süreksizlik sınırı değerlerinin de bir minimumdan geçtikten sonra arttığı gözlemlendi.

Yapılan ultra ses deneylerinde, ultra ses hızının agrega konsantrasyonu arttıkça, arttığı görüldü.

Agrega konsantrasyonundaki artışın yarma-çekme dayanımını artırdığı gözlemlendi. Betonda agrega konsantrasyon artışıyla basınç dayanımındaki birim kısaltmaların ve kırılma işinin azaldığı bulundu.

EFFECT OF AGGREGATE VOLUME CONCENTRATION ON MECHANICAL BEHAVIOUR OF CONCRETE

SUMMARY

I want in this study to establish the effect of aggregate volume ratio on concrete elastic and unelastic mechanical behavior. I will do so, by using four different types of aggregates and the affects of aggregate. These aggregates are Kırklareli region dolomite aggregates series, Cebeci region limestone aggregate series, white limestone aggregates series and Çorlu region basalt aggregate series.

I will also point to the influence of aggregate concentration on the splitting tensile behavior and the strain capacity of concrete. I used a split tension test to measure the tensile strain capacity, due to the fact that an uniaxial tension test is difficult to perform. As a final statement, I experimentally measured the modulus of elasticity of concrete.

Composite materials are the mixes of minimum two type of materials with different mechanical and chemical properties. These materials are coming together with contact surfaces. Contact surfaces are effecting the properties of concrete. New material has mostly different properties than the initial ones. Concrete is a heterogen and composite material. Also concrete shows elastic and inelastic features. I tried to see experimentals results in this inelastic phases.

In the experiments, crack can be starts in contact surfaces, in cement paste or in aggregate. Cracks are phase of micro cracks till 60% of compression strengt of concrete. Crack spread will start to make stable links till 80%. Between 80% - 95% of compression strengt of concrete, crack spread will make unstable links.

The concretes used in the experiments are belonging to five different aggregates volumes as follows: 0 %, 20 %, 40 %, 60 %, 75 % with basalt series (BA20, BA40, BA60, BA60, BA75), cebeci limestone series (CE20, CE40, CE60, CE75), dolomite series (DO20, DO40, DO60, DO75), and white limestone (BE00a, BE00b, BE20, BE40, BE60a, BE60b, BE75) series.

For this study i had to change the aggregate volume concentrations in the range of 0 % - 75 %, but i kept constant the aggregate grading of concrete, water/cement ratio and the maximum particle size for all concrete series. The water/cement ratio and the maximum size of aggregate were 0,28 and 20 mm, respectively.

I used 55dm³ concrete mixer. 60% and 75% aggregate concentration series prepared in steel formwork. I poured concrete in 3 step and each times I used steel bars 25 times for settle concrete. All concrete series are waited in formworks 24 hours. 28 days I kept them in pool with temperature 20 °C ± 2 °C. I made the experiments in 28th day of concretes.

All mechanical tests were based on the standard cylinder specimens, the height=300 mm and the diameter=150 mm and standard cube specimens 150 x 150mm at the age of 28 days.

Splitting tensile tests were based on disk specimens which were prepared from the standard cylinder as the height=150 mm and the diameter=150 mm. In the end, the test results that were made are evaluated in terms of following properties: Fresh concrete properties, elastic properties of concrete, inelastic properties of concrete, fracture energy, under compression, splitting tensile strength, tensile strain capacity, ultrasonic pulse velocity, the modulus of elasticity.

I have split the investigations into four chapters: First chapter refers to general information. The second is the objective of the investigation. Third chapter is experimental studies and the results of these experiments. And the last chapter I put the conclusions of study and suggestions for further studies, if given.

The results obtained in the experimental studies:

Fresh concrete behaviour:

Increasing of aggregate concentration is effecting workability of concrete negative. Concrete is passing from to dry concrete consistency.

Composite is decreasing with increasing aggrega concentration.

Ve-Be values are increasing slowly with increasing aggrega concentration till 60% concentrate. We used superplasticizer in 60% ans 75% series. Because of that Ve-Be values decreasing in 60% series. 75% series is passing from plastic consistency to dry concrete consistency and value of Ve-Be is increasing rapidly.

Results related to elastic behaviour:

Aggregate concentration has an important effect on the modulus of elasticity, as an example when i chosen higher the modulus of elasticity of aggregate, the concrete increases also.

Results related to inelastic behavior:

The compressive strengths aggregates series decreases till one minimum limit and after that increases, when the aggregate volume concentration increases. The strains of all series at the maximum stress is decreasing as the aggregate volume concentration increases.

Increasing of aggrega concentration is effects dislocation point of concrete. It is decreasing till one minimum point after that it is starting increase.

Increasing of aggrega concentration is effects yielding point of concrete. It is decreasing till 35% - 40% concentration values after that it is starting increase.

Compressive strength of concrete in DO, CE and BA series is decreasing till 35% - 40% aggregate concentrations, then it is increasing. BE series increasing continuously with increasing of aggrega concentration.

The results related to the toughness and the relative toughness are as followed: as the aggregate volume concentrations of all concrete series increase the toughness of concretes decreases. The relative toughness of concrete series does not change much, as the aggregate volume concentration increases.

Experimental results related to the splitting tensile strength and the tensile strain capacity: In normal aggregate concretes, as the aggregate volume in the mixes increases the splitting-tensile strength also increases. The tensile strain capacity is independent on the type and texture of aggregates within the limits of this work.

The tensile strain capacity as defined and measured in this work is strongly dependent on the volume of aggregate in the mix and it decreases with the increase of aggregate concentration.

The results related to the ultrasonic pulse velocity:

In all concrete series, as the aggregate volume concentration increases the ultrasonic pulse velocity also increases.

Proposals for further studies:

It can be performed with different origin of aggregates, at different ages than those chosen in this study, and different water/cement ratios other than 0,28.

We can also assume that issue can give more different results using a biaxial loading.

By using different types of aggregates, the results obtained may vary in a wide range and line spacing must be set for summaries.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Tezin Amacı

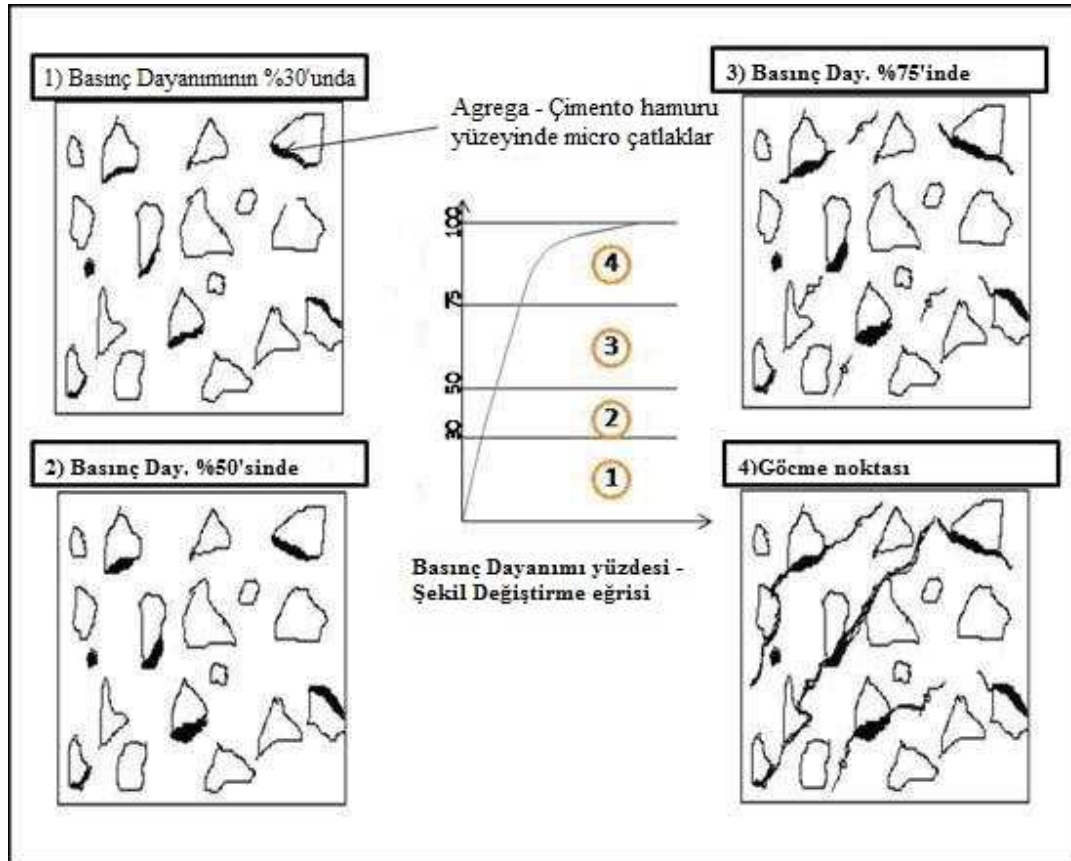
Kompozit malzeme, mekanik ve kimyasal özellikleri itibari ile en az iki tür malzemenin bir araya gelerek birbirine temas yüzeyleri ile bağlanması sonucu ortaya çıkar. Meydana gelen bu çok fazlı malzeme kendini oluşturan malzemelerden daha farklı özelliklere sahiptir (Mindess ve Young, 1986). Kompozit olarak tanımlanan beton iç yapısının heterojen olması ve değişik yüklemeler altında farklı davranış sergilemesi betonun iç yapısının önemini bir kez daha ortaya çıkartmıştır. Günümüzde bir tek agrega ve çimento hamuru ile yapılan çalışmalarda matematiksel modellemeler hariç, iç yapının değişik yüklemeler altında gösterdiği davranışlar ancak amprik düzeyde açıklanabilmektedir (Uğurlu, 2002). Betonun değişik fazlardan oluşan ve inelastik davranış gösteren bir malzeme olmasından dolayı, beton hakkında daha fazla bilgi edinmek için araştırmacılar uzun yıllar boyunca çalışmalar yapmışlardır. Betona herhangi bir yük uygulamasından önce bağ çatlaklarının mevcudiyeti betonun zayıf bölgesini oluşturduğundan, agrega katılması ile elde edilen heterojenlik bağ çatlama hızına hızlanmasına yol açar (Oktar, 1977; Czuryzkiewicz, 1973; Gettu, Bazant ve Karr, 1990). Betonun çekme dayanımı zayıf olduğu için betonarme yapı hesaplarında ve önemsiz projelendirmelerde bu dayanım ihmal edilmektedir. Fakat geçtiğimiz yıllarda betonun dayanımının artışı üzerine araştırmalar yoğunlaşmış ve bunun yanında kırılma davranışı ve çekme dayanımı gibi mekanik özellikler üzerinde de daha ileri bilgiye ihtiyaç duyulmuştur (Shah ve Taşdemir, 1994).

1.2 Yapılan Çalışmalar

1.2.1 Betonun elastik olmayan davranışı

Betonun göçmesi, hacimsel şekil değiştirme süresince absorbe edilen kayma şekil değiştirme enerjisine bağlıdır. Çatlama çimento hamurunun göçmesi, agreganın kırılması, agrega-çimento hamuru temas yüzeyi göçmesi ile başlayabilir (Taylor, Tai

ve Ramey, 1975). Basınç mukavemetinin %60' ına kadar yerel çatlama ve çatlak başlangıcı vardır, bunu kararlı yayılan çatlak büyümesi izler. Bu gerilme düzeyinden sonra harç içinde çatlaklar birleşmeğe başlar ve basınç mukavemetinin %80'ine kadar çatlaklar karalı yayılır. Daha sonra sürekli çatlaklar oluşur, bunu göçme izler. İri agrega konsantrasyonu arttıkça çatlak başlaması için gerekli kırılma şekil değiştirme enerjisi azalır (Slate ve Meyers, 1968). Johnston'a göre basınç mukavemetinin %50-70'inde mikro çatlama başlar. Gerilmenin bu değerinde çatlak büyümesi kararlıdır. Basınç mukavemetinin %80-95'inde kararsız çatlak yayılması oluşur (Johnston, 1970). Normal agregalı betonlarda basınç artışıyla, çatlak ilerleyişi aşağıdaki şekilde açıklanmaya çalışılmıştır (www.theconcreteportal.com).



Şekil 1.1 : Basınç artışı ile çatlak ilerleyişinin açıklanması.

Basınç mukavemetinin %65'inin altında ilk çatlak belirgin değildir. Harç çatlakları basınç mukavemetinin %85'inde başlar. Büyük agrega taneleri arasında bağ çatlakları köprü kurmaya başlar (Bache ve Christensen, 1965). Bache ve Cristensen'e (1965)

göre basınç mukavemetinin yaklaşık %85'inde çatlama agrega-matris temas yüzeyinde ve boşluklarda oluşur, daha yüksek gerilme düzeylerinde çatlaklar harç içine yayılır. Agrega tanelerinin altında terleme bölgelerinde veya boşluklarda cep oluşmaya başlar. Basınç mukavemetinin %60-90'ında bağ çatlaklarının ucunda harç çatlakları gelişir, birbiriyle köprü kurar. Tek eksenli basınçta harç çatlakları basınç mukavemetinin yaklaşık %90'ında oluşur. Çatlaklar basınç yüklemesine paralel doğrultuda gelişir (Tanigawa ve Yamadaka, 1978).

Zaitsev ve Witmann (1973), normal betonlarda maksimum yükteki şekil değiştirmenin %70'inde, çatlak ağının oluşmaya başladığını, yüksek mukavemetli betonlarda ise basınç mukavemetindeki şekil değiştirmenin %90'ına kadar belirgin çatlak oluşmadığını belirtmişlerdir.

1.2.2 Betonun Süreksizlik ve Çözülme Sınırlarının Belirlenmesi

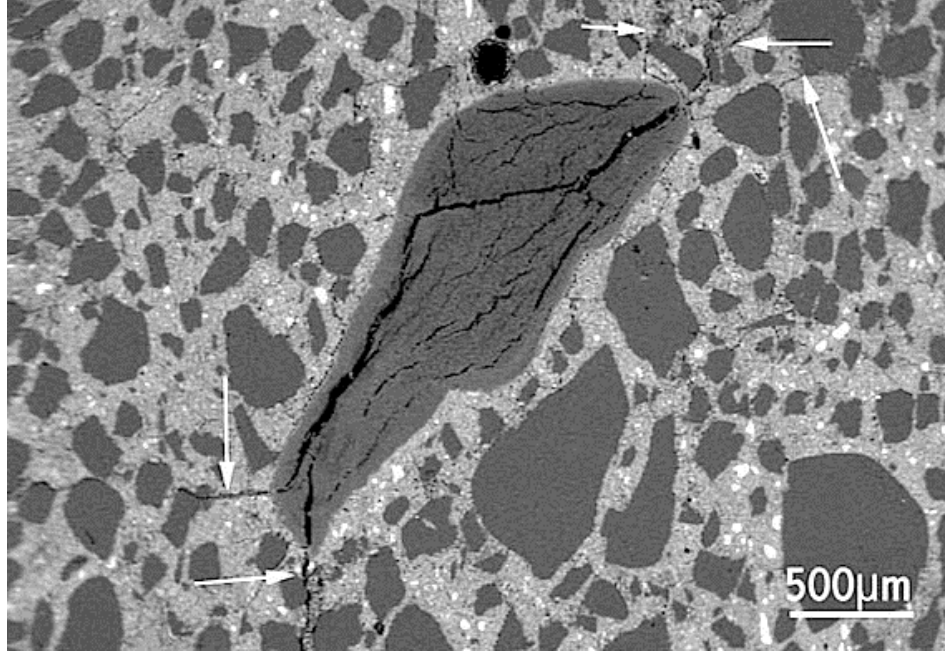
Süreksizlik ve çözülme sınırlarını belirlemede değişik yöntemler uygulanmıştır. Süreksizlik sınırının belirlenmesindeki ilk yöntem L'Hermite (Grübl, 1979) tarafından betonun poisson oranındaki değişimini ölçerek uygulanmıştır. Diğer araştırmacılarından Robinson, Jones ve Kaplan'ın (1957) kullandığı yöntem de betonda gittikçe artan yükler altında ultrases hızının değişiminin ölçülmesidir. Jones-Kaplan, 10 cm'lik beton küpleri üzerinde ultrases geçiş zamanında 0.1 mikrosaniyelik bir düşüşün süreksizlik sınırına karşı geldiğini ileri sürmektedir. Robinson betonda mikro çatlakların yayılması sırasında çıkan ses enerjisini ölçerek süreksizlik sınırını saptamaktadır (Robinson, 1965). Çözülme sınırının saptanmasında betonun hacim değişimlerinden yararlanmak en yaygın yöntemdir (Bache, 1967).

1.2.3 Agrega Konsantrasyonunun ve Özelliklerinin Betonun Dayanımına Etkisi üzerine çalışmalar

Süreksizlik ve çözülme Jones ve Gatifield'e (1955) göre tek eksenli basınçta maruz kalmış numune içinde uygulanan yüke paralel çatlaklar basınç mukavemetinin %50-75'ine eşit yük altında başlar. Bu sonuca beton içinden geçirilen ses hızını ölçerek varmışlardır. Düzgün çakıl, kaba ve köşeli kırmataştan daha düşük gerilmelerde kırılır. Bunun nedeni mekanik bağların belirli bir derecede kaba agreganın şekil ve yüzey özelliklerinden etkilenmesidir. Su/çimento oranının artışıyla agreganın

betonun mukavemeti üzerindeki etkisi giderek azaltır. Agregas konsantrasyonu arttıkça basınç mukavemeti artar.

Betonun inelastik davranış üzerinde pek çok çalışma yapılmıştır. Bunlar genelde mikro-çatlama ve hacimsel şekil değiştirmeye ilişkin çalışmalardır. Betondaki inelastik davranış agreganın çimento hamuruna katılmasıyla elde edilir (Shah ve Winter, 1966). Kaplan (1963) betonun mikroçatlaması üzerine strain gauge tekniğikullanarak eğilme, basınç, 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. Akman (1975) çalışmasında çakıllı betonlarda "iri agrega/kum" oranının kritik gerilme değerlerine etkisini 0'dan 2'ye kadar incelemiştir. Akman (1975), iri agrega/kum oranı 0'dan 1'e kadar artarken (süreksizlik sınırı/basınç mukavemeti) ile (çözülme sınırı/basınç mukavemeti) oranlarının azalmakta olduğunu, iri agrega/kum oranının 1 den 2'ye kadar olan değerlerinde ise kritik gerilmelerin basınç mukavemetine olan oranlarının arttığını göstermiştir. Akman (1975), daha sonra çakıl iri agregasının yerine kalker kırmataşı kullanarak araştırmayı sürdürmüş ve şu sonuçlara varmıştır: İri agreganın kalker ve pürüzlü oluşu agrega-harç bağlantısını iyi yönde etkileyerek süreksizlik sınırını yükseltmekte, iri-agreganın yumuşak olması çözülme sınırını düşürmektedir. Aynı araştırmada iri agreganın şekil değiştirme yeteneğinin fazla olmasıyla eksenel ve yanal şekil değiştirmelerin arttığı görülmüştür. Şekil 1.2'de iri agreganın yumuşak olması durumunda çatlak ilerleyişinin ve yayılmasının agrega üzeinden olacağını göstermektedir (Gromicko ve Shepard, 2014).



Şekil 1.2: Yumuşak Agregada Çatlak Yayılması.

Hobbs betonun kırılması ile ilgili çalışmasında: çatlakların agrega-matris temas yüzeyinden başladığını, betonun kırılması ise matrisin çatlaması ve göçmesi ile olduğunu; agrega konsantrasyonundaki artışın basınç dayanımını arttırdığını ileri sürmüştür (Stock, Hannant ve Williams, 1979). Stock agrega konsantrasyonunun değişiminin betonun elastisite modülü ve basınç dayanımına etkisi üzerine yaptığı deneylerde, agrega konsantrasyonunun %20'den artırılmasıyla basınç dayanımının düştüğünü, %30-35 aralığında bir minimum değerden geçtikten sonra da agrega konsantrasyonunun artışıyla artış gösterdiğini bulmuştur (Alexander ve Sidney Mindess, 2010). Alexander ve Sidney Mindess (2010) "Betondaki Agregalar" kitabında, agrega konsantrasyon değişiminin elastisite modülü ve betonun dayanımı üzerinde önemli etkisi olduğunu yazmıştır. Yapılan deneylerden granit ve andesit numunelerinde agrega konsantrasyonu arttıkça elastisite modülünün arttığı; basınç dayanımının önce azalıp, %35-40 aralığında minimumdan geçtikten sonra arttığı görülmüştür. Bu elde edilen verilerden ekonomik ve dayanıklı beton karışımının, işlenebilirlik ve uygulanabilirlik göz önünde bulundurularak seçilecek en yüksek agrega konsantrasyonu ile oluşturulabileceğini belirtmiştir.

1.3 Araştırmanın Amacı

Betonun davranışı, agreganın ve sertleşmiş çimento hamurunun davranışlarının ve bunların etkileşimlerinin ortak sonucu olarak alınabilir. Çünkü betonu agrega ve sertleşmiş çimento hamuru fazlarından oluşan bir kompozit malzeme olarak düşünebilir.

Araştırmalar gözden geçirildiğinde iki fazlı malzemenin, her fazının mekanik özelliklerine ve oranlarına bağlı olarak betonun mekanik özelliklerine agrega konsantrasyonunun etkisinin yeterince ele alınmadığı, incelemelerin az sayıda olduğu görünüyor. Düşük su/çimento oranındaki betonların davranışını tanımaya ve açıklamaya ihtiyaç duyulmaktadır.

1.4 Araştırmanın Kapsamı

Bu araştırmada su/çimento oranı 0,28 olan betonlarda en büyük agrega boyutu, granülometri oranı sabit tutularak agrega hacim konsantrasyonu değiştirildi. Kısa süreli inelastik davranış tek eksenli basınç halinde incelendi ve disk numuneler üzerinde yarma deneyleri de yapılarak bu betonların şekil değiştirme kapasitesi ile agrega konsantrasyonu arasındaki ilişki araştırıldı. Ultra sonik ses hızının agrega konsantrasyonu ile değişimi incelendi. Elde edilen sonuçların irdeleme ve değerlendirilmesi deneysel sonuçlara ve yapılan modelleme çalışmalarına dayanılarak yapıldı. Deneylerde aynı granülometrik bileşime sahip değişik agrega türleri (Bazalt serileri, Cebeci Kalkeri serileri, Dolomit serileri ve Beyaz Kalker serileri) sertleşmiş çimento hamuru içinde değişik hacim oranlarında kullanılmıştır. Numunelerde agrega konsantrasyonu % 0 - % 75 arasında; Granülometri A32 ve B32 arasında ve en büyük agrega boyutu sabit ve 20 mm kullanılmıştır. Çimento hamuru içinde farklı türde agrega, aynı cins çimento ve aynı cins süperakışkanlaştırıcı katkı (%60 ve %75 serilerde) kullanılmıştır. Su/çimento oranı 0.28, sabit olmak koşulu ile agrega konsantrasyonunun mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler

2.1.1 Kullanılan Agregalar

2.1.1.1 Kum

Tüm betonlarda 4 mm'nin altında dağ kumu kullanıldı. Bu kum üzerinde yapılan granülometri, özgül ağırlık, gevşek birim ağırlık, organik, çamurlu madde ve su emme deney sonuçları Çizelge 2.1'de verildi. Granülometrik bileşim TS 706'daki elek takımına göre belirlendi.

Çizelge 2.1:Deneylerde Kullanılan Kumun Değerleri.

Elekten Geçen, % Elek göz boyutları, mm								Özgül ağırlık (kg/m ³)	Gevşek birim ağırlık (kg/m ³)	Su emme (%)
20	16	8	4	2	1	0.5	0.25	2603	1645	0.7
100	100	100	100	83.2	63.2	40	10.8			

Deneylerde kullanılan kumda TS 3673'e uygun olarak yapılan deney sonucunda organik madde içermediği, TS 3527'ye uygun olarak yapılan deneyde 24 saatlik bir süre sonunda ağırlıkça %1'in altında çamurlu madde içerdiği saptandı.

2.1.1.2 Kırmataş

Deneylerde kullanılan: Beyaz kalker, Çorlu yöresi Bazalt, Cebeci yöresi kalker ve Kırklareli yöresi dolomit kırmataşlarının özellikleri Çizelge 2.2'de, granülometrik bileşimleri Çizelge 2.3'teki gibidir.

Çizelge 2.2: Kırmataşların Özellikleri.

Agrega Cinsi	Birim Ağırlık	Özgül Ağırlık	Ağırlıkça su emme
	(kg/m ³)	(kg/m ³)	%
BE Kırmataş 1	1346	2640	0.51
BE Kırmataş 2	1405	2650	0.48
BA Kırmataş 1	1405	2810	0.52
BA Kırmataş 2	1534	2840	0.50
CE Kırmataş 1	1387	2720	0.54
CE Kırmataş 2	1425	2740	0.53
DO Kırmataş 1	1500	2830	0.52
DO Kırmataş 2	1534	2840	0.49

Çizelge 2.3: Kırmataşların Granülometrik Bileşimi.

Agrega Cinsi		Elekten geçen % - Elek Göz Boyutları (mm)							
		0.25	0.5	1	2	4	8	16	20
BE Kırmataş 1	%	0	0	0	0	2.3	61	100	100
BE Kırmataş 2	%	0	0	0	0	0.2	0	100	100
BA Kırmataş 1	%	0	0	0	0	5.4	48	100	100
BA Kırmataş 2	%	0	0	0	0	0	0	57	100
CE Kırmataş 1	%	0	0	0	0	12.4	84	100	100
CE Kırmataş 2	%	0	0	0	1	0.8	1	85.5	100
DO Kırmataş 1	%	0	0	0	0	1.4	60	99.7	100
DO Kırmataş 2	%	0	0	0	0	0	0	67.8	100

2.1.2 Katkı Maddesi

Karışımların %60 ve %75'lik serilerinde YKS adlı bir firmaya ait olan Glenium 51 süper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi kullanıldı. Katkı malzemesi beton karma suyuna önceden karıştırıldı.

2.1.3 Çimento

Beton numunelerinin tümünde Akçasan üretimi CEM I 42,5R (TS EN 197-1) çimento kullanılmıştır. Çimentolar fabrikanın aynı gün üretimidir.

2.2 Beton Bileşimi

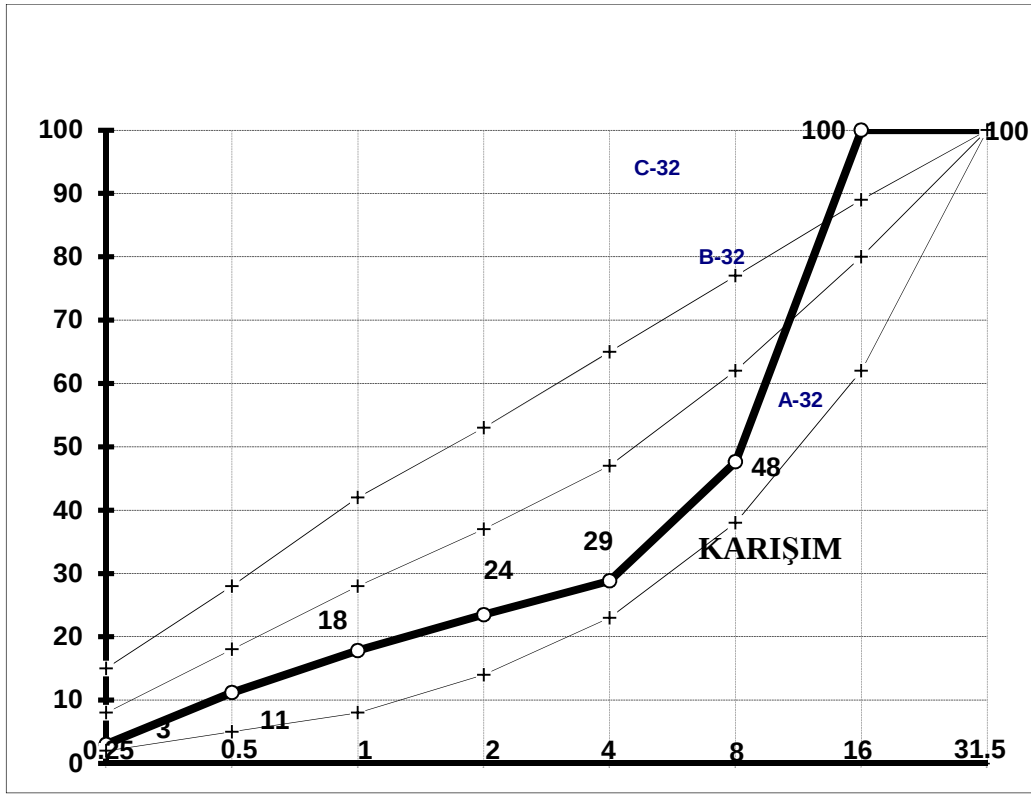
2.2.1 Deneylerde yapılan kabuller ve üretilen beton serileri

Beton numunelerde agrega konsantrasyonu %0'dan başlayarak %75'ekadar arttırılarak beton serileri oluşturuldu. Granülometri (A32-B32 arası) tutuldu. En büyük agrega boyutu 20 mm olarak kullanıldı. Su/çimento oranı sabit 0.28 tutularak, bütün numunelerde aynı çimento kullanıldı.

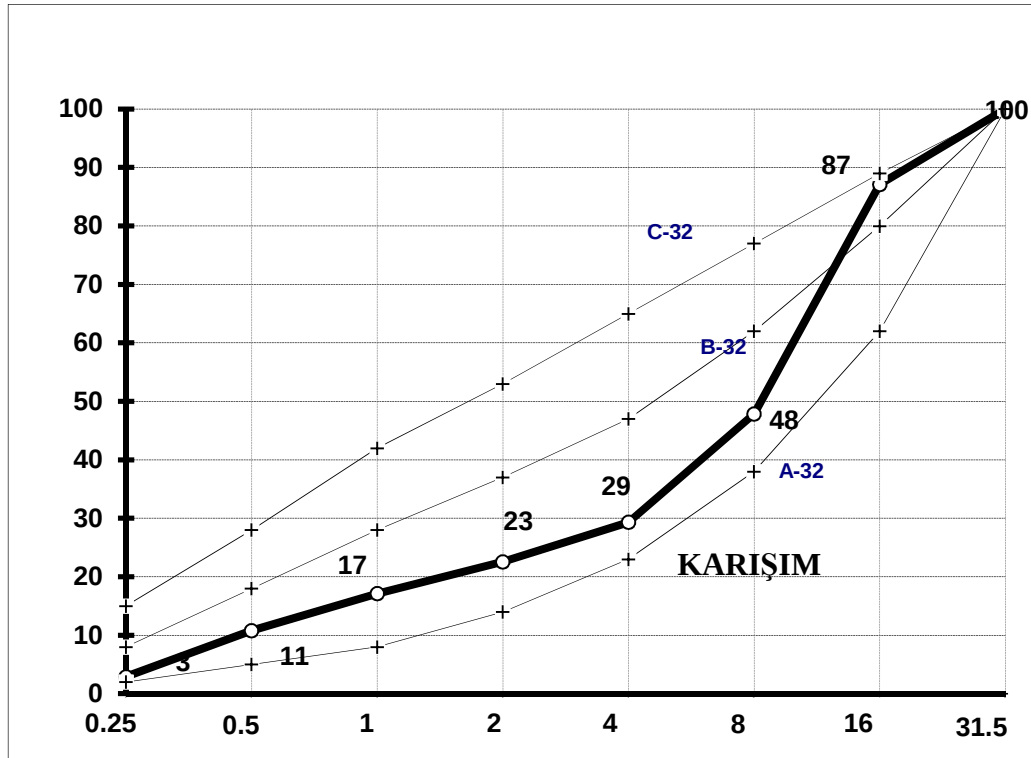
Mutlak hacim yöntemiyle beton bileşimleri Çizelge 2.4'teki karışım oranlarıyla oluşturuldu. Şekil 2.1, 2.2, 2.3 ve 2.4'te granülometrik bileşimleri verildi.

Çizelge 2.4: Betondaki Agrega Yüzdeleri.

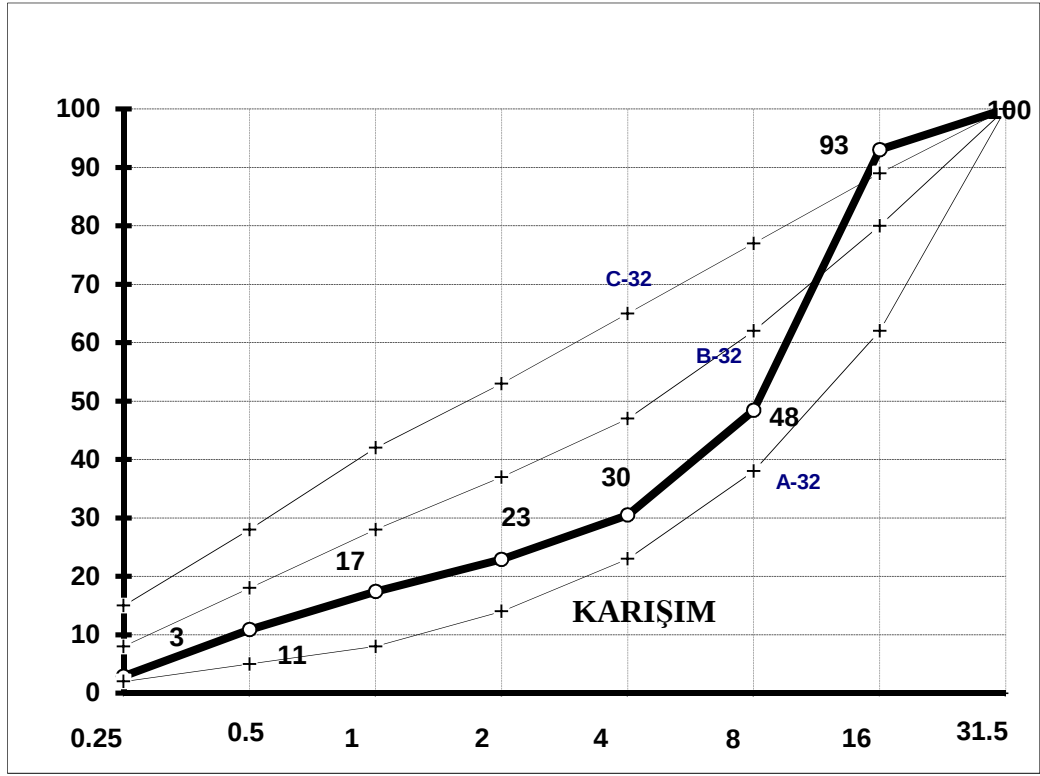
Agrega cinsi	BE Kırmataşlı Betonlarda			BA Kırmataşlı Betonlarda			DO Kırmataşlı Betonlarda			CE kırmataşlı Betonlarda		
	0-4	4-8	8-20	0-4	4-8	8-20	0-4	4-8	8-20	0-4	4-8	8-20
Kum (%)	28	-	-	27	-	-	28	-		27	-	-
Kırma taş (%)	-	32	40	-	43	30	-	34	38	-	25	48



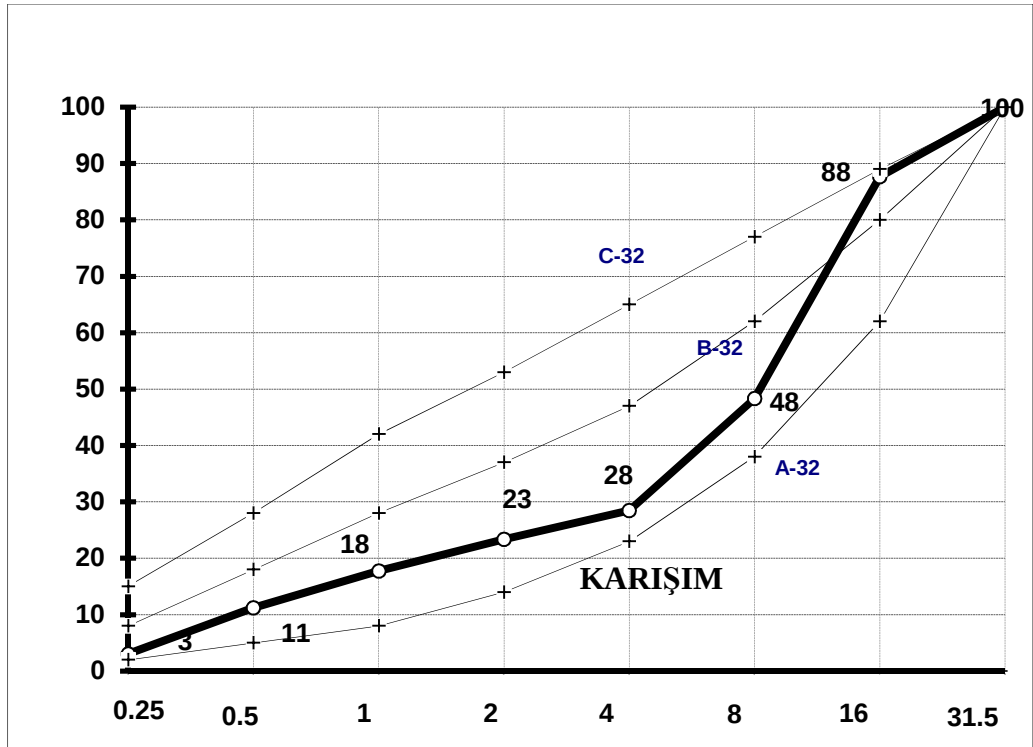
Şekil 2.1: BE Serisi Granülometrisi.



Şekil 2.2: BA Serisi Granülometrisi.



Şekil 2.3: CE Serisi Granülometrisi.



Şekil 2.4: DO Serisi Granülometrisi.

2.2.2 Karışım Serileri

Üretilen beton karışım serileri aşağıdaki gibidir:

Bazaltlı beton serisi : BA20, BA40, BA60, BA75.

Beyaz kalkerli beton serisi : BE00a, BE00b, BE20, BE40, BE60a, BE60b, BE75.

Cebeci kalkerli beton serisi : CE20, CE40, CE60, CE75.

Dolomitli beton serileri : DO20, DO40, DO60, DO75.

2.2.3 Üretim, Karıştırma, Yerleştirme ve Kür Koşulları

Betonların üretiminde 55 dm³ kapasiteli betoniyer kullanıldı. Agreganın konsantrasyonu %60 ve %75 m³/m³ olan betonlar çelik kalıplara üç tabaka halinde ve her bir tabaka 25'şer defa şişlenerek yerleştirildi. Kıvamı kuru ve plastik olanlar ayrıca titreşim masasında titreşime tabi tutuldu. 24 saat süreyle kalıp içerisinde sertleşen numuneler daha sonra sıcaklığı 20 °C ± 2 °C olan Kirece doymuş su içine konuldu. 28.güne kadar kür havuzunda kalan kum içeren basınç numunelerine harç başlıklar yapıldı ve 28. günde sertleşmiş beton deneyleri uygulandı.

2.2.4 Beton Numune Özellikleri

Bütün testlerde standart silindir ve küp numuneler kullanıldı. Silindir için yükseklik 300mm, çap 150mm; küp için 150mm x 150mm boyutlarında kalıplar kullanıldı. Her bir karışım için 3 adet küp ve 5 adet silindir numune üretildi. Silindir numunelerin 2 tanesi 15'er cm kesilerek, 4 adet 15cm boyunda ve 15cm çapında yarma deneyi numunesi olarak kullanıldı. Bütün numunelere ultra ses hızı deneyi yapıldı.

2.3 Yapılan Deneyler

2.3.1 Taze Beton Deneyleri

Bütün taze beton serilerine: birim ağırlık, çökme ve Ve-Be deneyleri yapıldı.

2.3.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri

Bütün serilerde Ø 15x30 cm boyutundaki silindir numuneler ve 15x15cm küp numuneler üzerinde basınç mukavemet deneyleri; kesilerek hazırlanmış 15x15 cm

boyutundaki silindir numuneler üzerinde de yarma mukavemeti deneyleri yapıldı. Silindir basınç deneylerinde boyuna ve yanal deplasmanlar ölçüldü.

2.3.3 Ultrases Hızı Deneyleri

Bütün beton serilerinde 15x30 cm boyutundaki beton silindir numunelerinde ve 15x15cm küp numunelerinde ASTM C 597 standardı esaslarına uygun olarak ultrases hızı deneyleri yapıldı. Sonuçlar ek tablolarda verildi.

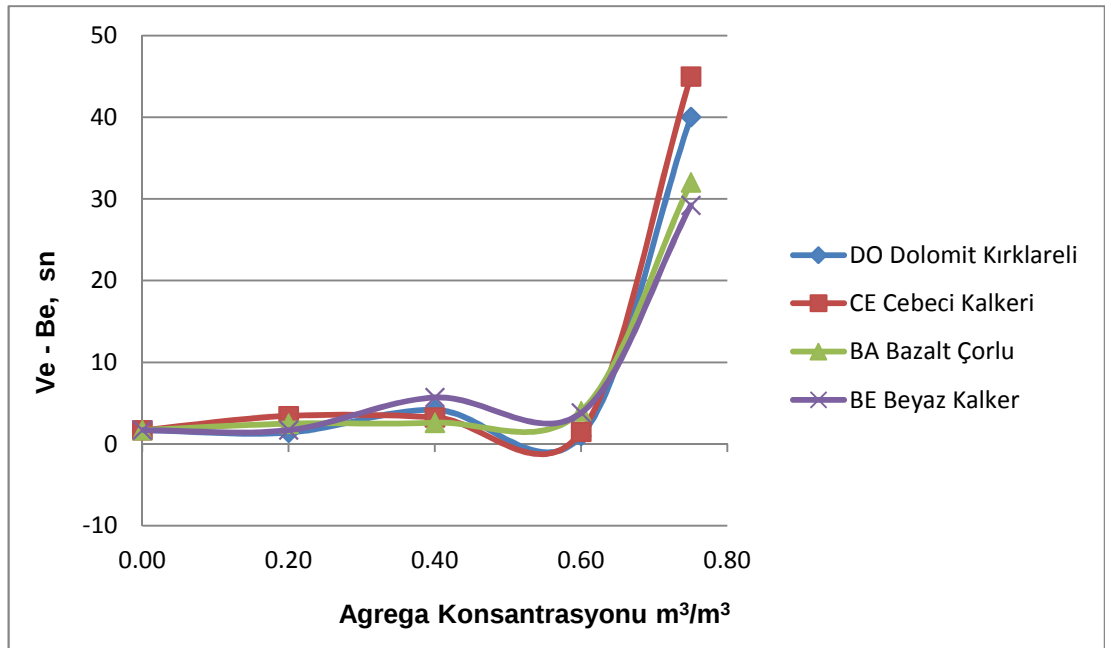
2.3.4 Birim Ağırlık Deneyleri

Bütün beton serilerinde laboratuvar kurusu durumunda birim ağırlık deneyleri yapıldı.

3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

3.1 Taze Beton Özellikleri

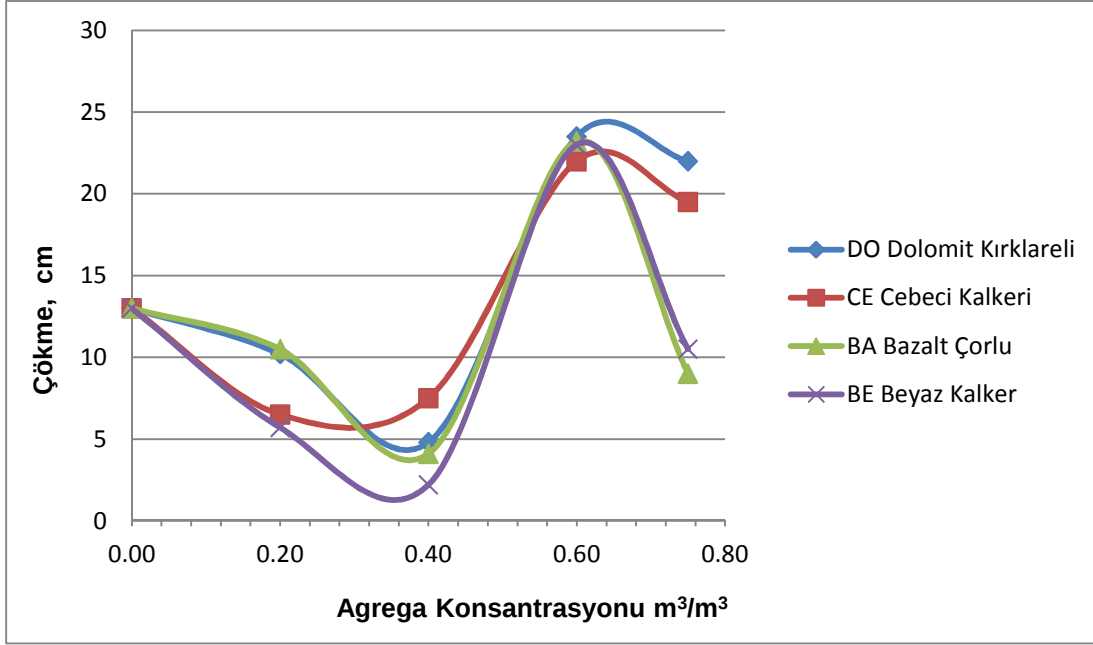
Taze beton özellikleriyle ilgili ekler bölümündeki Çizelge A.1, A.2, A.3, A.4 ve aşağıdaki şekiller 3.1 ve 3.2 incelendiğinde: Agregası içermeyen serilerin işlenebilirlik özelliğinin akıcı beton kıvamında, agregası içeren serilerin agregası yüzdesi arttıkça kuru beton kıvamı gösterdiği, %60'lık serilerde süper akışkanlandırıcının etkisiyle akıcı beton kıvamına geri geldiği ve yine konsantrasyonun artmasıyla kuru kıvama doğru ilerlediği gözlemlenmiştir.



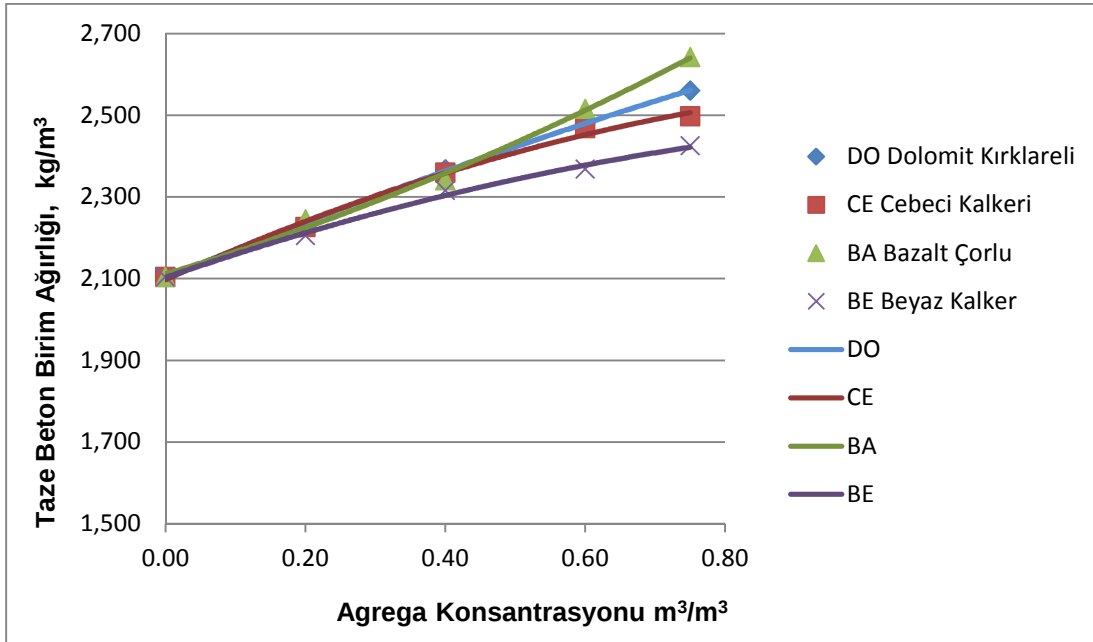
Şekil 3.1: Ve-Be Agregası Konsantrasyonu İlişkisi.

Ve-Be ve çökme değerleri incelendiğinde % 0-60 agregası konsantrasyonu aralığında (%40-60 aralığında süper akışkanlandırıcının etkisiyle) betonlar plastik kıvamlı ; %60 konsantrasyonun üzerinde kuru beton kıvamında işleme özelliği göstermektedir. Bunun sebebi artan agregası yüzeyini ıslatmak için daha fazla suya ihtiyaç duyulmasıdır.

Agrega hacmi arttıkça bütün kırmataş serilerinde Şekil 3.3'te görüldüğü gibi taze birim ağırlığın arttığı gözlenmiştir.



Şekil 3.2: Çökme – Agregat Konsantrasyonu İlişkisi.



Şekil 3.3: Taze Beton Birim Ağırlığı – Agregat Konsantrasyonu İlişkisi.

3.2 Betonun Elastik Davranışlarıyla İlgili Özellikler.

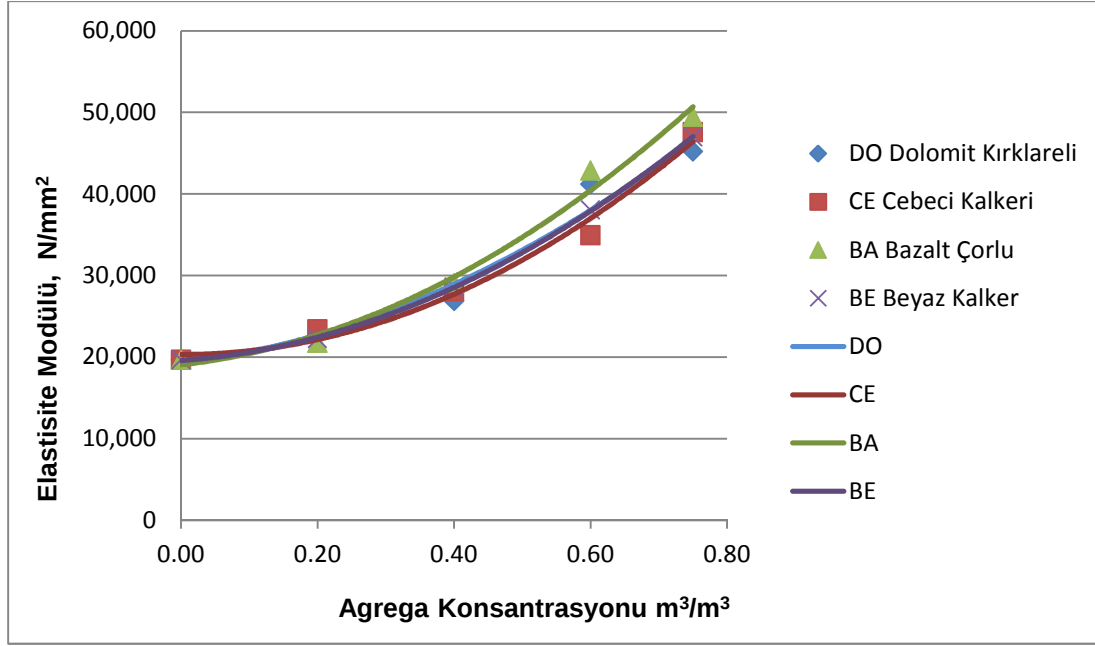
Elastisite Modülü betonarme, beton ve öngermeli beton yapılarda elastik şekil değiştirmelerin hesaplanmasının önemli bir malzeme sabitidir. Betonun yapısında viskoz özellik gösteren çimento hamuru bulunmasından dolayı, betonun deformasyonu diğer katı cisimlerin deformasyonundan farklı olur. Gerilme – deformasyon eğrisinin başlangıçta doğru olmaması, betonda çeşitli elastisite modüllerinin tanımlanmasına neden olmuştur.

Numunelerde ölçülen şekil değiştirmelerden yararlanarak elastisite modülü (E) ve Poisson oranı (ν) hesaplandı. Elastisite modülü, yüklemenin başlangıç değerlerinde sabite yakındır. Bu durum betonu başlangıçta yaklaşık olarak doğrusal davranış gösterdiği şeklinde yorumlanır. Yüksek mukavemetli betonlarda ise bu doğrusallık daha belirgindir. Gerçekte beton, mukavemetinin 1/3'üne kadar doğrusallığa yakın davranış gösterir ve bu yaklaşımla uygulanabilirliği söz konusu olan yararlı sonuçlar elde edilir. Tanjant Modülü olarak tanımlanan bu elastisite modülü bulma yönteminde: gerilmelerin basınç mukavemetinin üçte birinden küçük olan değerlerindeki gerilme – şekil değiştirme diagramının eğimi dinamik elastisite modülü olarak kabul edilir (Postacıoğlu, 1981).

Elastisite modülü deneysel olarak , gerilme-şekil değiştirme eğrisinde basınç mukavemetinin 1/3'üne kadar bu yaklaşımdan, eğim hesaplanarak elde edildi. Ölçü hatalarının önemli olacağı düşünülen bazı lineerlikten sapan ilk noktalar değerlendirmede göz önüne alınmadı.

3.2.1 Agregas Konsantrasyonunun Betonun Elastisite Modülüne Etkisi

Betonun elastisite modülü, betonu oluşturan bağlayıcı hamur ve agreganın elastisite modüllerine bağlıdır. Şekil 3.4'te görüldüğü gibi agregas konsantrasyonu arttıkça , betonun elastisite modülü artmaktadır. Bunun sebebi deneylerde kulanılan kırmataş agregalarının elastisite modülünün, bağlayıcı hamurun elastisite modülünden yüksek olmasıdır. Betonun elastik davranışları üzerinde daha önce yapılan araştırmalarda elastik davranışı etkileyen en önemli faktörlerden birinin de agregas cinsi olduğunu belirtmişler (Lydon ve Baledron, 1986).

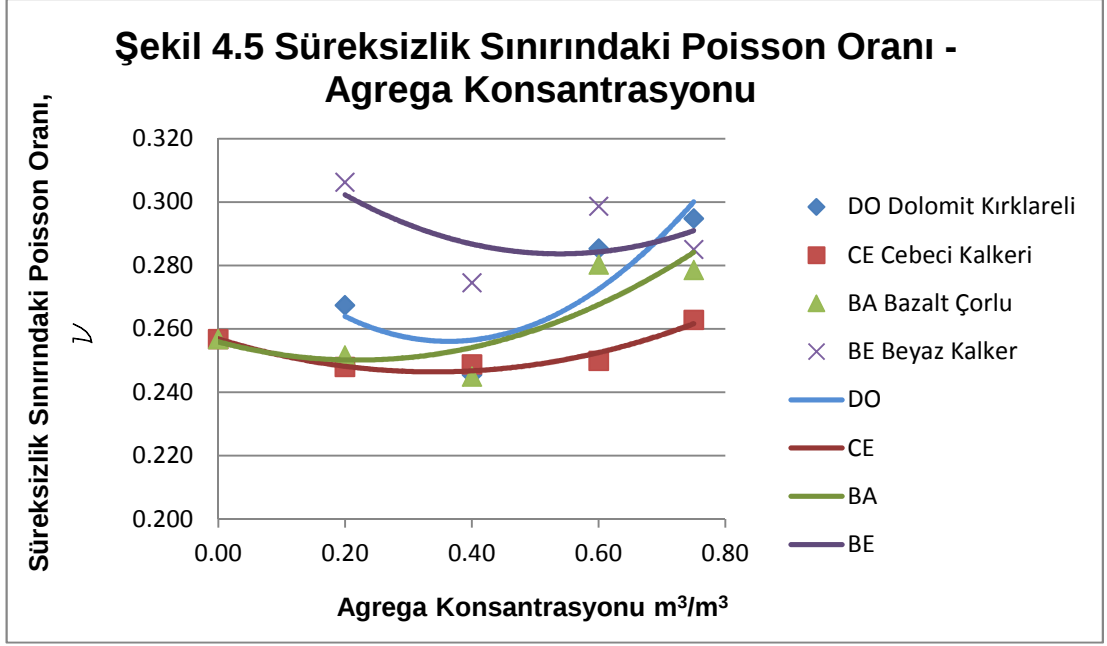


Şekil 3.4: Agrega Konsantrasyonu – Elastisite Modülü İlişkisi

3.2.2 Konsantrasyonununsüreksizlik sınırındaki poisson oranına etkisi

Betonun süreksizlik sınırındaki poisson oranının, üretilen beton serilerindeki agrega konsantrasyonuna göre değişimi Şekil 3.5'te çizilmiştir.

Buna göre agrega konsantrasyonu arttıkça, süreksizlik sınırındaki poisson oranı bir miktar azalmakta, bir minimum değerinden geçtikten sonra artar. Bu azalış ve artış betonun basınç dayanımının agrega konsantrasyonu ilişkisine benzemektedir (Şekil 4.8.a ve 4.8.b). Buna göre betonun basınç dayanımındaki azalış ve artış betonun poisson oranını da aynı şekilde etkiler.



Şekil 3.5: Agregat Konsantrasyonu – Poisson Oranı İlişkisi

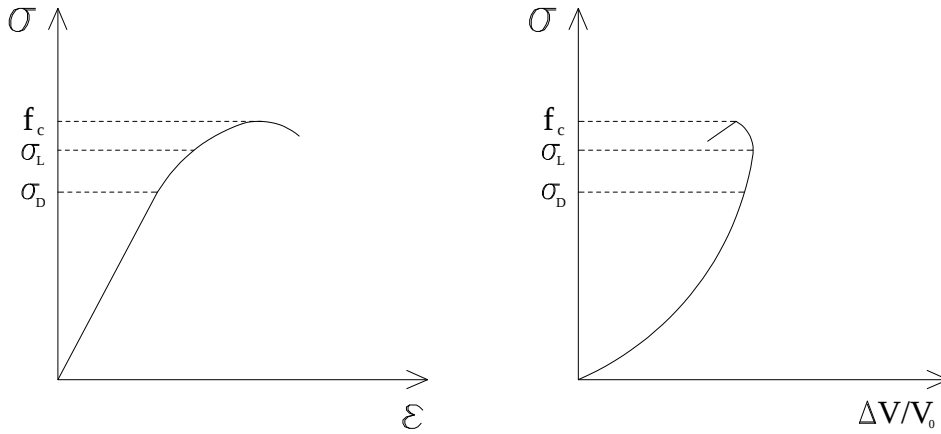
3.3 Betonun Elastik Olmayan Davranışlarıyla İlgili Özellikler

Betonun gerilme – şekil değiştirme eğrisinin büyük çoğunluğu lineer değildir ve elastik olmayan bölgededir. Bu elastik olmayan davranışın sebebi mikro çatlaklardır (ACI Committee 224). Betonlarda süreksizlik sınırı çözülme sınırı ve basınç mukavemeti gibi elastik olmayan davranışın kritik gerilme değerleriyle bunlara ait şekil değiştirmeler de elde edildi. Bulunan değerler Ek tablolarda görülmektedir. Bu kritik değerler şu şekilde belirlendi:

Süreksizlik sınırının bulunmasında Poisson oranının değişiminden yararlanıldı. Süreksizlik sınırı, Poisson oranının önemli ve devamlı bir biçimde artmaya başladığı gerilme değeridir. Betonun Poisson oranının saptanmasında şu ilke göz önünde bulunduruldu. Bir P yükünden hemen sonraki $P_n + 2$ ton yükünde Poisson oranı 0.003'e eşit veya daha fazla artarak devam etmekte ise, σ gerilmesinde veya P yükünde betonun süreksizlik sınırına vardığı kabul edildi (Wong, Zobel, Buenfeld ve Zimmerman, 2009; Zheng, Wong ve Buenfeld, 2009; Grassl, Wong ve Buenfeld, 2010). Çözülme sınırı hacimsel birim şekil değiştirmeden yararlanılarak bulunmaktadır. Bu kritik gerilme değerinden itibaren betonun basınç yükleri altında hacmi artmaya başlar. Kısa süreli tek eksenli basınç altında ε boyuna ve ε_g enine

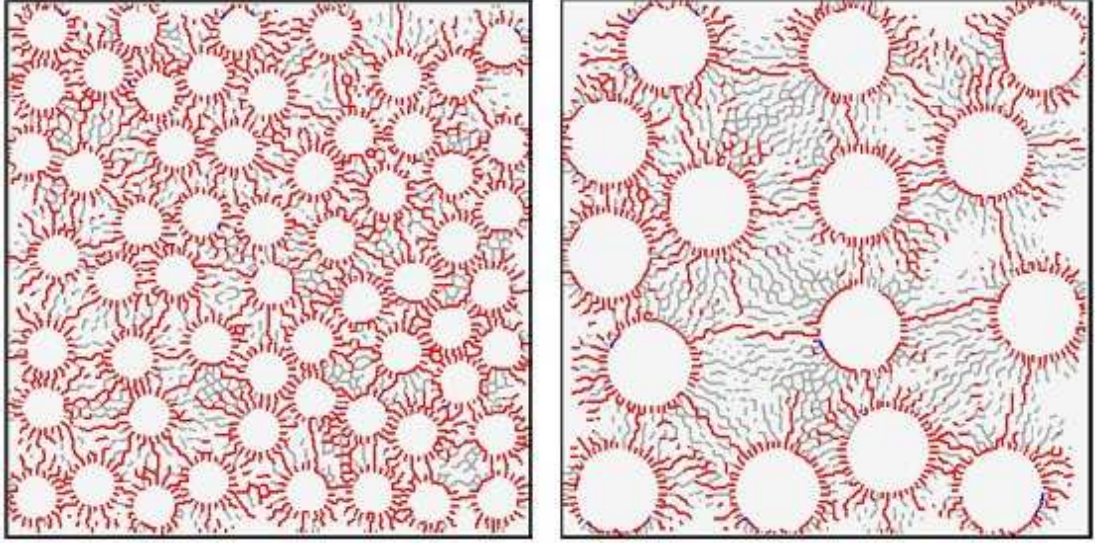
şekil değiştirmeleri gösterdiğine göre ve daha yüksek mertebe terimler ihmal edilerek birim hacimsel şekil değiştirme $\Delta V/V = \varepsilon - 2\varepsilon_g$ denklemiyle ile hesaplandı. Deneyle elde edilen ε ve ε_g değerleri denklemde yerine konarak birim hacimsel şekil değiştirmeler $\Delta V/V$ in minimumdan geçtiği gerilme çözümlme sınırı olarak alındı.

Bütün betonlarda elde edilen süreksizlik sınırları, çözümlme sınırları basınç mukavemetleriyle, bu gerilmelerdeki şekil değiştirmeler ek tablolarda görölmektedir. Betonun gerilme-şekil değiştirme ve gerilme-hacimsel şekil değiştirme eğrileri şematik olarak Şekil 3.6'da gösterilmektedir.



Şekil 3.6: Gerilme – Şekil Değiştirme ve Gerilme – Hacimsel Şekil Değiştirme

Betonda kısa surely basınç altında bağ mukavemetinin aşılmasıyla tema yüzeyinde çatlaklar gelişir. Temas yüzeyindeki çatlakların sayısında boy ve genişliğinde artış yük artışıyla devam eder. Temas yüzeyi sürtünme nedeniyle yük taşır. Süreksizlik sınırında daha önce ihmal edilen mikro çatlakların etkisi artmaya başlar. Mikro çatlakların artması kırmataş numelerinde başlangıçta azalma gösteren poisson oranının belirli bir artısan başlamasına neden olur, gerilme – hacim değiştirme eğrisilineerlikten ayrılmaya başlar. Çözümlme sınırı değerine ulaştığında harç fazındaki mikro çatlaklar önemli ölçüde ve birden gelişir. Bu çatlaklar agrega – harç birleşim yüzeyindeki çatlaklarla birleşerek, Şekil 3.7'de görüldüğü gibi beton içinde sürekli bir mikro çatlak ağı oluşturur.



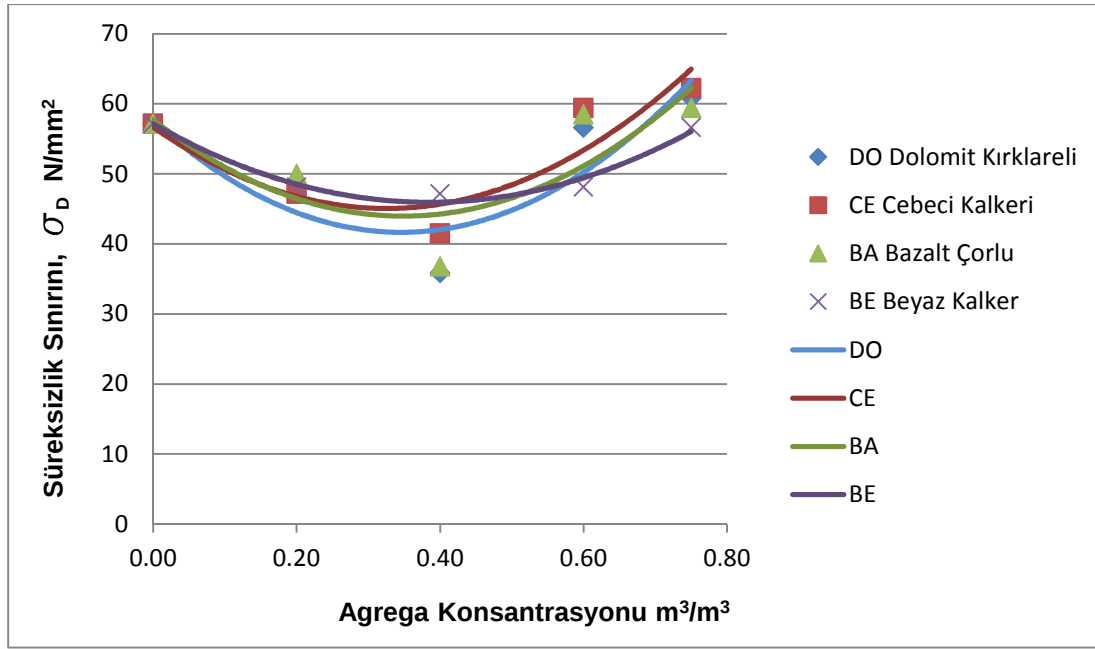
Şekil 3.7: Betonda Mikro Çatlakların İlerleyişi [33]

Çözülme sınırına kadar küçülen hacim, bundan sonra hızlı bir şekilde artmaya başlar ve basınç mukavemeti değerine ulaşır. Betonun taşıma gücü, sürekli çatlak ağının büyük oranda yayılmasıyla azalır. Kırma taşlı betonlarda ve normal betonlarda agrega mukavemeti, çimento hamurunun mukavemetinden büyük olduğu için, agrega tanelerinin kırılmasına az rastlanır.

3.3.1 Agrega konsantrasyonunun betonun süreksizlik sınırına etkisi

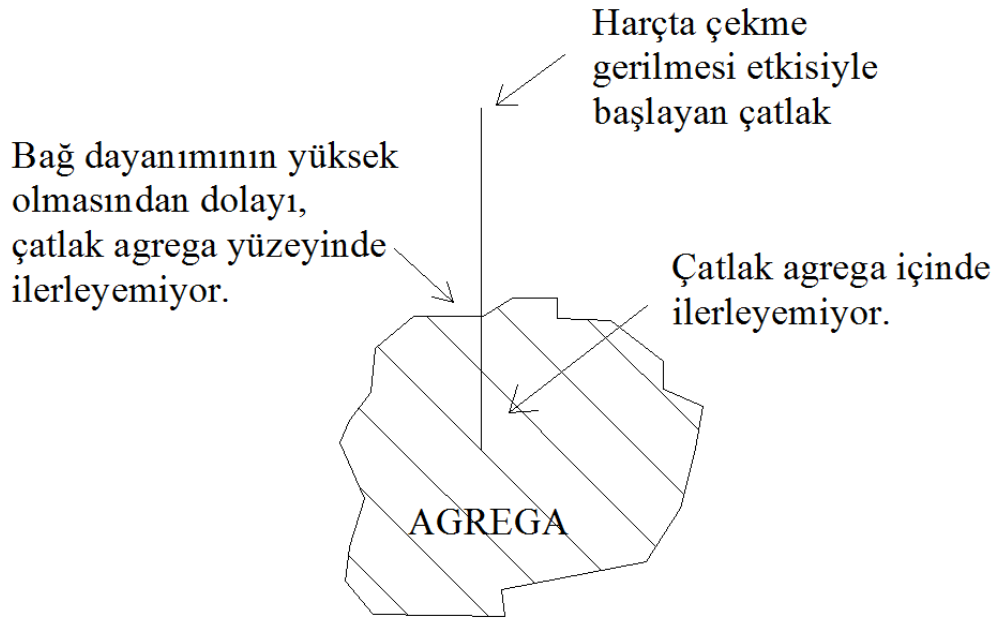
Üretilen kırmataş serilerinde Şekil 3.8’de görüldüğü gibi, agrega konsantrasyonunun artmasıyla süreksizlik sınırı azaltmakta, sonra bir minimumdan geçtikten sonra artmaktadır.

Süreksizlik sınırındaki azalma ve artmanın sebebi şöyle açıklanabilir: Süreksizlik sınırının minimum noktasına kadar, agrega konsantrasyonundaki artmayla gerilme yığılmaları artar ve süreksizlik sınırı düşer. Süreksizlik sınırının minimum değerinden sonra çatlak oluşum mekanizması Şekil 3.9 ve 3.10 daki gibi oluşur.



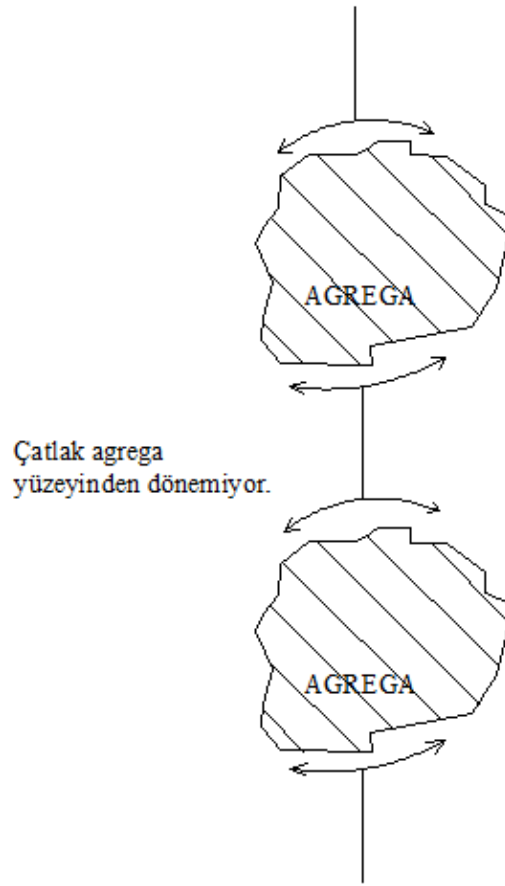
Şekil 3.8: Agregasın Konsantrasyonu – Süreksizlik Sınırı İlişkisi

Kırmataş tanesinin civarındaki çatlak başlangıcı Şekil 3.9,'da çizilmiştir. Tanenin üst noktasında çekme gerilmesinden dolayı harcın temas yüzeyine yakın bir bölgeden başlayan çatlak, yüksek bağ dayanımından dolayı henüz agregasın yüzeyinde ilerleyememektedir. Agreganın yüksek çekme dayanımından dolayı, çatlak agregasın içinden de geçememektedir.



Şekil 3.9: Kırmataş Agregasında Çatlak Başlangıcı

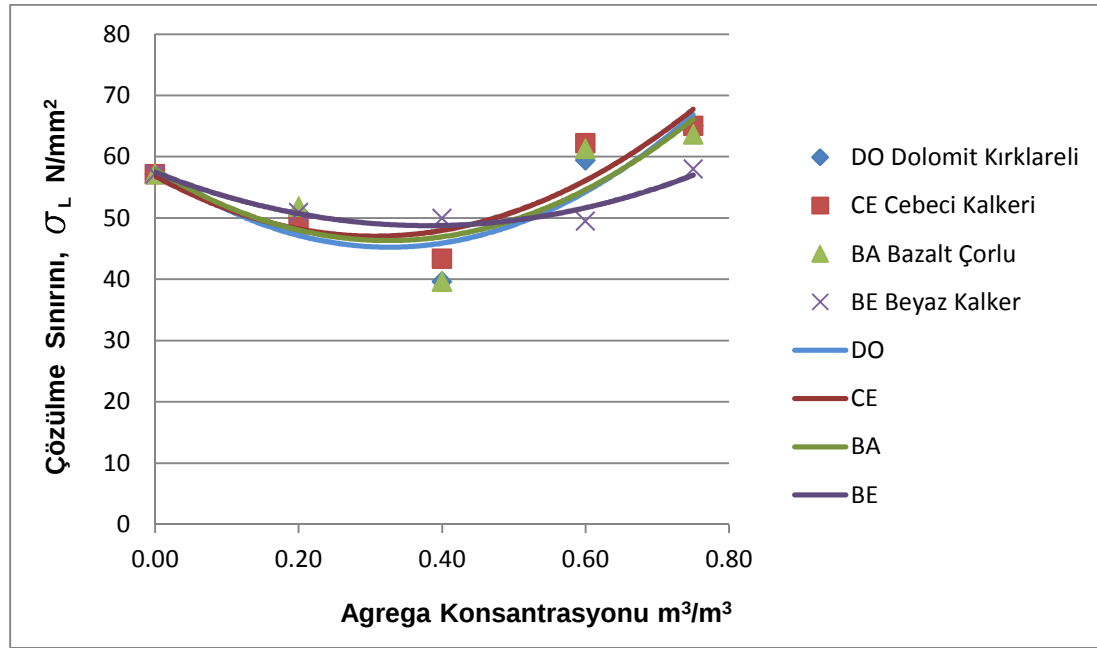
Agrega konsantrasyonunun arttığı numelerde, kesitte önemli miktarda iri agregalar yan yana gelir. Çatlak başlangıcından hemen sonraki aşama bu numunelerde Şekil 3.10,da gösterilmiştir. Önceden başlamış olan çatlak iri agregalar yüzeyinde biraz yayılmasına karşın yüksek bağ dayanımından dolayı, agregalar yüzeyinden dolaşamamaktadır. Bu nedenle iri agregaların civarında başlamış olan çatlaklar süreklilik kazanamamakta ve böylece yan yana gelen iri agregalar birbirleri civarında oluşan çatlakların ilerlemesini durdurmaktadır. Çatlak yayılmasının azalmasının olumlu etkisiyle, gerilme yığılmasının olumsuz etkisi azalmakta ve agregalar konsantrasyonunun artışıyla süreksizlik sınırı da artmaktadır.



Şekil 3.10: İki Komşu Kırmataş Agregası

3.3.2 Agreg a konsantrasyonunun betonun özölme sınırına etkisi

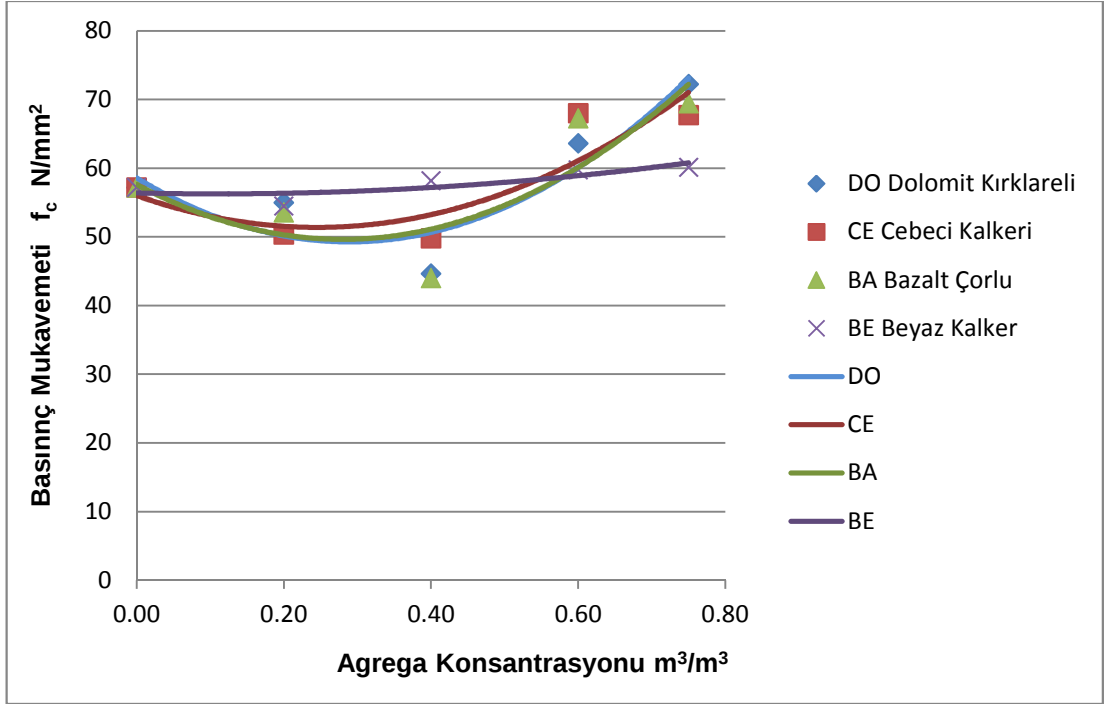
Agreg a konsantrasyonunun süreksizlik sınırına etkisi Şekil 3.11 ve ek tablolardan görüldüğü gibi süreksizlik sınırının davranışlarına benzer. Kırmataş agregalı numunelerde agreg a konsantrasyonunun artmasıyla, özölme sınırında bir azalma ve bir minimum değ erden geçtikten sonra artma görölmektedir. Bunun nedeni süreksizlik sınırındaki çatlak ilerleme ve oluşum mekanizmasının, özölme sınırında da aynen devam etmesidir.



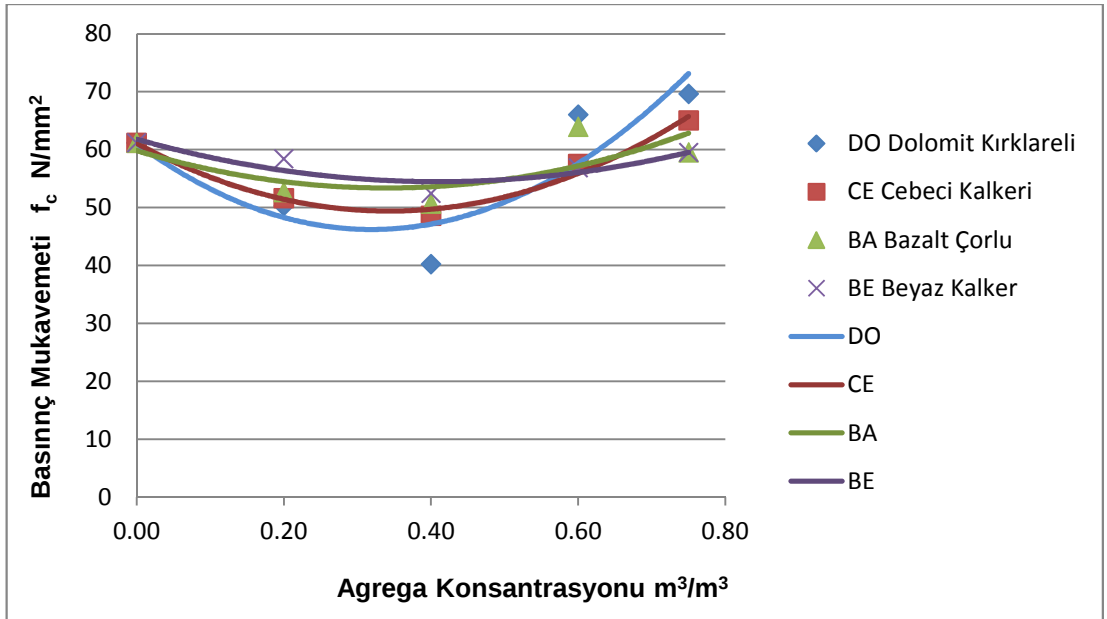
Şekil 3.11: Agreg a Konsantrasyonu – özölme Sınırı İlişkisi

3.3.3 Agreg a konsantrasyonunun betonun basınç mukavemetine etkisi

Kırmataş agregalı numunelerde agreg a konsantrasyonunun artmasıyla şek il 3.12 ve 3.13'te görüldüğü gibi, basınç mukavemetinde bir azalma ve bir minimum değ erden geçtikten sonra artma görölmektedir. Karış ımdaki agreg a hacminin artmasına bağlı olarak gerilme konsantrasyonundaki artış, basınç dayanımının düşüşüne neden olur. Kırmataş lı serilerde (mevcut numunelerizdeki gibi kumlu serilerde) agreg a konsantrasyonunun %34 m³/m³'den büyük olması durumunda , agregaların düşey kesitteki miktarları yeterli seviyeye gelir. Çatlaklar bu değ erden sonra beton matrisi yerine agregaların iç inden geçer. Kırmataş ın çekme dayanımı , beton matristen büyük olduğu için basınç dayanımı bu değ erden sonra agreg a konsantrasyonunun artışıyla yükselir (Mears ve Hobbs, 1972).



Şekil 3.12: Silindir Numunelerde Agregat Konsantrasyonu – Basınç Mukavemeti

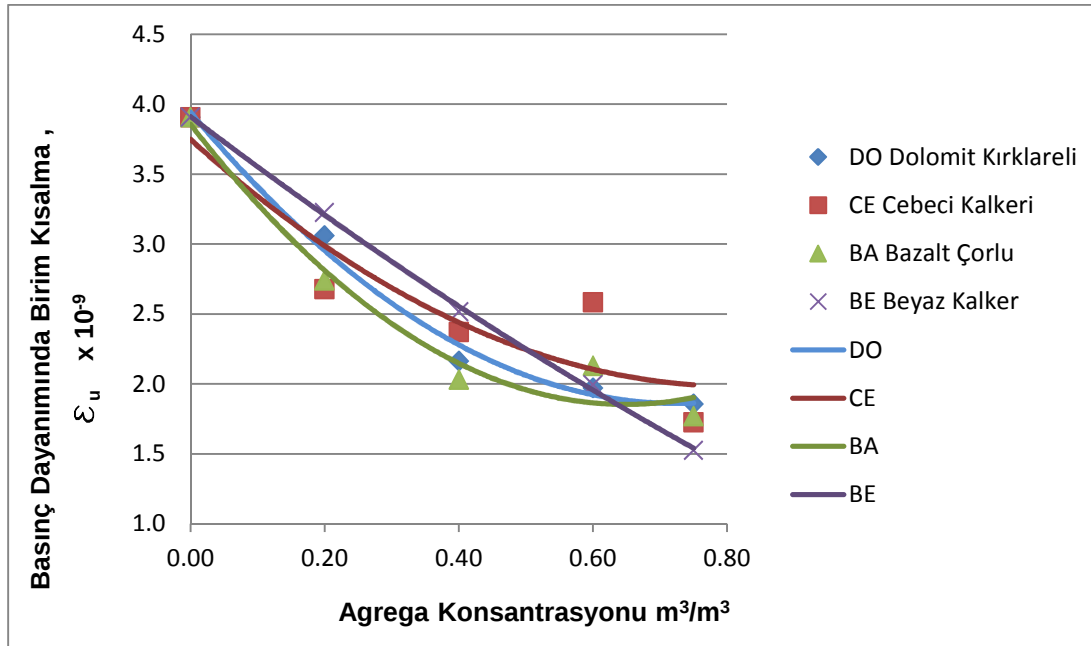


Şekil 3.13: Küp Numunelerde Agregat Konsantrasyonu – Basınç Mukavemeti

3.3.4 Agreg a konsantrasyonunun betonun basınç mukavemetindeki birim

kısalmasına etkisi

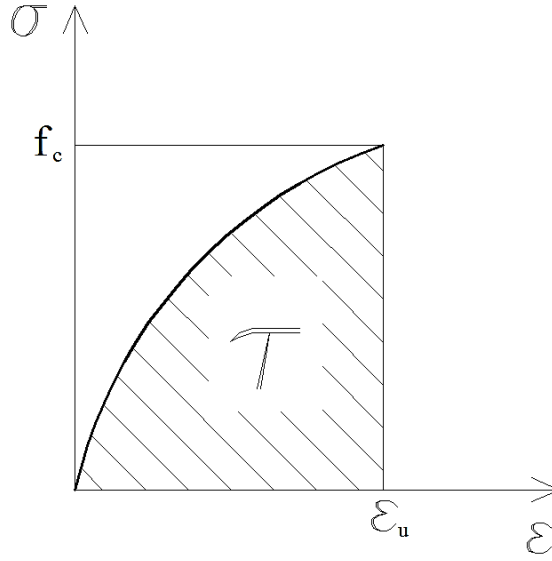
Agreg a konsantrasyonu arttıkça, şek il 3.14'te de görüldüğü gibi, bütün serilerde basınç mukavemetindek i birim kısalma azalmaktadır. Bunun sebebi: Çimento hamurundaki kısalma büyük oranda elastiktir. Hamura agreg a katıldığında, mikro çatlakların neden olduğu kısalmalar oluşur. Bu kısalmalar, agreg a konsantrasyonu arttıkça belirginleşir . Basınç mukavemetinde daha az şek il değ iş tirm e gözlenir.



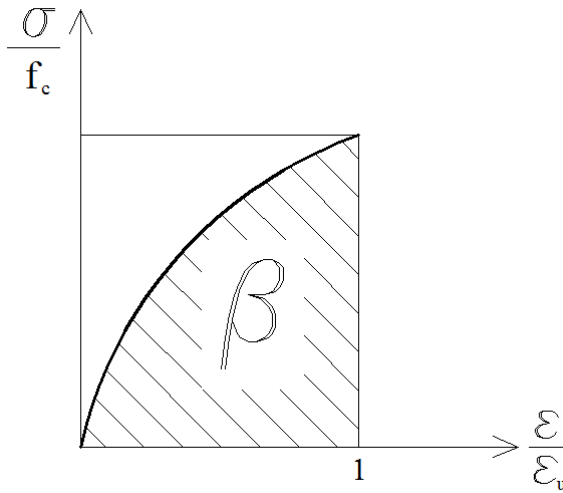
Şek il 3.14: Agreg a Konsantrasyonu – Betonun Basınç Mukavemetindeki Birim kısalmasıyla İlişkisi

3.4 Kırılma – Şekil Değiştirme İşi ile İlgili Özellikler

Beton numunelerin kırılmasına kadar birim hacim başına yapılan işe Kırılma şekil değiştirme işi (τ) denir. Şekil 3.15'te şematik olarak görülen kırılma şekil değiştirme işinin değeri gerilme – şekil değiştirme işinin altındaki alana eşittir. Birimi N/mm^2 'dir. Gerilme – şekil değiştirme eğrisi Şekil 3.16'daki gibi boyutsuz hale getirilerek, bağıl şekil değişme işi (β), bu eğrinin altında kalan şekilde bulunur.



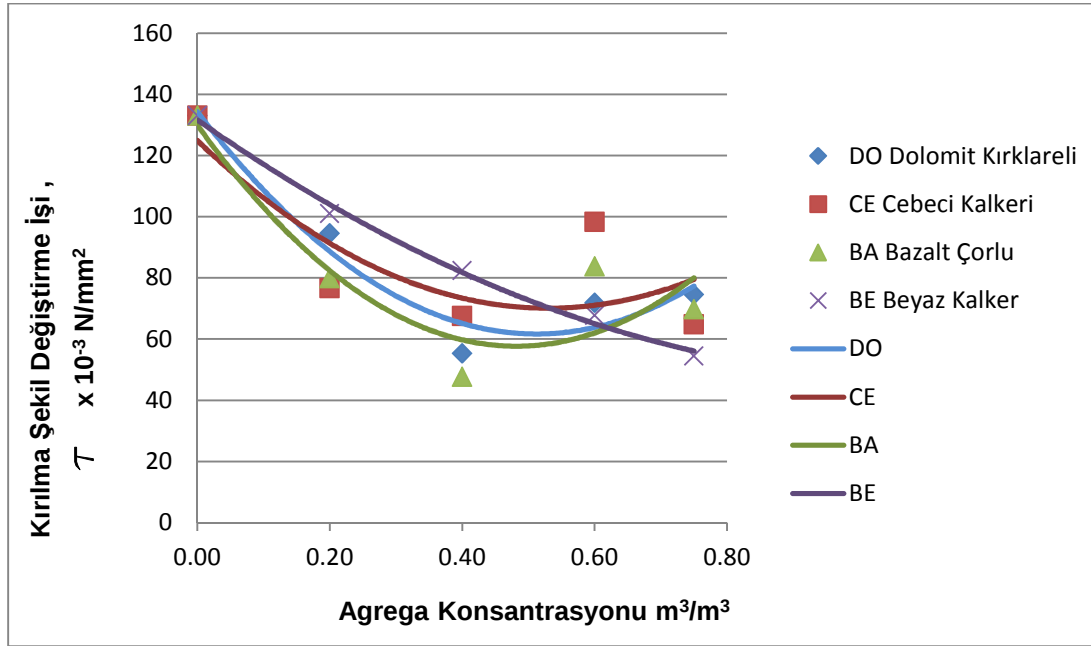
Şekil 3.15: Betonun Kırılma İş



Şekil 3.16: Betonun Bağıl Kırılma İş

3.4.1 Agreg a konsantrasyonunun kırılma – şekil değiştirme işine etkisi

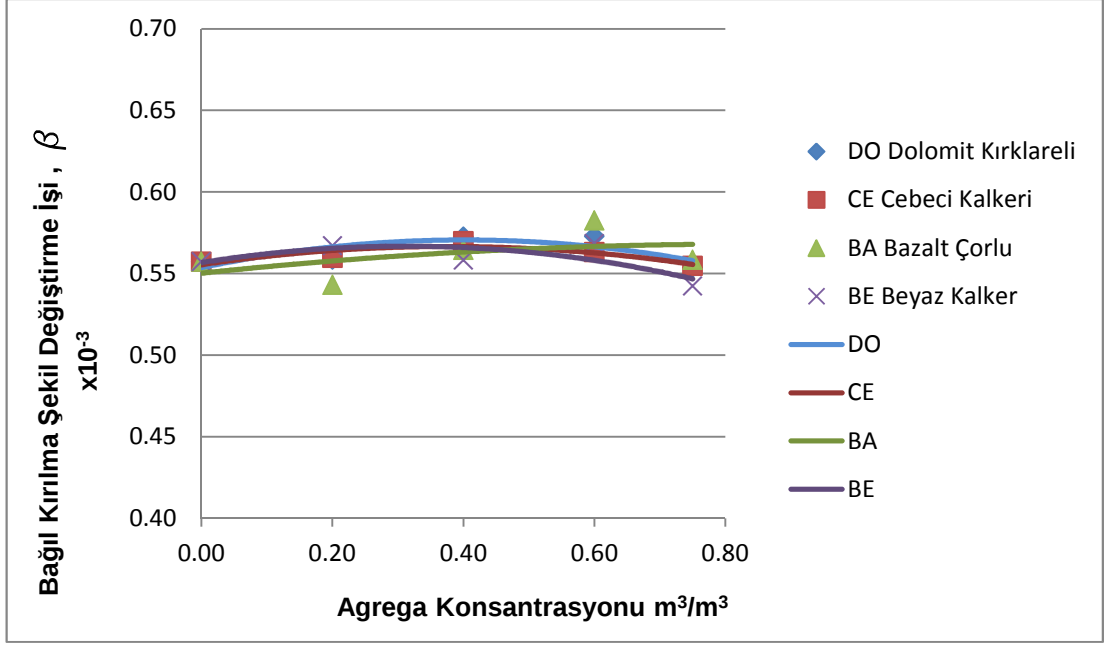
Agreg a hacim konsantrasyonu artığında, basınç mukavemetinde bir azalma ve bir minimum değerden geçtikten sonra artma görüldüğü, buna karşın birim kırsalmalar sürekli azaldığından şekil 3.17 görüldüğü gibi genelde %50 agreg a konsantrasyonuna kadar azalan, daha sonra bir minimumdan geçip biraz artış gösteren bir grafik oluşturur.



Şekil 3.17: Agreg a Konsantrasyonu – Betonun Kırılma - Şekil Değiştirme İşi İlişkisi

3.4.2 Agreg a konsantrasyonunun bağıl kırılma – şekil değiştirme işine etkisi

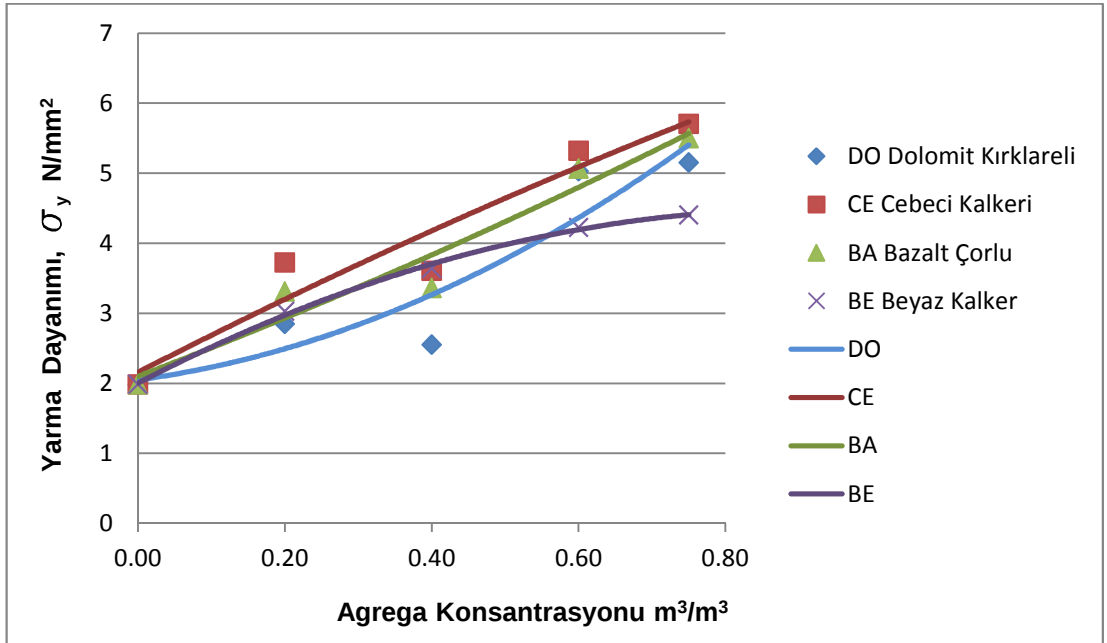
Agreg a konsantrasyonundaki değişiklik şekil 3.18’de görüldüğü gibi kırmataş serilerinde bağıl kırılma – şekil değiştirme değerleri pek fazla değişmemektedir.



Şekil 3.18: Agregat Konsantrasyonu – Bağlı Kırılma - Şekil Değiştirme İşi İlişkisi

3.5 Yarma Çekme Deneyleriyle İlgili Özellikler

Kırmataş serilerinde agregat konsantrasyonunun artmasıyla şekil 3.19’da görüldüğü gibi, yarma çekme dayanımı artmaktadır.



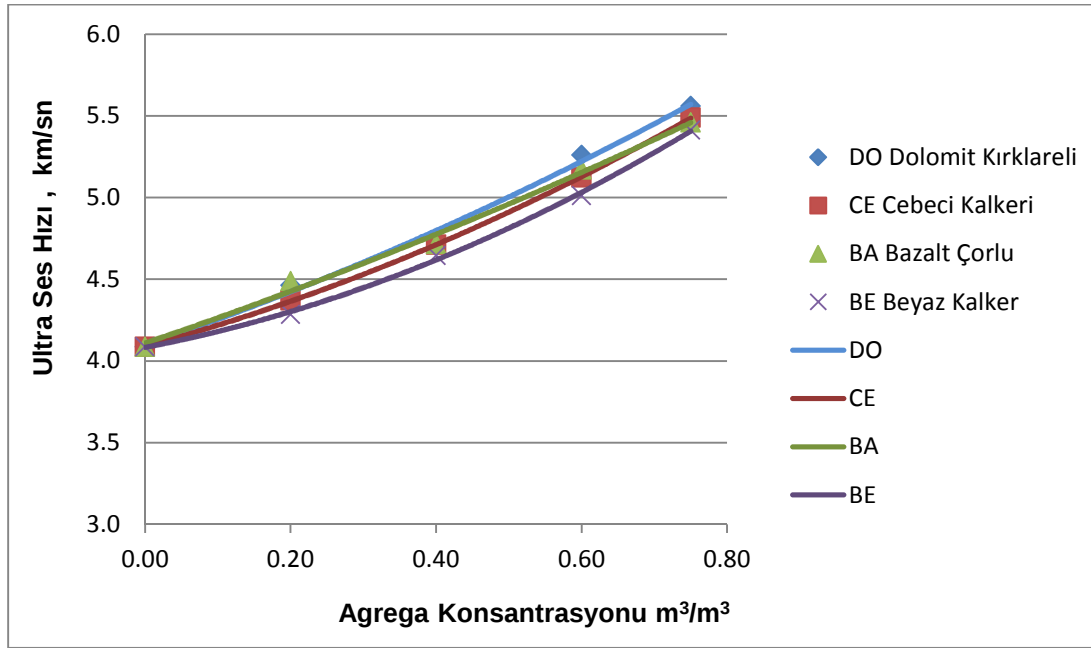
Şekil 3.19: Agregat Konsantrasyonu – Yarma Dayanımı İlişkisi

Kırmataşlı numunelerde çatlak genelde iri agreganın içinden geçmektedir. Gerilme iri agregat vasıtasıyla taşınmaktadır. Bu deneyde çatlama tek düzlem boyunda

olduğundan, bu düzlem boyunca Şekil B.9 ve B.10'da görüldüğü gibi agregalar kırılmaktadır.

3.6 Ultrases Hızı Deneyleriyle İlgili Özellikler

Kırmataş serilerinde agreg konsantrasyonunun artmasıyla şekil 3.20'de görüldüğü gibi, ultrases hızı artmaktadır. Kırmataş agregalarının elastisite modülü yüksek olduğundan, agreg hacmi arttıkça ultra ses hızı da artmaktadır.



Şekil 3.20: Agreg Konsantrasyonu – Ultrases Hızı İlişkisi

4. SONUÇLAR

4.1 Taze Beton Özellikleri İlgili Deney Sonuçları

Taze beton özellikleriyle ilgili olarak betonlarda agrega hacmi arttıkça bu betonların işlenebilirliği azalmaktadır.

Agrega konsantrasyonu arttıkça betonların taze beton birim ağırlığı artmaktadır.

%40 Agreg a konsantrasyonuna kadar Ve-Be değeri az artış göstermekte, %60 agrega konsantrasyonlu numunelerde süper akışkanlandırıcının etkisiyle azalmaktadır. %60 değerinden sonra beton plastik kıvamdan, kuru beton kıvamına geçtiğinden Ve-Be değeri hızlı bir şekilde artmaktadır.

Agrega konsantrasyonu artışıyla kompasite artmaktadır.

4.2 Sertleşmiş Beton Özellikleri İlgili Deney Sonuçları

4.2.1 Betonların elastik davranışlarıyla ilgili deney sonuçları

Beton numunelerinde agrega konsantrasyonu arttıkça betonların elastisite modülleri artmaktadır.

Betonların elastik özellik gösterdiği bölgede agrega konsantrasyonu arttıkça süreksizlik sınırındaki poisson oranı düşmektedir.

4.2.2 Betonların elastik olmayan davranışlarıyla ilgili deney sonuçları

Agrega konsantrasyonunun artışıyla kırılma taşı beton serilerinde süreksizlik sınırı bir miktar azalmakta, bir minimum değerinden geçtikten sonra artmaktadır.

Agrega konsantrasyonunun artışıyla çözülme sınırı %35 - %40 agrega konsantrasyonuna kadar azalmakta, bir minimum değerinden geçtikten sonra artmaktadır.

Agrega konsantrasyonunun artışıyla basınç dayanımı DO, CE ve BA serilerinde %35 - %40 agrega konsantrasyonuna kadar azalmakta, bir minimum değerinden geçtikten

sonra artmaktadır. BE, beyaz kalker serilerinde farklı bir özellikte sürekli bir artış göstermekte, ama sonuçta diğer serilerin basınç mukavemetine ulaşamamaktadır.

Agrega konsantrasyonunun artışıyla süreksizlik sınırındaki poisson oranı DO, CE ve BA serilerinde %35 - %40 agreg konsantrasyonuna kadar azalmakta, bir minimum değerinden geçtikten sonra artmaktadır. BE, beyaz kalker serilerinde farklı bir özellikte %50 - %55 agreg konsantrasyonuna kadar azalmakta, bir minimum değerinden geçtikten sonra biraz artmaktadır.

Agrega konsantrasyonunun artışıyla, bütün serilerde basınç mukavemetlerindeki birim kısımlar azalmaktadır.

DO, CE ve BA serilerinde, agreg konsantrasyonu arttıkça kırılma-şekil değiştirme işi değerleri %50 agreg konsantrasyonuna kadar azalan, daha sonra bir minimumdan geçip biraz artış gösteren bir grafik oluşturur. BE serilerinde ise sürekli azalan bir grafik oluşur ve geri artış gözlenmemektedir.

Agrega konsantrasyonunun artışı bağıl kırılma-şekil değiştirme işi değerlerinde değişme yapmamaktadır.

Agrega konsantrasyonunun artışıyla yarma çekme dayanımı artış göstermektedir.

Agrega konsantrasyonunun artışıyla ultrases hızı da artış göstermektedir.

4.3 İleri Çalışmalar İçin Öneriler

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda düşük, orta ve yüksek su/çimento oranına sahip betonlarla deneyler yapılarak en uygun su/çimento oranı ve agreg konsantrasyonu araştırılabilir. Deneyler değişik yaşlarda çalışmalarda yapılabilir. İki eksenli yükleme durumu ayrıca incelenebilir. Bu çalışmada kullanılan agregalardan farklı agregalar kullanılarak değişik sonuçlar elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- ACI Committee 224** (1972). "Control of Cracking in Concrete Structures", *ACI Journal*, pp.717-750.
- Akman, M.S.** (1975). "Kırmataş İri Agregalı Betonlarda Harç-Beton Sınırı Üzerine Araştırmalar", *İTÜ İnşaat Fakültesi, Teknik Rapor No. 21*.
- Alexander M. and Sidney Mindess S.** (2010). "Aggregates in Concrete", *CRC Press, Newyork*, 2010, pp.278-280.
- ASTM C 597**, Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, 1983.
- Bache, H. H., and Christensen, P.N.** (1965). "Observations on Strength and Fracture in Lightweight and Ordinary Concrete", *Proc. of and Inter. Conf. on the Structure of Concrete and its Behaviour Under Load*, London, 1965.
- Bache, H. H.** (1967). "Strength of Structural Lightweight Aggregate Concrete", *Rilem Symposium on" Testing and Design Methods of Lightweight Aggregate Concrete* in Budapest in March.
- Czuryszkiewicz, A.** (1973). "The Effect of Aggregate Shape Upon The Strength of Structural Light weight Aggregate Concrete", *Magazine of ConcreteResearch*, Vol. 25, No.83.
- Hobbs, D.W.** (1972). "The Compressive Strength of Concrete: a Statistical Approach to Failure", *Magazine of Concrete Research*, Vol.24, No.80, September 1972, pp.127-138.
- Gettu, R., Bazant, Z.P., and Karr, M.E.** (1990). "Fracture Properties and Brittleness of High Strength Concrete", *ACI Materials Journal*, pp. 608-618.
- Grassl, P.; Wong, H.S. and Buenfeld, N.R.** (2010), Influence of aggregate size and volume fraction on shrinkage induced micro-cracking of concrete and mortar, *Cem. Concr. Res.*, 40, 85-93.
- Gromicko, N. and Shepard, K.** (2014) Cracks emanating from the aggregate under a load. (t.y.).*International Association of Certified Home Inspectors*. Alındığı tarih: 28.03.2014, adres: <http://www.nachi.org/visual-inspection-concrete.htm>
- Grübl, P.** (1979). "Mix Design of Lihtweight Aggregate Concrete for Structural Purposes", *The International Journal of Lightweight Concrete*, Vol.1, No.2, 1979.
- Johnston, C. D.** (1970). "Strength and Deformation of Concrete in Uniaxial Tension and Compression", *Magazine of Concrete Research*, Vol.22, No.70, March.

- Jones, R. and Gatfield, E.N.** (1955). "Testing Concrete by on Ultrasonic Pulse Technique, *DISR Road Research, Tech. Paper No.34*, London, H.M.S.O.
- Jones, R., Kaplan, M.F.** (1957). "The Effect of Coarse Aggregate on the Mode of Failure of Concrete in Compression and Flexure", *Mag. of Concrete Research*, vol.9, no:26, pp 89-94.
- Kaplan, M. F.** (1963). "Strain and Stresses of Concrete at Initiation of Cracking and Near Failure", *ACI Journal*, Vol. 60, 1963, pp. 853-880.
- Lydon, F. D., Baledron, R.V.** (1986). "Some Observations on Elastic Properties of Plain Concrete", *Cement and Concrete Research*, Vol. 16, pp.34.
- Mears, A.R., and Hobbs, D.W.**, "The Efect of Mix Propertions Upon the Ultimate Air-Drying Shrinkage of Mortars", *Magazine of Concrete Research*, Vol.79, June 1972, pp.77-84.
- Mindess, S. ve Young, J.F.**, (1986). Concrete, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Oktar, O.N.** (1977). "*Bağlayıcı Hamurun Yapısının Betonun Kısa Süreli İnelastik Davranışındaki İşlevi*", İTÜ İnşaat Fakültesi, Doktora Tezi.
- Postacioğlu, B.** (1981). "Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri", *İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu*.
- Robinson, G. S.** (1965). "Methods of Detecting the Formationand Propagation of Microcracks in Concrete", *The Structure of an International Conference, London*, September.
- Shah. S. P., and Taşdemir, M. A.** (1994). "Role of Fracture Mechanics in Concrete Technology", in *Advances in Concrete Technology*, V.M. Maltobra, ed., CANMET, Second Edition, pp. 161- 202.
- Shah, S.P., and Winter, G.** (1966). "Inelastic Behavior of Concrete", *ACI Journal, Proceedings* V.63, No.9, Sept.1966, pp.925-930.
- Slate, O. F., and Meyers, L.B.** (1968). "Deformation of Plain Concrete", Paper for the Fifth International Sysmposium on the Chemistry of Cement, Tokyo.
- Stock, A. F.; Hannant, D. J. and R. I. T. Williams** (1979). "The effect of aggregate concentration upon the strength and modulus of elasticity of concrete", *Magazine of Concrete Research*, Vol.31, No.109, December, pp.225-234.
- Tanigawa, L., and Yamadaka, K.** (1978). "Size Effect in Compressive Strength of Concrete", *Cement and Concrete Research*, Vol.8, 1978.
- Taylor, M. A., Tai, M. K. and Ramey, M. R.** (1975). "Biaxial Compressive Behaviour of Fibre Reinforced Mortar", *ACI Journal September*, 1975, pp. 496-501.
- TS 706**, Beton Agregaları, Aralık 1980
- TS 3673**, Beton Agregalarında Organik Kökenli Madde Tayini Deney Metodu, Nisan 1982.
- TS 3526**, Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, Aralık 1980.

- Uğurlu, A.** (2002). Betonda Agrega-Çimento Hamuru Aderansı Üzerine ,*Hazır Beton Dergisi.*, Ocak-Şubat, 66-74.
- Weiss, J.** (2014). **Betonda basınç artışıyla çatlak ilerleyişi.**(t.y.).*Theconcreteportal*. Alındığı tarih: 24.03.2014, adres: http://www.theconcreteportal.com/cons_rel.html
- Wong, H.S.; Zobel, M.; Buenfeld, M. N. and R.W. Zimmerman** (2009), Influence of the interfacial transition zone and microcracking on the diffusivity, permeability and sorptivity of cement-based materials after drying, *Mag. Concr. Res.*, 61, 571-589.
- Zaitsev, J.W., and Wittmann, F.H.** (1973). "Fracture of Porous Viscoelastic Materials Under Multiaxial State of Stress", *Cement and Concrete Research*, Vol.3.
- Zheng, J.J.; Wong, H.S. and Buenfeld, N.R.** (2009), Assessing the influence of ITZ on the steady-state chloride diffusivity of concrete using a numerical model, *Cem. Concr. Res.*, 39, 805-813.

EKLER

- Çizelge A.1:** Beyaz kalkerli betonlarda taze beton özellikleri ve gerçek malzeme miktarları
- Çizelge A.2:** Bazalt agregalı betonlarda taze beton özellikleri ve gerçek malzeme miktarları
- Çizelge A.3:** Cebeci kalkerli betonlarda taze beton özellikleri ve gerçek malzeme miktarları
- Çizelge A.4:** Dolomit Agregalı betonlarda taze beton özellikleri ve gerçek malzeme miktarları
- Çizelge A.5:** Beyaz kalker serilerinde sertleşmiş beton özellikleri
- Çizelge A.6:** Bazalt (Çorlu) agregalı serilerde sertleşmiş beton özellikleri
- Çizelge A.7:** Cebeci kalkerli serilerinde sertleşmiş beton özellikleri
- Çizelge A.8:** Dolomit (Kırklareli) agregalı serilerde sertleşmiş beton özellikleri
- Şekil B.1:** Beyaz kalker serileri kesit görünüşleri
- Şekil B.2:** Bazalt (Çorlu) agregalı serilerin kesit görünüşleri
- Şekil B.3:** Cebeci kalkerli serileri kesit görünüşleri
- Şekil B.4:** Dolomit (Kırklareli) agregalı serilerin kesit görünüşleri
- Şekil B.5:** Yarma deneyi düzeneği
- Şekil B.6:** Deney aletleri
- Şekil B.7:** Ultra ses deneyi düzeneği
- Şekil B.8:** Yatay ve düşey deplasman ölçüm düzeneği
- Şekil B.9 :** Yarma deneyinde kırılma yüzeyi
- Şekil B.10 :** Yarma deneyinde kırılma yüzeyi

Çizelge A1. Beyaz Kalkerli Betonlarda Taze Beton Özellikleri ve Gerçek Malzeme Miktarları

üretim serisi	çimento	su	katkı*	su+katkı	kum	kırmataş I	kırmataş II	Ve - Be	Komposite	çökme	Gerçek Hava	Birim Ağırlık
	(kg/m³)	(kg/m³)	(kg/m³)	(kg/m³)	(kg/m³)	(kg/m³)	(kg/m³)	(s)	(m³/m³)	(cm)	(dm³)	(kg/m³)
BE - 00a	1628	456		456				2.0	0.544	5.0	0.1	2142
BE - 00b	1628	456		456				1.7	0.544	13.0	0.8	2127
BE - 20	1301	364		364	146	160	212	1.7	0.636	5.7	7.3	2205
BE - 40	950	266		266	291	337	423	5.7	0.734	2.2	12.4	2324
BE - 60a	620	171	2	174	437	507	624	42.0	0.826	0.4	18.6	2407
BE - 60b	620	168	6	174	437	507	624	3.8	0.826	23.0	18.4	2413
BE - 75	352	90	14	104	546	634	795	29.2	0.896	10.5	23.8	2417
* Süper akışkanlaştırıcı												

Çizelge A2. Bazalt Agregalı Betonlarda Taze Beton Özellikleri ve Gerçek Malzeme Miktarları

üretim serisi	çimento	su	katkı*	su+katkı	kum	kırmataş I	kırmataş II	Ve - Be	Komposite	çökme	Gerçek Hava	Birim Ağırlık
	(kg/m³)	(kg/m³)	(kg/m³)	(kg/m³)	(kg/m³)	(kg/m³)	(kg/m³)	(s)	(m³/m³)	(cm)	(dm³)	(kg/m³)
BA - 20	1301	364		364	140	242	170	2.5	0.636	10.5	6.5	2246
BA - 40	950	266		266	280	483	340	2.6	0.734	4.1	10.9	2406
BA - 60	620	168	6	174	421	725	511	4.0	0.826	23.2	17.0	2515
BA - 75	352	90	12	103	527	906	639	32.0	0.898	9.0	17.7	2696
* Süper akışkanlaştırıcı												

Çizelge A3. Cebeci Kalkerli Betonlarda Taze Beton Özellikleri ve Gerçek Malzeme Miktarları

üretim serisi	çimento	su	katkı*	su+katkı	kum	kırmataş I	kırmataş II	Ve - Be	Komposite	çökme	Gerçek Hava	Birim Ağırlık
	(kg/m³)	(kg/m³)	(kg/m³)	(kg/m³)	(kg/m³)	(kg/m³)	(kg/m³)	(s)	(m³/m³)	(cm)	(dm³)	(kg/m³)
CE - 20	1301	364		364	146	160	212	3.4	0.636	6.5	6.9	2227
CE - 40	950	266		266	291	337	423	3.3	0.734	7.5	11.6	2370
CE - 60	620	168	6	174	421	408	789	1.5	0.826		16.3	2495
CE - 75	352	89	11	99	527	510	986	45.0	0.901	19.5	22.8	2516
* Süper akışkanlaştırıcı												

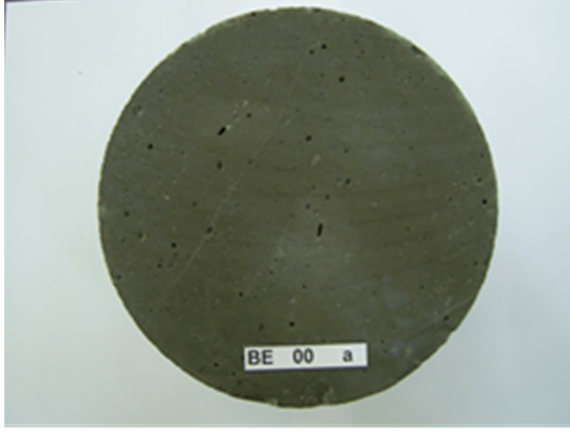
Çizelge A4. Dolomit Agregalı Betonlarda Taze Beton Özellikleri ve Gerçek Malzeme Miktarları												
üretim serisi	çimento	su	katkı*	su+katkı	kum	kırmataş I	kırmataş II	Ve - Be	Komposite	çökme	Gerçek Hava	Birim Ağırlık
	(kg/m³)	(kg/m³)	(kg/m³)	(kg/m³)	(kg/m³)	(kg/m³)	(kg/m³)	(s)	(m³/m³)	(cm)	(dm³)	(kg/m³)
DO - 20	1301	364		364	146	192	216	1.4	0.636	10.2	7.4	2232
DO - 40	950	266		266	291	384	431	4.2	0.734	4.8	12.3	2382
DO - 60	620	168	6	174	437	577	648	1.0	0.826	23.5	17.4	2525
DO - 75	352	90	9	99	546	634	795	40.0	0.901	22.0	31.9	2308
* Süper akışkanlaştırıcı												

Çizelge A.5 Beyaz Kalker Serilerinde Sertleşmiş Beton Özellikleri												
Beton kodu	Basınç Dayanımı	Elastisite Modülü	Süreksizlik Sınırı	Çözülme Sınırı	Süreksizlik Sınırında Poisson Oranı	Basınç Day. Birim kısalma	Kırılma Şekil Değişirme İşi	Bağlı Kırılma İşi	Yarılma Dayanımı	Ultra ses hızı	Taze Betonun birim ağırlık	28 Günlük Betonun Birim Ağırlık
	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)		x10 ⁻⁶	x 10 ⁻³ (N/mm ²)	x10 ⁻³	(N/mm ²)	(km/s)	(kg/m ³)	(kg/m ³)
BE - 00a	60.6	19,650	60.6	60.6	0.257	3,908	133.0	0.557	1.68	4.09	2,104	2,127
BE - 00b	57.2	19,780	57.2	57.2	0.246	3,428	106.2	0.552	2.29	4.01	2,104	2,138
BE - 20	54.5	22,270	48.1	50.9	0.306	3,225	101.0	0.567	3.03	4.28	2,205	2,212
BE - 40	58.1	28,590	47.2	50.0	0.274	2,515	82.4	0.558	3.64	4.64	2,315	2,325
BE - 60a	59.7	36,770	48.1	49.5	0.304	1,995	67.7	0.568	4.22	5.01	2,368	2,391
BE - 60b	73.9	38,010	65.1	67.9	0.299	2,271	91.1	0.542	4.55	5.25	2,410	2,431
BE - 75	60.1	46,970	56.6	58.0	0.265	1,525	54.4	0.542	4.40	5.41	2,425	2,444

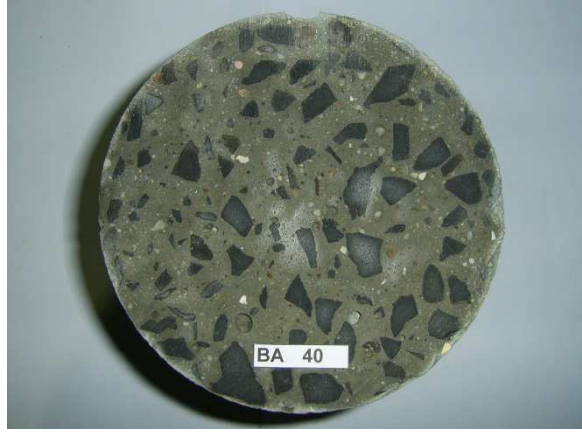
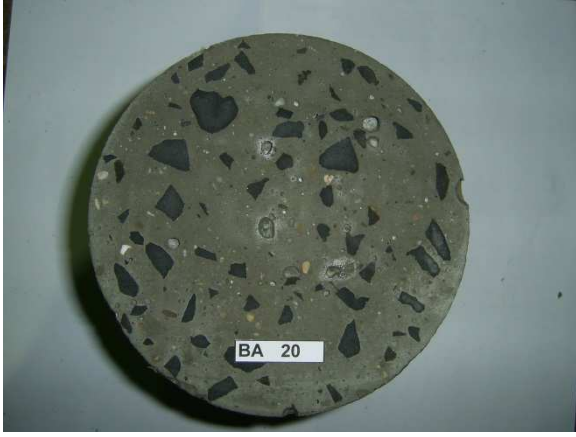
Çizelge A.6 Bazalt (Çorlu) Agregalı Serilerde Sertleşmiş Beton Özellikleri												
Beton kodu	Basınç Dayanımı	Elastisite Modülü	Süreksizlik Sınırı	Çözülme Sınırı	Süreksizlik Sınırında Poisson Oranı	Basınç Day. Birim kılma	Kırılma Şekil Değişirme İşi	Bağıl Kırılma İşi	Yarılma Dayanımı	Ultra ses hızı	Taze Betonun birim ağırlık	28 Günlük Betonun Birim Ağırlık
	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)		x10 ⁻⁶	x 10 ⁻³ (N/mm ²)	x10 ⁻³	(N/mm ²)	(km/s)	(kg/m ³)	(kg/m ³)
BA - 20	53.5	21,740	50.0	51.9	0.252	2,740	79.9	0.543	3.31	4.49	2,245	2,251
BA - 40	44.0	29,040	36.8	39.6	0.245	2,032	47.7	0.564	3.36	4.71	2,340	2,386
BA - 60	67.2	42,840	58.5	61.3	0.280	2,129	83.8	0.582	5.07	5.17	2,515	2,539
BA - 75	69.4	49,430	59.4	63.7	0.279	1,770	69.7	0.558	5.50	5.46	2,642	2,680

Çizelge A.7 Cebeci Kalkeri Serilerinde Sertleşmiş Beton Özellikleri												
Beton kodu	Basınç Dayanımı	Elastisite Modülü	Süreksizlik Sınırı	Çözülme Sınırı	Süreksizlik Sınırında Poisson Oranı	Basınç Day. Birim kısalma	Kırılma Şekil Değişirme İşi	Bağlı Kırılma İşi	Yarılma Dayanımı	Ultra ses hızı	Taze Betonun birim ağırlık	28 Günlük Betonun Birim Ağırlık
	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)		x10 ⁻⁶	x 10 ⁻³ (N/mm ²)	x10 ⁻³	(N/mm ²)	(km/s)	(kg/m ³)	(kg/m ³)
CE - 20	50.3	23,410	47.2	49.0	0.248	2,680	76.6	0.560	3.73	4.37	2,226	2,238
CE - 40	49.8	28,070	41.5	43.4	0.249	2,373	67.5	0.570	3.61	4.71	2,359	2,363
CE - 60	68.0	34,910	59.4	62.2	0.250	2,584	98.2	0.563	5.32	5.12	2,468	2,482
CE - 75	67.7	47,570	62.2	65.1	0.263	1,727	64.8	0.555	5.70	5.49	2,497	2,499

Çizelge A.8 Dolomit (Kırklareli) Agregalı Serilerde Sertleşmiş Beton Özellikleri												
Beton kodu	Basınç Dayanımı	Elastisite Modülü	Süreksizlik Sınırı	Çözülme Sınırı	Süreksizlik Sınırında Poisson Oranı	Basınç Day. Birim kısalma	Kırılma Şekil Değişirme İşi	Bağlı Kırılma İşi	Yarılma Dayanımı	Ultra ses hızı	Taze Betonun birim ağırlık	28 Günlük Betonun Birim Ağırlık
	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)		x10 ⁻⁶	x 10 ⁻³ (N/mm ²)	x10 ⁻³	(N/mm ²)	(km/s)	(kg/m ³)	(kg/m ³)
DO - 20	55.0	22,690	47.2	50.9	0.267	3,060	94.5	0.559	2.85	4.46	2,232	2,256
DO - 40	44.6	26,870	35.8	39.6	0.246	2,163	55.3	0.573	2.55	4.74	2,367	2,406
DO - 60	63.6	41,220	56.6	59.4	0.285	1,971	71.9	0.573	5.03	5.26	2,480	2,527
DO - 75	72.2	45,200	60.8	65.1	0.295	1,856	74.6	0.554	5.15	5.56	2,560	2,561



Şekil B.1 : Beyaz Kalker Agregalı Beton Numunelerinin Kesit Görünüşleri.



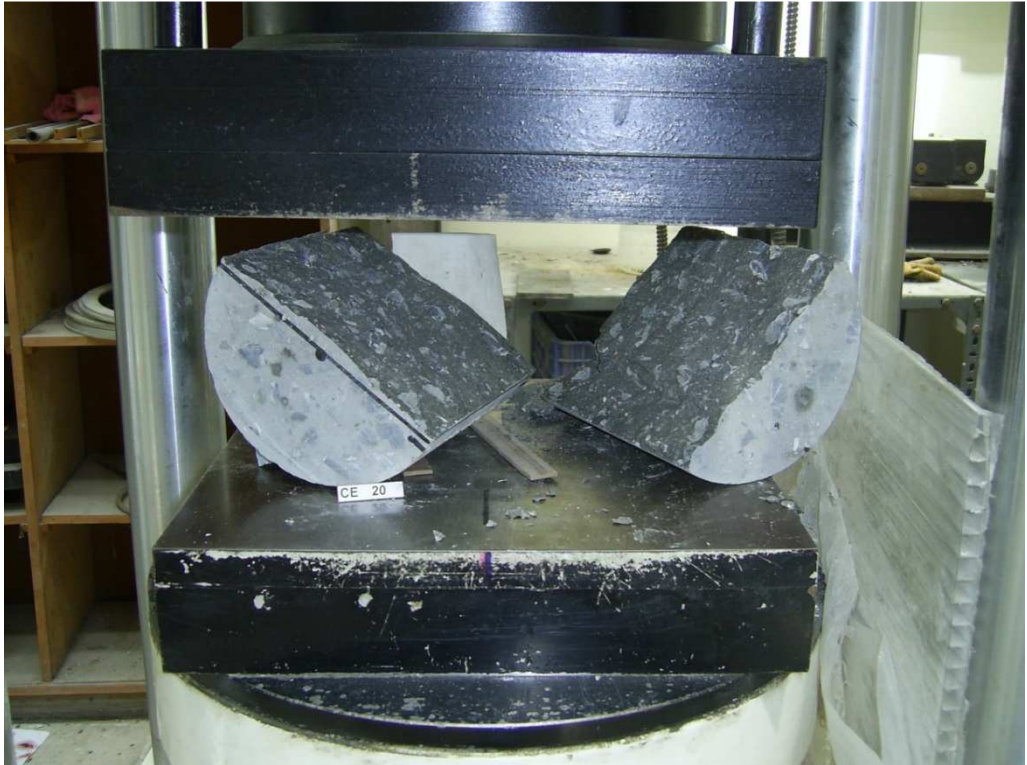
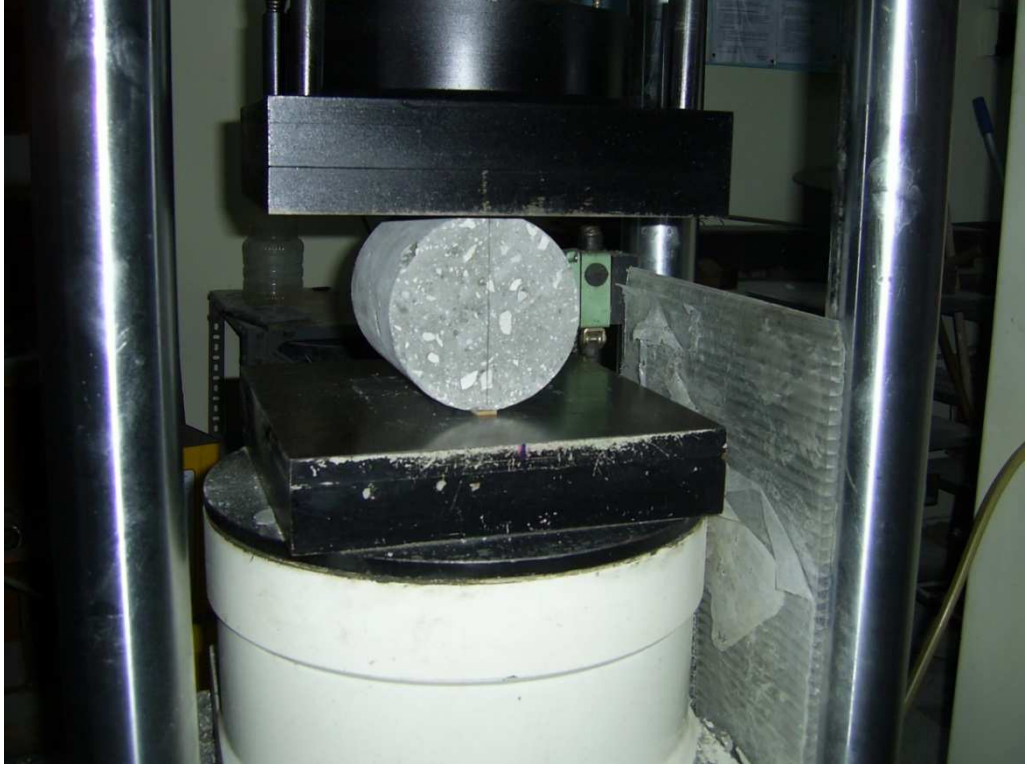
Şekil B.2 : Bazalt Agregalı Beton Numunelerinin Kesit Görünüşleri.



Şekil B.3 : Cebeci Kalkeri Agregalı Beton Numunelerinin Kesit Görünüşleri.



Şekil B.4 : Dolomit Agregalı Beton Numunelerinin Kesit Görünüşleri.



Şekil B.5 : Yarma Deneyi Düzenegi.



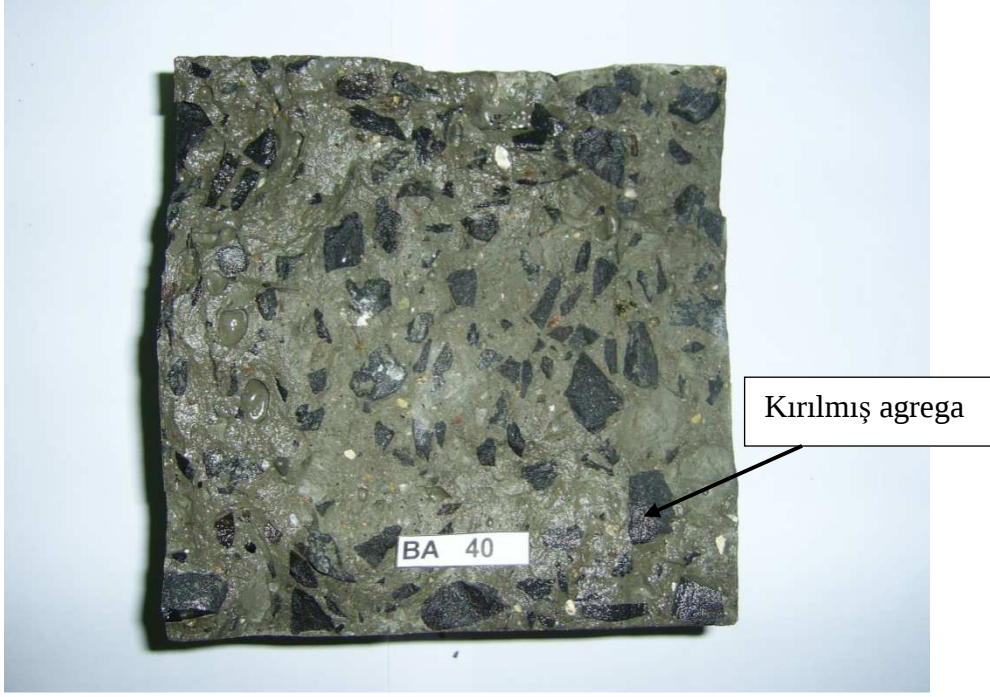
Şekil B.6 : Deney Aletleri.



Şekil B.7 : Ultra Ses Deneyi Düzenegi.



Şekil B.8 : Yatay ve Düşey Deplasman Ölçüm Düzeneği.



Şekil B.9 : Yarma deneyinde kırılma yüzeyi.



Şekil B.10 : Yarma deneyinde kırılma yüzeyi.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Çağrı Özdemiroğlu
Doğum Yeri ve Tarihi: Ankara 1978
Adres: Bld. Unirii no:57 apt.:27 Bükreş / Romanya
E-Posta: cagri.ozdemiroglu@gmail.com
Lisans: İTÜ İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği 2002