

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KIRMATAŞ AGREGALI BETONLARDA AGREGA
KONSANTRASYONUNUN BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ergün Gümüş

Anabilim Dalı: Yapı Mühendisliği
Programı: Malzeme

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr Hasan YILDIRIM

OCAK 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KIRMATAŞ AGREGALI BETONLARDA AGREGA
KONSANTRASYONUNUN BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZ
Ergün GÜMÜŞ
Enstitü No: 501001224**

Tezin Enstitüye verildiği Tarih: 25 Aralık 2009

Tezin Savunulduğu Tarih: 28 Ocak 2010

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Hasan Yıldırım (İTÜ)
Jüri Üyeleri : Yrd.Doç.Dr. Hakan Nuri ATAHAN (İTÜ)
Doç.Dr.Nabi Yüzer (YTÜ)**

OCAK 2010

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanması sırasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Hasan YILDIRIM ‘a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Sıkıntılı bir dönem olarak nitelendirebileceğim yüksek lisans eğitimim boyunca tez çalışması dahil olmak üzere bir çok konuda desteğini, anlayışını ve ilgisini hiç eksik etmeyen; olumlu yaklaşımlarıyla vazgeçtiğim her anda sayelerinde tekrar yoluma devam ettiğim aileme de şükranlarımı sunarım. Yetişmemde katkıları olan tüm hocalarıma da minnettar olduğumu ifade etmek isterim.

Ocak 2010

Ergün GÜMÜŞ

(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
SEMBOL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xv
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Konu ile İlgili Çalışmalar.....	2
1.2.1. Betonun kısa süreli basınç yükleri altında inelastik davranışı.....	2
1.2.2. Betonun süreksizlik ve çözülme sınırının saptanması.....	3
1.2.3. Agrega özelliklerinin ve agrega konsantrasyonunun betonun mukavemetine etkisi ile ilgili çalışmalar.....	3
1.3. Araştırmanın Amacı.....	5
1.4. Araştırmanın Kapsamı.....	6
1.5. Araştırmanın Ana Hatları.....	6
BÖLÜM 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	7
2.1. Kullanılan Malzemeleri.....	7
2.1.1. Agregalar.....	7
2.1.1-a. Kum.....	7
2.1.1-b. Kırmataş.....	7
2.1.2. Katkı Maddeleri.....	8
2.1.3. Çimento.....	9
2.2. Beton Bileşimi.....	9
2.2.1. Yapılan kabuller.....	9
2.2.2. Beton bileşim hesapları.....	9
2.2.3. Üretim karışım serileri.....	9
2.2.4. Beton üretim, karıştırma, yerleştirme ve kür koşulları.....	10
2.2.5. Numune boyutları ve sayıları.....	10
2.3. Betonlar Üzerinde Yapılan Deneyler.....	10
2.3.1 Taze beton deneyleri.....	10
2.3.2 Sertleşmiş beton deneyleri (Mekanik deneyler.....	10
BÖLÜM 3. DENEY SONUÇLARI.....	11
3.1. Betonun Elastik Özellikleri ile İlgili Deney Sonuçları.....	11
3.2. Betonun Elastik Olmayan Özellikleri ile İlgili Deney Sonuçları.....	11
BÖLÜM 4. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ.....	15
4.1. Taze Betonun Özellikleri.....	15

4.2. Betonun Elastik Davranışları İle İlgili Sonuçların İrdelenmesi	16
4.2.1. Genel bilgiler	16
4.2.2. Agreg a konsantrasyonunun betonun elastisite modülüne etkisi.....	17
4.2.3. Agreg a konsantrasyonunun betonun süreksizlik sınırındaki poisson oranına etkisi.....	18
4.3. Elastik Olmayan Özelliklere Ait Deney Sonuçlarının Değerlendirmesi	18
4.3.1. Agreg a konsantrasyonunun süreksizlik sınırına etkisi.....	20
4.3.2. Agreg a konsantrasyonunun çözülme sınırına etkisi.....	22
4.3.3. Agreg a konsantrasyonunun basınç mukavemetine etkisi.....	23
4.4. Yarıлма -Çekme Deneylerine Ait Deney Sonuçlarının İrdelenmesi	24
4.4.1. Agreg a konsantrasyonunun betonun çekme şekil değıştirme kapasitesine ve yarma - çekme dayanımına etkisi.....	24
BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE İLERİ ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER.....	27
5.1. Taze Beton Özellikleri İle İlgili Deney Sonuçları.....	27
5.2. Betonların Elastik Davranışlarıyla İlgili Deney Sonuçları	27
5.3. Betonların Elastik Olmayan Davranışlarıyla İlgili Deney Sonuçları	27
5.4. İleri Çalışmalar için Öneriler.....	28
KAYNAKLAR.....	29
EKLER	33
ÖZGEÇMİŞ.....	37

SEMBOL LİSTESİ

σ	: Normal gerilme (N/mm ²)
ϵ	: Eksenel şekil değiştirme
ϵ_g	: Yanal şekil değiştirme
BK	: Kırmataş agregası
τ	: Kırılma şekil değiştirme işi (N/mm ²)
b	: Bağlı kırılma işi (N/mm ²)
E	: Elastisite modülü (N/mm ²)
n	: 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
r	: Özgül ağırlık

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1: Sakarya Kumunun Granülometrik Bileşimi, Özgöl Ağırlık, Birim Ağırlık Değerleri	7
Çizelge 2.2: Kırmataş I ve II Özellikleri	8
Çizelge 2.3: Kırmataşların Granülometrik bileşimi	8
Çizelge 2.4: Kırmataş gronülometrisi.....	8
Çizelge 2.5: Betondaki agreg a yüzdeleri	9
Çizelge A.1: Kırmataş agreg a kullanılan betonlarda gerç ek malzeme miktarları ve taze beton özellikleri.....	32
Çizelge A.2: Sertleşmiş betonun özellikleri	33

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: Betonun gerilme-şekil değiştirme ve gerilme-hacimsel şekil değiştirme eğrilerinin şematik gösterimi.....	13
Şekil 4.1: Agreg a konsantrasyonu Çökme ilişkisi.....	14
Şekil 4.2: Taze beton birim ağırlığının Agreg a hacim konsantrasyonu ile değ iş imi .	15
Şekil 4.3: Agreg a Konsantrasyonunun Betonların Elastisite Modülü ile değ iş imi	16
Şekil 4.4: Süreksizlik Sınırındaki Poisson Oranının Agreg a Konsantrasyonuna Göre Değ iş imi.....	17
Şekil 4.5: Süreksizlik Sınırının Agreg a Konsantrasyonu ile değ iş imi	19
Şekil 4.6.a: Kırmataş Agreg asında Çatlak Başlangıcı.....	20
Şekil 4.6.b: A ve B, aynı Düşey düzlem üzerindeki iki komş u kırmataş Agreg ası ...	20
Şekil 4.7: Çözülme Sınırının Agreg a Konsantrasyonu ile Değ iş imi	21
Şekil 4.8: Basınç Dayanımının Agreg a Konsantrasyonu ile Değ iş imi.....	23
Şekil 4.9: Çekme Şekil Değ iş tirme Kapasitesinin Agreg a Hacim Konsantrasyonu İle Değ iş imi	24
Şekil 4.10: Agreg a konsantrasyonunun Yarma–Çekme dayanımı ile ilişkisi	25

KIRMATAŞ AGREGALI BETONLARDA AGREGA KONSANTRASYONUNUN BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

ÖZET

Tez çalışmasında kırmataş agregası (kireçtaşı) kullanılarak agregası hacim konsantrasyonunun betonun kısa süreli elastik ve elastik olmayan mekanik davranışına etkisi araştırıldı. Üretilen betonlarda en büyük agregası boyutu, granülometri ve su/çimento oranı sabit tutularak agregası konsantrasyonu değiştirildi. Elastisite modülü deneysel yöntemlerle bulundu.

Bu çalışmada üretilen Kireç taşı serileri, %0, %20, %40, %60, %73 agregası konsantrasyonlarında üretildi. Agregası konsantrasyonu %0 - %73 arasında değişirken, su/çimento oranı ve en büyük tane çapı sabit tutuldu. Su/çimento oranı 0,28, en büyük agregası çapı 22,0mm alındı. Bütün testlerde standart silindir numuneler kullanıldı. Silindir için yükseklik 300mm, çap 150mm boyutlarına üretilen numunelere 28. günde basınç deneyleri uygulandı. Deneylerde: taze beton özellikleri, elastik ve elastik olmayan davranış özellikleri, Gerilme – şekil değiştirme ilişkisi ve Elastisite modülü araştırıldı.

Agregası konsantrasyonundaki artışın süreksizlik sınırındaki Poisson oranını bir minimumdan geçtikten sonra arttığı görüldü. Agregası konsantrasyonundaki artışın yarma-çekme dayanımını artırdığı gözlemlendi. Betonda agregası konsantrasyon artışıyla basınç dayanımındaki birim kısaltmaların ve kırılma işinin azaldığı bulundu. Kırmataş agregalı betonlarda agregası hacim konsantrasyonu arttıkça basınç dayanımı düşmekte, sonra bir minimumdan geçtikten sonra artmaktadır.

EFFECT OF AGGREGATE VOLUME CONCENTRATION ON THE CONCRETE IN CONCRETES PRODUCTED BY USING LIMESTONE AGGREGATE

SUMMARY

In this study, by using White limestone aggregate the affects of aggregate – volume ratio on concrete's elastic end unelastic mechanical behaviour has been searched. The influence of aggregate concentration on the splitting tensile behavior and the strain of concrete were also investigated. Finally the modulus of elasticity of concretes measured experimentally. The concretes produced in this study are five different aggregate volumes such as: 0 %, 20 %, 40 %, 60 %, 73 % with White limestone series. The aggregate volume concentrations have been changed in the range of 0 % - 73 %, The aggregate grading of concrete, water/cement ratio and the maximum particle size for all concrete series have been kept constant. The water/cement ratio and the maximum size of aggregate were 0,28 and 22.0 mm, respectively. All mechanical tests were carried out on the standard cylinder specimens, the height=300 mm and the diameter=150 mm, at the age of 28 days. Test results obtained are evaluated in terms of following properties: Fresh concrete properties, elastic and inelastic properties, under compression splitting tensile strength and the modulus of elasticity.

These investigations were studied in five sections. First section consists of general information, objective of the investigation. In next part experimental studies are presented. Fourth part is the results of these experiments. And finally in the last part conclusions are summed and suggestions for further studies are given.

Results related to the elastic behaviour:

Aggregate concentration has an important effect on the modulus of elasticity, such that, when it increases the modulus of elasticity of aggregate concrete increases

The results related to inelastic behavior:

The compressive strengths aggregates series decrease, when the aggregate volume concentration increases. The strains of all series at the maximum stress decrease as the aggregate volume concentration increases.

The experimental results related to the splitting tensile strength :

In normal aggregate concretes, as the aggregate volume in the mixes increases the splitting-tensile strength also increases.

Proposals for further studies

Studies must be performed with different origin of aggregates other than those used this study at different ages than those chosen in this study, and at higher water/cement ratios other than 0,28. Also it is reasonable to think that this problem may give more interesting results in case of biaxial loading. It would be beneficial to investigate with the brittleness index in flexure. By using different types of aggregates, the results may be obtained in a wide range.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Giriş

İki fazlı bir malzemenin mekanik davranışı her fazın mekanik özelliklerine bağlı olduğu gibi bu fazların malzeme içinde bulunuş oranlarıyla da ilgilidir. Yakın zamanlara kadar yapılan çalışmalarda bu fazlar göz önüne alınarak betonda kompozit modelleme çalışmaları yapılmıştır [1].

Betonun yük altındaki davranışı üzerinde yapılan çalışmaların önemli bir bölümü kısa süreli basınç yüklemesi altındaki elastik olmayan davranışı kapsar. Bu konu hakkında 1929 yılından bu yana pek çok araştırma yapılmıştır. Beton çok fazlı heterojen bir malzemedir. Betonun inelastik davranışı üzerinde önemli bir rol oynayan agreg a matris temas yüzeyi sistemdeki en zayıf bölgedir [2,3,4]. Betona herhangi bir yük uygulamasından önce bağ çatlaklarının mevcudiyeti betonun zayıf bölgesini oluşturduğundan, agreg a katılması ile elde edilen heterojenlik bağ çatlama sının fazlaşmasına yol açar [2,4,5].

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 [6].

Özel yapılarda, bilgisayar destekli analizlerin, projelendirme çalışmalarında kullanılışı betondaki çatlak davranışına ilgiyi arttırmıştır. Bu bakımdan yakın gelecekte, projelendirme çalışmaları için daha gelişmiş projelendirme kriterleri uygulamaya konulabilecektir [7].

1.2. Konu İle İlgili Çalışmalar

1.2.1. Betonun kısa süreli basınç yükleri altındaki inelastik 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 yüzeyi göçmesi ile başlayabilir [8].

Slate ve Meyers'e göre basınç mukavemetinin %60' ına kadar yerel çatlama ve çatlak başlangıcı vardır, bunu kararlı yayılan çatlak büyümesi izler. Bu gerilme düzeyinden sonra harç içinde çatlaklar birleşmeye başlar ve basınç mukavemetinin %80'ine kadar çatlaklar kararlı yayılır. Daha sonra sürekli çatlaklar oluşur, bunu göçme izler. İri agreg-a konsantrasyonu arttıkça çatlak başlaması için gerekli kırılma şekil değiştirme enerjisi azalır.

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 [10].

Basınç mukavemetinin %65'inin altında ilk çatlak belirgin değildir. Harç çatlakları basınç mukavemetinin %85'inde başlar. Büyük agreg-a taneleri arasında bağ çatlakları köprü kurmaya baslar [11]. Bache ve Cristensen'e göre basınç mukavemetinin yaklaşık %85'inde çatlama agreg-a-matris temas yüzeyinde ve boşluklarda oluşur, daha yüksek gerilme düzeylerinde çatlaklar harç içine yayılır. [11].

Agreg-a 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 [12].

Genel olarak ilk çatlak maksimum çekme gerilme doğrultusunda oluşur. Basınç mukavemetinin %85'inde çatlama esas olarak agreg-a matris temas yüzeyinde boşlukların etrafında oluşur ve bu bölgelerden yayılmaya başlar [13].

Zaitsev ve Witmann, 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[14].

1.2.2. Betonun süreksizlik ve çözülme sınırlarının saptaması

Süreksizlik ve çözülme sınırlarının belirlenmesi çeşitli araştırmacıların konusu olmuş ve çok sayıda yöntem uygulanmıştır. Bu paragrafta bazı kritik gerilme değerlerinin saptanması ile ilgili olarak günümüze kadar geliştirilen bazı yöntemlerden söz edilmektedir. Süreksizlik sınırının belirlenmesindeki ilk yöntem L'Hermite [15] tarafından betonun poisson oranındaki değişimini ölçerek uygulanmıştır. Desayi-Wiswanatha [16], betonun tek eksenli basınç gerilmesi altında gerilme boyuna şekil değiştirme diyagramlarından yararlanarak bu kritik gerilme değerini saptamışlardır. Araştırmacılar betonun gerilme-şekil değiştirme diyagramını $\text{Log } \sigma - \text{Log } \epsilon$ şeklinde çizdiklerinde üç doğru elde etmişler ve bu doğruların kesiştikleri noktalarda süreksizlik ve çözülme sınırlarını belirttiğini ileri sürmüşlerdir. Robinson, Jones ve Kaplan [17, 18] kullandığı diğer bir yöntem de betonda gittikçe artan yükler altında ultrases hızının değişiminin ölçülmesidir. Jones-Kaplan, 10 cm'lik beton küpleri üzerinde ultrases geçiş zamanında 0.1 mikro saniyelik bir düşüşün süreksizlik sınırına karşı geldiğini ileri sürmektedir. Robinson betonda mikro çatlakların yayılması sırasında çıkan ses enerjisini ölçerek süreksizlik sınırını saptamaktadır [18].

Çözülme sınırının saptanmasında betonun hacim değişimlerinden yararlanmak en yaygın yöntemdir. Bache [19] hafif betonda büzülme sınırının basınç dayanımına çok yakın olduğunu belirtmiştir. Bache, bu- sebeple hafif agregalı beton kullanmanın normal betondan daha avantajlı olacağı fikrini ileri sürmüştür.

1.2.3. Agreganın özelliklerinin ve agreganın konsantrasyonunun betonun mukavemetine etkisi ile ilgili çalışmalar

Jones, R. ve Gatifield [20]'e göre tek eksenli basınca maruz kalmış numune içinde uygulanan yüke paralel çatlaklar basınç mukavemetinin %50-75'ine eşit yük altında başlar. Araştırmacılar bu sonuca beton içinden geçirilen ses hızını ölçerek varmışlardır. Düzgün çakıl, kaba ve köşeli kırma taştan daha düşük gerilmelerde kırılır. Çünkü mekanik bağ belirli bir derecede kaba agreganın şekil ve yüzey özelliklerinden etkilenir. Beton mukavemeti üzerine su/çimento oranının etkisi aynı araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Su/çimento oranının artışıyla agreganın

betonun mukavemeti üzerindeki etkisi giderek azaltır. Agreg a konsantrasyonu arttıkça basınç mukavemeti artar.

Perederienko, E.I. ve Yarema, S.Ya. [21], betonların dayanım özelliklerinin betonun karakteristikleri ile ilgili olduğunu belirttiler. Dayanım ve içyapı ilişkisini içeren çalışmalarında parametre olarak tane boyutu, porozite ve hidrasyonu kullanmışlardır. Basınç ve çekme dayanımının, porozitenin azalmasıyla arttığını hidrasyon derecesinin artmasının dayanımı da artırdığını belirtmişlerdir.

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 [22]. Kaplan, M.F. [23] betonun mikro çatlamaı üzerine strain gauge tekniğı kullanarak eğilme, basınç, tek eksenli çekme deneyleri yapmıştır. Çalışmasında betonun çatlamaı esnasındaki şekil değiştirme ye çekme gerilmelerinin betondaki iri agreg a konsantrasyonu ile ilgili olduğunu, iri agreg a hacmi artışının betonun kırılması anındaki çatlak başlangıcı durumunda şekil değiştirme ve gerilmelerde azalışa sebep olduğunu belirtmiştir.

Akman [24] çalışmasında çakıllı betonlarda "iri agreg a/kum" oranının kritik gerilme değerlerine etkisini 0'dan 2'ye kadar incelemiştir. Akman, iri agreg a/kum oranı 0'dan 1' e kadar artarken (süreksizlik sınırı/basınç mukavemeti) ile (çözölme sınırı/basınç mukavemeti) oranlarının azalmakta olduğunu, iri agreg a/kum oranının 1 den 2'ye kadar olan değerlerinde ise kritik gerilmelerin basınç mukavemetine olan oranlarının arttığını göstermiştir. Akman, daha sonra çakıl iri agreg asının yerine kalker kırma taşı kullanarak araştırmayı sürdürmüş ve şu sonuçlara varmıştır: İri agreg anın kalker ve pürüzlü oluşu agreg a-harç bağlantısını iyi yönde etkileyerek süreksizlik sınırını yükseltmekte, iri-agreg anın yumuşak olması çözölme sınırını düşürmektedir. Aynı araştırmada iri agreg anın şekil değiştirme yeteneğinin fazla olmasıyla eksenel ve yanal şekil değiştirmelerin arttığı görölmüştür.

Hobbs [25] betonun kırılması ile ilgili çalışmasında; şu sonuçlara varmıştır;

- Çatlaklar agreg a-matris temas yüzeyinden başlamakta,
- Betonun kırılması ise matrisin çatlamaı ve göçmesi ile olur,

Ayrıca, Hobbs Agreg a konsantrasyonundaki artmanın basınç dayanımını artırdığını ileri sürmüştür.

Stock, A. F., Hannant, DJ. ve WilUams, R.J. [26] daha önce yayınlanmış, betonun dayanımına ve elastisite modülüne agregâ konsantrasyonunun etkisi ile ilgili çalışmaları derlemişlerdir. Bu çalışmaya göre;

- a) Çimento hamuru içersine uygun granülometrili hacmen %20 oranında agregâ konursa çekme dayanımının düştüğü, fakat agregâ hacmi daha fazla arttırılırsa bu dayanımın arttığını,
- b) %20 oranında agregâ hacmi konması sonucu basınç dayanımının düştüğünü ve bu düşüşün %60 agregâ hacmi oluncaya kadar devam ettiğini ve daha fazla agregâ 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 agregâ konsantrasyonunun hamur içinde artırılmasıyla artış gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

Stock ve arkadaşlarının [26] ortaya koyduğu bu sonuçlar geçmiş yıllarda farklı, parametreli, farklı su/çimento oranlı, farklı karışımlardan elde edilen sonuçlardır. Çekme dayanımı ile ilgili sonuçlar ise Kaplan tarafından ortaya konulan çalışmalardır. Daha sonra çekme dayanımına beton bileşiminin etkisi ile ilgili çalışmalar kısıtlıdır.

1.3. Araştırmanın Amacı

Betonu agregâ ve sertleşmiş çimento hamuru fazlarından oluşan bir kompozit malzeme olarak ele alınabilir. Bundan dolayı betonun davranışı, agregânın ve sertleşmiş çimento hamurunun davranışlarının ve bunların etkileşimlerinin ortak sonucudur.

Çalışmalar gözden geçirildiğinde iki fazlı malzemenin, her fazının mekanik özelliklerine ve oranlarına bağlı olarak betonun mekanik özelliklerine agregâ konsantrasyonunun etkisinin yeterince ele alınmadığı, incelemelerin eksik ve az sayıda olduğu ortadadır.

Günümüzde yaygın duruma gelen ve önemi artan çok düşük su/çimento oranındaki betonların davranışını tanımaya ve açıklamaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Özellikle bu konuda çekme dayanımı ile ilgili çalışmaların az olduğu açıktır. Bu konuda malzeme davranışının iyi anlaşılması için daha çok bilgiye gereksinim vardır. Yukarıdaki açıklanan eksiklerin giderilmesi bu araştırmanın amacı olmuştur.

1.4. Araştırmanın Kapsamı

Bu çalışmada su/çimento oranı 0,28 olan betonlarda en büyük agrega boyutu, granülometri oranı sabit tutularak agrega hacim konsantrasyonu değiştirildi. Kısa süreli elastik olmayan davranış tek eksenli basınç halinde incelendi ve disk numuneler üzerinde yarma deneyleri de yapılarak bu betonların şekil değiştirmesi kapasitesi ile agrega konsantrasyonu arasındaki ilişki araştırıldı. Elde edilen sonuçların irdeleme ve değerlendirilmesi deneysel sonuçlara ve yapılan modelleme çalışmalarına dayanılarak irdelenip, değerlendirildi.

1.5. Araştırmanın Ana Hatları

Bu çalışmada kırma taş agregası, sertleşmiş çimento hamuru içinde değişik hacim oranlarında kullanılmıştır.

Özetleyecek olursa üretilen betonlarda:

- Karışımlarda Agrega konsantrasyonu % 0 - % 73 arasında değişmekte,
- Granülometri değişmemekte,
- En büyük agrega boyutu sabit ve 22 mm,
- Aynı cins çimento
- Aynı cins süper akışkanlaştırıcı katkı (sadece agrega konsantrasyonu yüksek olan karışımlarda kullanıldı) .
- Su/çimento oranı =0.28, sabit olmak koşulu ile agrega konsantrasyonunun mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir.

BÖLÜM 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Kullanılan Malzemeler

2.1.1. Agregalar

2.1.1-a. Kum

Tüm betonlarda 4 mm' nin altında Sakarya kum'u 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' [27] daki elek takımına göre belirlendi.

Çizelge 2.1: Sakarya Kumunun Granülometrik Bileşimi, Özgül Ağırlık, Birim Ağırlık ve Su Emme 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	2590	1610	0,80
100	100	100	100	94	85	67	23			

Sakarya kum'u da TS 3673'e [28] uygun olarak yapılan deney sonucunda organik madde içermediği, TS 3527'ye [29] uygun olarak yapılan deneyde 24 saatlik bir süre sonunda ağırlıkça %1'in altında çamurlu madde içerdiği saptandı.

2.1.1-b. Kırmataş

Sakarya Geyve yöresinden getirilen kırma taşlar kullanılmıştır. Kırmataşların özellikleri Çizelge 2.2 de verildi. Kırmataşların granülometrik bileşimi ise Çizelge 2.3 de verildi.

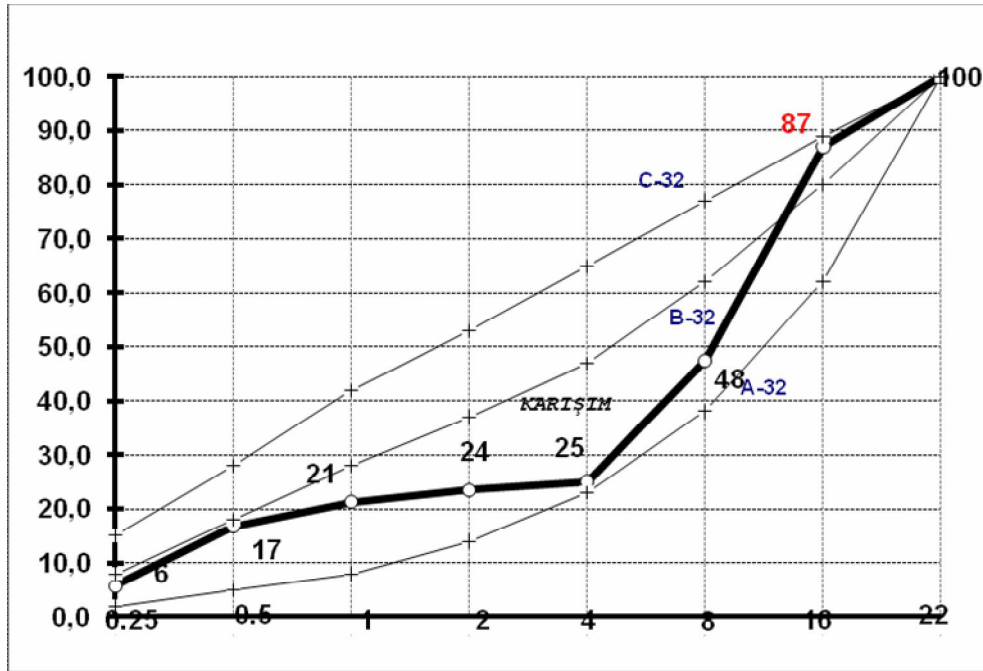
Çizelge 2.2: Kırmataşların Özellikleri

Agrega Cinsi (sakarya)	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Özgül Ağırlık (kg/m ³)	Ağırlıkça su emme (%)
Kırmataş 1	1440	2690	0.50
Kırmataş2	1410	2700	0.50

Çizelge 2.3: Kırmataşların Gronülemetrik Bileşimi

Agrega Cinsi	Elekten geçen ,%							
	Elek göz boyutları, mm							
	20	16	8	4	2	1	0.5	0.25
Kırmataş 1	100	100	50	0	0	0	0	0
Kırmataş 2	100	57	0	0	0	0	0	0

Çizelge 2.4: Kırmataş Granülometrisi



2.1.2. Katkı maddeleri

Karışımların bazılarında süper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi kullanıldı. Yüksek oranda akışkanlaştırıcı ve su azaltıcı olan katkı malzemesi beton karma suyuna önceden karıştırılarak kullanıldı.

2.1.3. Çimento

Üretilen betonların tümünde Portland çimentosu (CEM I 42,5) Lafarge Aslan üretimi çimento kullanılmıştır. Çimentolar fabrikanın aynı gün üretimidir. TS 24'e [30] göre deneyleri yapılmıştır.

2.2. Beton Bileşimi

2.2.1. Yapılan kabuller

Üretilen betonlar hamur fazından başlayarak giderek artan agrega konsantrasyonlarına sahip işlenebilir betonlardan oluştu. Değişmez bir granülometri belirlendi. En büyük agrega boyutu sabit ve 22 mm olarak alındı. Aynı cins çimento kullanıldı. Su/çimento oranı sabit (0,28) olarak uygulandı.

2.2.2. Beton bileşim hesapları

Çalışmalarda beton bileşiminin belirlenmesinde mutlak hacim yöntemi kullanıldı. Agrega karışım oranları Çizelge 2.5'de verildi.

Çizelge 2.5: Betondaki Agrega Yüzdeleri (Tüm kullanılan karışımlar)

Agrega cinsi	Kırılmış Kireç Taşlı Betonlarda		
	0-4	4-16	8-22
Kum (%)	25	-	-
Kırmataş(%)	-	45	30

2.2.3. Üretilen karışım serileri

Üretilen beton serileri aşağıdaki gibidir:

1-Kırılmış Kireç Taşlı Beton Serisi: BK00, BK20, BK40, BK60, BK73

Yukarıdaki kısaltılmış ifade de ilk harf olan B: betonu, bunu izleyen harf K: Kırmataş agregasını, rakamlar agrega hacim konsantrasyonunu ifade etmektedir.

Karışımların 1 m³ deki gerçek malzeme miktarları ve taze beton özellikleri ek tablolarda verildi.

2.2.4. Beton üretimi, karıştırma, yerleştirme ve kür koşulları

Betonların üretiminde düşey eksenli cebri karıştırırmalı 55 dm³ kapasiteli betoniye kullanıldı. Agrega konsantrasyonu 0,73 m³/m³ olan betonlar çelik kalıplara üç tabaka halinde ve her bir tabaka 25'şer defa şişlenerek yerleştirildi. Kıvamı kuru 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 basınç numunelerine harç başlıklar yapıldı ve 28. günde sertleşmiş beton deneyleri uygulandı.

2.2.5. Numune boyutları ve sayıları

Bütün beton numuneleri Standard silindir şeklinde olup Ø 15x30 cm' lik boyutlardadır. Her bir karışım için numune sayıları 10 adet üretildi. Üretilen numunelerin en az altısına basınç deneyi yapıldı. Yarma deneyi için silindir numuneler 7 'şer cm uzunluğunda kesilerek, her bir deney serisi için 7 cm uzunluğunda 15 cm çapında en az 4 numune yarma deneyi için kullanıldı.

2.3. Betonlar Üzerinde Yapılan Deneyler

2.3.1. Taze beton deneyleri

Taze betonlar üzerinde, birim ağırlık, çökme ve vb. deneyleri yapıldı. Tüm deney serilerine bu deneyler uygulandı.

2.3.2. Sertleşmiş beton deneyleri (Mekanik deneyler)

150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğindeki silindirik örnekler üzerinden basınç mukavemeti ve elastisite katsayısı ölçülmüştür. Elastisitenin statik katsayısı, gerilim-şekil değiştirme eğrisinin yükselen kısmından, son kare yöntemlerini kullanarak en yüksek dayanımının yaklaşık olarak %30'u altında alarak hesaplanmıştır. Aynı örneklerde ayrıca basınç altında eksenel ve yanal şekil değiştirmeler ölçülerek Poisson oranının belirlenmesi sağlanmıştır. Bu ölçümleri esas alarak örneklerin süreksizlik ve gevşeme sınırları hesaplanmıştır. Ø15x30 cm silindir numunelerden kesilerek hazırlanmış Ø15x7cm boyutundaki silindir numuneler üzerinde de yarma mukavemeti deneyleri yapıldı.

BÖLÜM 3. DENEY SONUÇLARI

Bu çalışmada elde edilen deney sonuçlarını gösteren tablolar Ek'lerde verilecektir. Değişkenleri belirlemek amacıyla aşağıda bazı tanımlar ve açıklamalar yapılmaktadır.

3.1. Betonların Elastik Özellikleri İle İlgili Deney Sonuçları

Numunelerde ölçülen şekil değiştirmelerden yararlanarak elastisite modülü (E) ve Poisson oranı (ν) hesaplandı. Elastisite modülü, yüklemenin başlangıç değerlerinde hemen hemen sabittir. 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. Elastisite modülü deney sonuçları, gerilme-şekil değiştirme eğrisinde basınç mukavemetinin 1/3'üne kadar bu yaklaşımdan yararlanarak doğrusal korelasyon ile eğim hesaplanarak elde edildi. Ölçü hatalarının önemli olacağı düşünülen bazı lineerlikten sapan ilk noktalar değerlendirmede göz önüne alınmadı.

3.2. Betonların Elastik Olmayan Özellikleri İle İlgili Deneylerin Sonuçları

Betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisinin elastik olmayan kısmının da önemli olduğu bilinmektedir [18]. Bu çalışmada betonların elastik olmayan davranışına geniş yer verilmiştir. Bütün betonlarda süreksizlik sınırı (σ_D), çözümlüme sınırı (σ_L) ve basınç mukavemeti (f_c) gibi elastik olmayan davranışın kritik gerilme değerleriyle bunlara ait şekil değiştirmeler de elde edildi. Bulunan değerler Ek tablolarda görülmektedir. Bu kritik değerlerin saptanması şöyle yapıldı:

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; eğer bir *PD* yükünden hemen sonraki *PD*+2 ton yükünde Poisson oranı 0.003'e eşit veya daha fazla artarak devam etmekte ise, gerilmesinde veya *PD* yükünde betonun süreksizlik sınırına vardığı kabul edildi [2].

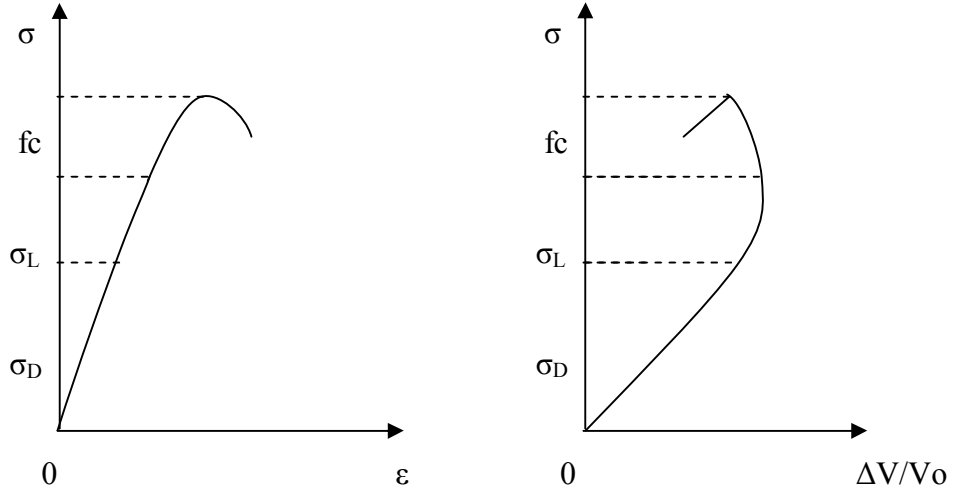
Çözülme sınırı hacimsel birim şekil değiştirmeden yararlanılarak bulunmaktadır. Bu kritik gerilme değerinden itibaren betonun basınç yükleri altında hacmi artmaya başlar. Kısa süreli tek eksenli basınç altında ϵ boyuna ve ϵ_g enine şekil değiştirmeleri gösterdiğine göre ve daha yüksek mertebe terimler ihmal edilerek birim hacimsel şekil değiştirme (3.3) ile hesaplandı.

$$\Delta V / V_0 = \epsilon - 2 \epsilon_g \quad (3.1)$$

Deneyle elde edilen (ϵ) ve ϵ_g değerleri (3.3) denkleminde yerine konarak birim hacimsel şekil değiştirmeler ($\Delta V/V$) in minimumdan geçtiği gerilme çözülme sınırı olarak alındı.

Şekil değiştirmeler X-Y grafik kaydedicinin çizmiş olduğu grafikten veya hassas komparatörlerden elde edildi.

Bütün betonlarda elde edilen süreksizlik sınırları, çözülme sınırları basınç mukavemetleriyle, bu gerilmelerdeki şekil değiştirmeler ek tablolarda görülmektedir. Elastik olmayan davranışa ait değerlendirmeler paragraf 4.3'de yapılmaktadır. Tablolarda ve grafiklerde verilen bütün değerler her grup karışımlar için en az 5 veya 6 numunenin ortalamasıdır. Elastik olmayan davranışla ilgili kritik gerilme değerleri şematik olarak şekil 3.1' de görülmektedir.

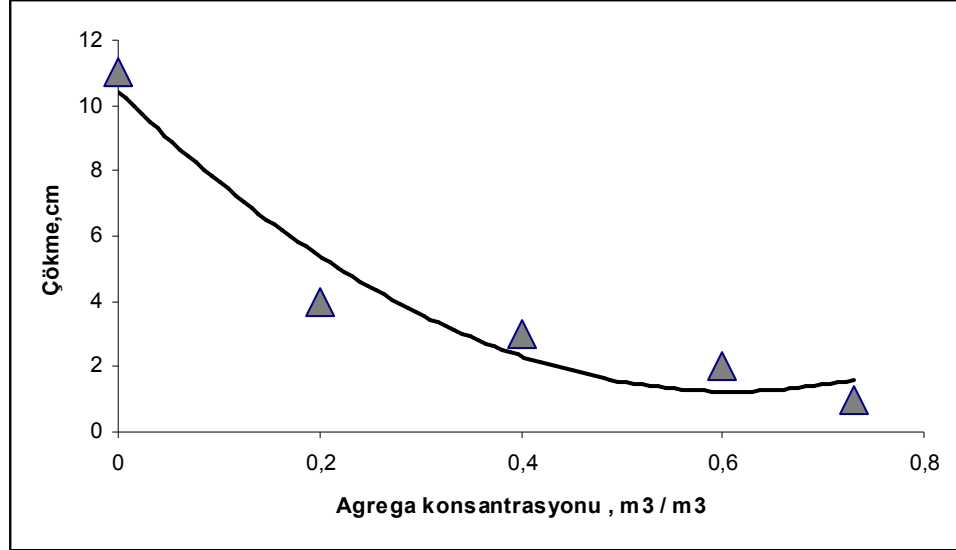


Şekil 3.1. Betonun Gerilme-Şekil Değişirme Ve Gerilme-Hacimsel Şekil Değişirme Eğrilerinin Şematik Gösterimi.

BÖLÜM 4. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

4.1. Taze Beton Özellikleri

Çalışmada agrega konsantrasyonunu % 0 ‘dan %73 ‘e kadar değişik oranlarda kullanarak üretilen betonlarda, işlenebilme özellikleri ek tablo ve şekil 4.1 incelendiğinde, agrega içermeyen betonların akıcı beton, değişken agrega oranları kullanılarak üretilen betonların yüksek oranda agrega içerenleri ise kuru beton kıvamındadır.

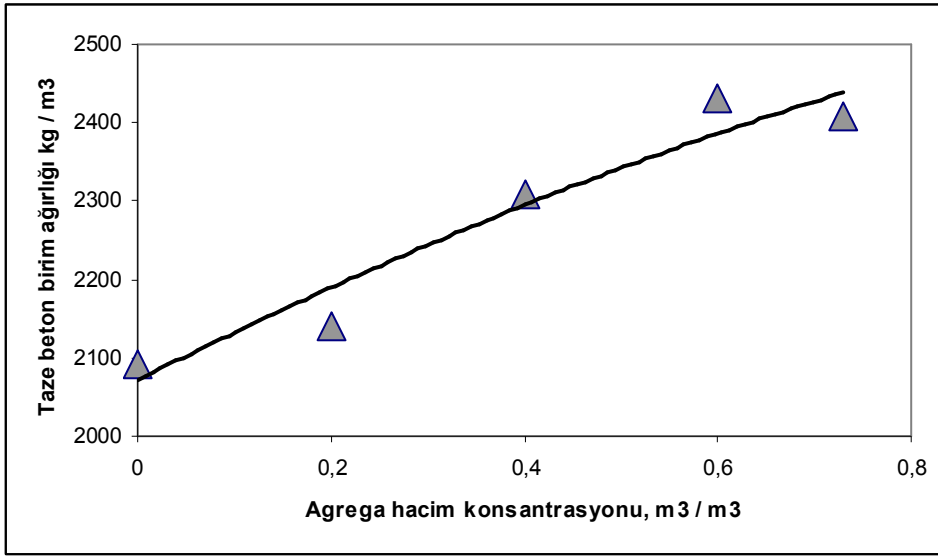


Şekil 4.1: Agrega Konsantrasyonu Çökme İlişkisi

Çökme değerleri incelendiğinde % 0~50 agrega konsantrasyonlu betonlar plastik kıvamda, bu konsantrasyonun üzerinde betonlar kuru beton kıvamında işlenebilme özelliği göstermektedir. Bunun nedeni artan agrega yüzeyini ıslatmak için daha fazla suya ihtiyaç duyulmasıdır.

Agrega hacmi arttıkça betonlarda taze birim ağırlığı artmaktadır.

Agrega hacmi arttıkça tüm betonların kompasitesi de artmaktadır.



Şekil 4.2: Taze Betonun Birim Ağırlığının Agregat hacim konsantrasyonu ile değişimi

4.2. Betonun Elastik Davranışı ile ilgili Sonuçlarının irdelenmesi

4.2.1. Genel bilgiler

Betonun elastisite modülünün bilinmesi beton, betonarme ve ön gerilmeli beton yapılarda elastik şekil değiştirmelerin hesaplanmasını sağlar. Bu şekil değiştirmelerin yapılarda bir çok bakımdan bilinmesi gerektiğinden elastisite modülü tayin edilmesi gerekli bir malzeme sabitidir. Betonun bünyesinde çimento hamuru gibi viskoz bir fazın bulunması bu 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.

- Sekant modülü:** Bu modül gerilme-deformasyon eğrisinin herhangi bir M noktasını koordinat merkezine birleştirilen doğrunun eğimidir.
- Başlangıç teğeti modülü (Tanjant modülü):** Bu modül gerilme-deformasyon eğrisinin başlangıçtaki teğetinin eğimidir. Gerilmelerin küçük olması halinde özellikle basınç mukavemetinin üçte birinden küçük olduğu takdirde başlangıçtaki teğetin gerilme-deformasyon eğrisi ile çakıştığı pratik bakımdan kabul etmek mümkündür [32].
- 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 başlangıçtaki teğetinin eğimini dinamik elastisite modülü olarak kabul etmek mümkündür[32].

Bu üç elastisite modülünden mühendislik hesaplarında en çok kullanılanı, gerilmeye ve gerilme artış hızına bağlı bulunmaması nedeni ile dinamik elastisite modülüdür.

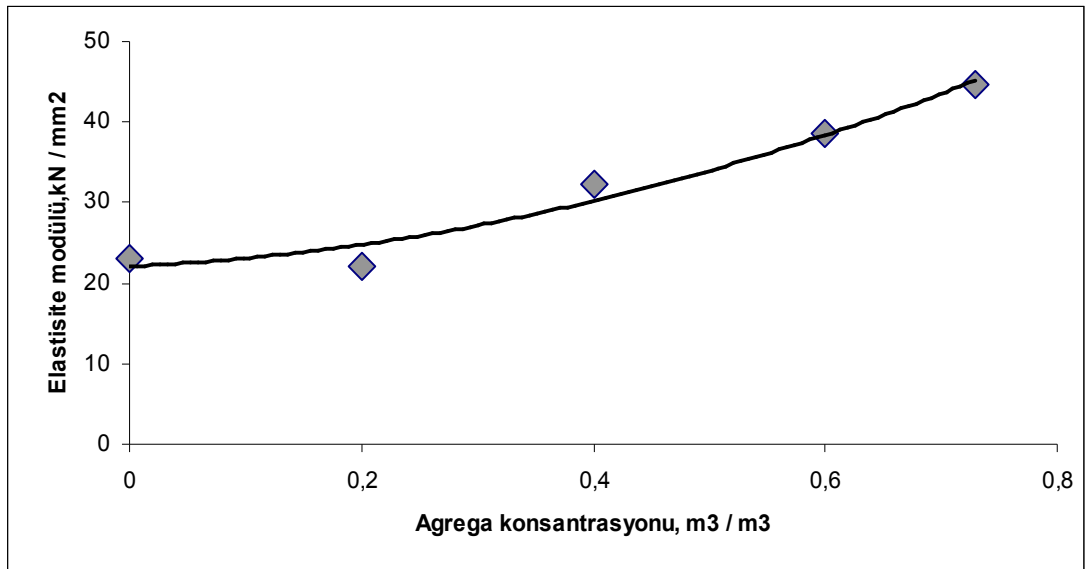
4.2.2. Agrega konsantrasyonunun betonun elastisite modülüne etkisi

Bilindiği gibi betonun elastisite modülü, agreganın ve bağlayıcı olan çimento hamurunun (veya çimento harcının) elastisite modüllerinin ve bu bileşenlerin beton içindeki hacim oranlarının fonksiyonudur. Betonun elastik davranışını incelemek için kurulan kompozit malzeme modelleri de bu esasa dayanmaktadır.

Şekil 4.3'ün incelenmesiyle görüleceği üzere; Kırmataş agregalarla üretilmiş betonlarda, agrega konsantrasyonunun artışı, bu betonların elastisite modüllerini arttırmaktadır.

Lydon ve Baledran [33], betonun elastik davranışı üzerinde yaptıkları çalışmada betonun elastik davranışını etkileyen en önemli faktörün agreganın cinsi olduğunu belirtmişlerdir.

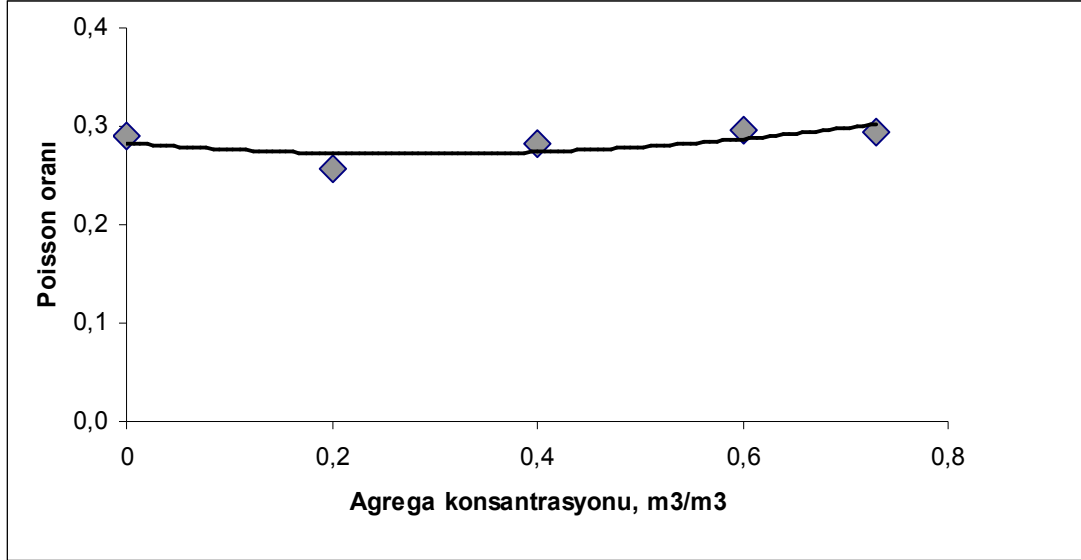
Ayrıca normal agregalı olan betonlarda agrega konsantrasyonunun artması ile elastik modülünün artması Stock ve arkadaşlarının [26] iddialarını doğrulamaktadır.



Şekil 4.3: Agrega Konsantrasyonunun Betonların Elastisite Modülü İle Değişimi

4.2.3. Agreg a konsantrasyonunun betonun süreksizlik sınırındaki poisson oranına etkisi

Şekil 4.4’de süreksizlik sınırındaki poisson oranının, kırmataş malzemesi ile üretilen betonlarda agreg a konsantrasyonuna göre değişimi görölmektedir.



Şekil 4.4: Süreksizlik Sınırındaki Poisson Oranının Agreg a Konsantrasyonuna Göre Değişimi

Şekilden göröldüğü üzere kırmataşlı serilerde süreksizlik sınırındaki poisson oranları, agreg a konsantrasyonları arttıkça, bir miktar azalmakta, daha sonra bir minimumdan geçtikten sonra artmaktadır. Benzer davranış bu betonların basınç dayanımı agreg a konsantrasyonu ilişkisinde de vardır, Şekil 4.8. Buna göre betonun basınç dayanımında artış veya azalma betonun poisson oranını da aynı yönde etkilemektedir.

Sonuç olarak yukarıda açıklandığı üzere kırmataş agregalarının çimento hamuru içerisinde konsantrasyonunun artışı süreksizlik sınırındaki poisson oranını önce azalttığı ve bir minimumdan sonra arttırdığını söyleyebiliriz.

4.3. Elastik Olmayan Özelliklere Ait Deney Sonuçlarının Değerlendirmesi

Bu bölümde elastik olmayan davranışa ait genel bilgiler verildi. Daha sonra kırmataş agregalı betonlar için bulunan sonuçlar değerlendirilmeye çalışıldı.

Büyük bir kısmı elastik olmayan bölgeye ait betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisinin lineerlikten ayrılmasının nedeni mikro çatlama ile ilgilidir. Betondaki belirgin çatlakların oluşma nedenleri şöyle özetlenebilir [33].

- i) Sürekli etkiyen dış gerilmeler, uygulanan yüklere ve tepkilere bağlı olarak doğrudan doğruya etkiyen gerilmeler, fazla sehim veya yapılarda farklı davranışları kapsayan dış etkiler, yorulma yükü,
- ii) Hacimsel değişme, sabit yük altında sünme, beton bileşenlerinin arasındaki kimyasal uyumsuzluk, rötre, sıcaklık, nedeniyle oluşan ısı gerilmeler,
- iii) Eğilme nedeniyle oluşan eğilme-çekme gerilmeleri.

Basınca maruz kalan betonun çatlak tipleri de şöyle özetlenebilir[33].

- i) Agrega harç temas yüzeyinde gözlenen bağ ve temas yüzeyi çatlakları.
- ii) Sertleşmiş harç veya sertleşmiş çimento hamurunda gözlenen harç veya çimento hamuru çatlakları.

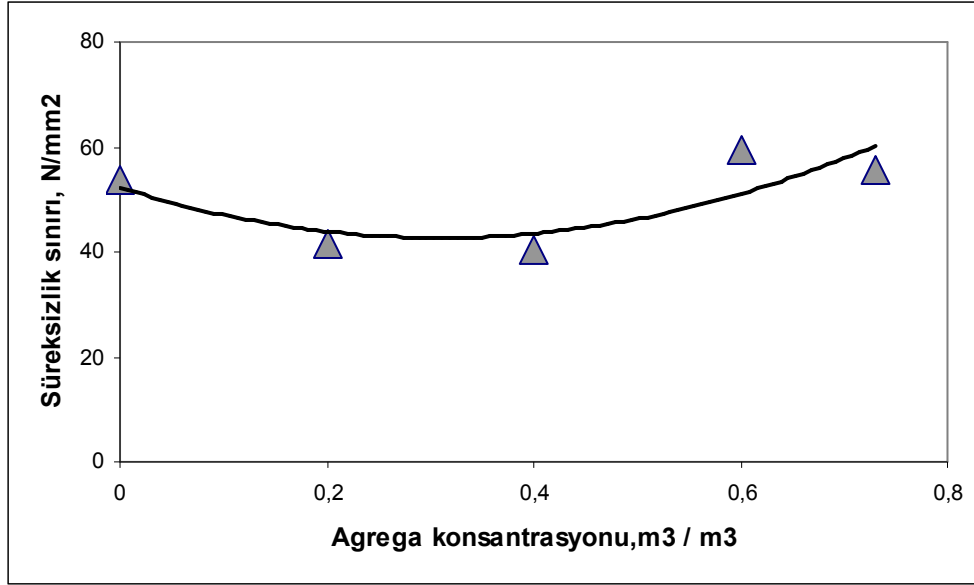
Betonun kısa süreli basınç altında bağ mukavemetinin aşılmasıyla temas yüzeyinde çatlaklar gelişir. Temas yüzeyindeki çatlakların sayısında boy ve genişliğinde artış, yük arttıkça devam eder, temas yüzeyi sürtünme nedeniyle yük taşır. Süreksizlik sınırına varıldığı zaman temas yüzeyindeki mikro çatlaklar önemli derecede artmaya başlar. Bu gerilmeden önce mikro çatlakların gelişmesi ihmal edilebilecek bir miktardır. Mikro çatlakların artması beton mukavemetini tamamen kaybedene kadar sürer. Malzemedeki mikro çatlakların artması süreksizlik sınırına kadar yaklaşık sabit kalan veya bazı durumlarda yavaş bir azalma gösteren Poisson oranında belirli bir artışın başlamasına neden olur, gerilme hacimsel şekil değiştirme eğrisi lineerlikten ayrılmaya başlar. Çözülme sınırı olarak adlandırılan gerilmeye varıldığında, harç fazı içindeki mikroçatlaklar birden ve önemli ölçüde gelişir. Bunlar agrega-harç bileşim onun yüzeylerindeki mikroçatlaklarla da birleşip betonun içinde sürekli bir mikroçatlak ağı oluşturur. Çözülme sınırına kadar devamlı olarak küçülen hacim, bundan sonra artmaya başlar, bu artış hızla devam eder ve basınç mukavemetine varılır.

Süreksizlik ve çözülme sınırlarının gerilme-şekil değiştirme eğrisi üzerindeki yeri betondan betona farklılıklar gösterir. Literatürde, süreksizlik sınırı için basınç

mukavemetinin % 30'u ila % 90'ı, çözülme sınırı için içinde basınç mukavemetinin % 70'i ila % 100'ü arasında kalan değerler verilmektedir. [34]

Betonun taşıma gücü, sürekli çatlak ağı aşırı derecede büyüdüğü zaman azalır. Normal betonlarda agrega tanelerinin kırılmasına az rastlanır. Çünkü agregaların mukavemeti, sertleşmiş çimento hamurunun mukavemetinden büyüktür [35].

4.3.1. Agrega konsantrasyonunun süreksizlik sınırına etkisi



Şekil 4.5: Süreksizlik Sınırının Agrega Konsantrasyonu ile değişimi

Kırmataş Agregası kullanılarak üretilmiş betonlarda agrega konsantrasyonu artışı bu betonların süreksizlik sınırını önce azaltmakta ve bir minimumdan sonra arttırmaktadır.

Bu değişimler aşağıdaki şekilde açıklanabilir.

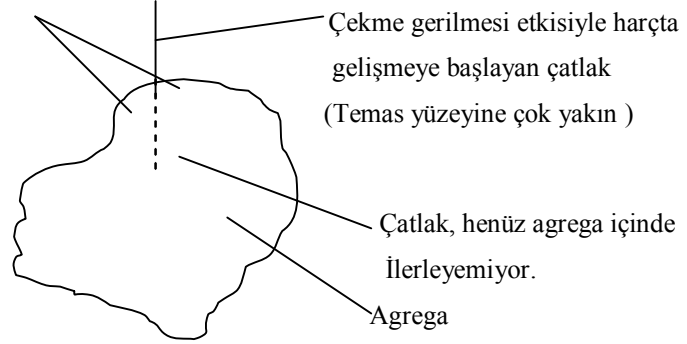
1- Kırmataşlı Betonlarda:

a) Süreksizlik sınırının minimum noktasına kadar:

Agrega konsantrasyonu arttıkça, gerilme yığılmaları artmakta ve süreksizlik sınırı düşmektedir.

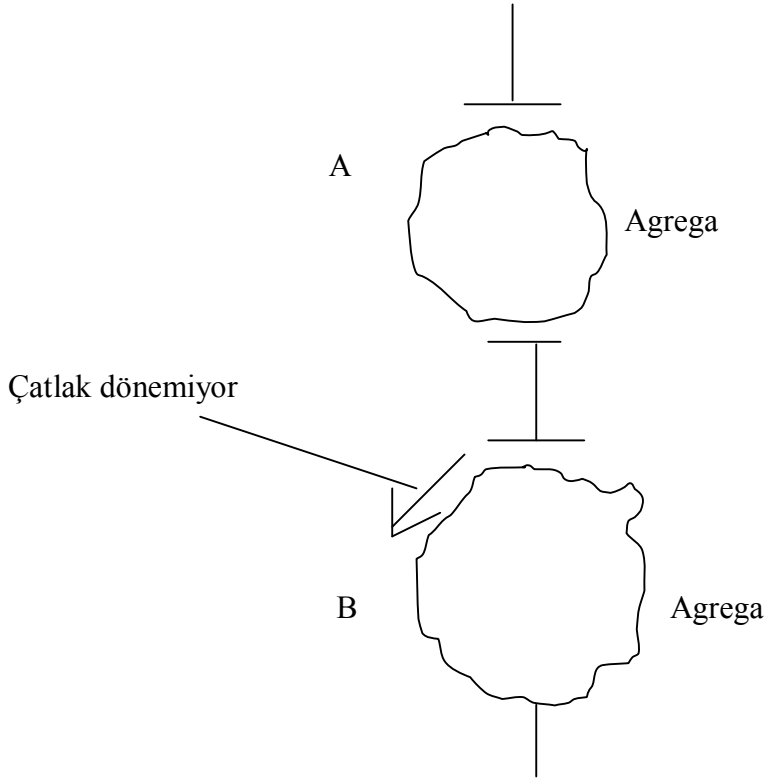
b) Süreksizlik sınırının minimum noktasından sonra çatlak oluşum mekanizması şematik olarak aşağıdaki gibi varsayılabilir.

Çatlak, yüksek bağ
Dayanımından dolayı
Henüz agregaya
Yüzeyinde ilerleyemiyor.



Şekil 4.6.a: Kırmataş Agregasında Çatlak Başlangıcı

Daha sonra çatlak oluşum mekanizması şematik olarak aşağıdaki hali aldığı varsayılabilir.



Şekil 4.6.b: A ve B, aynı Düşey düzlem üzerindeki iki komşu kırmataş agregası

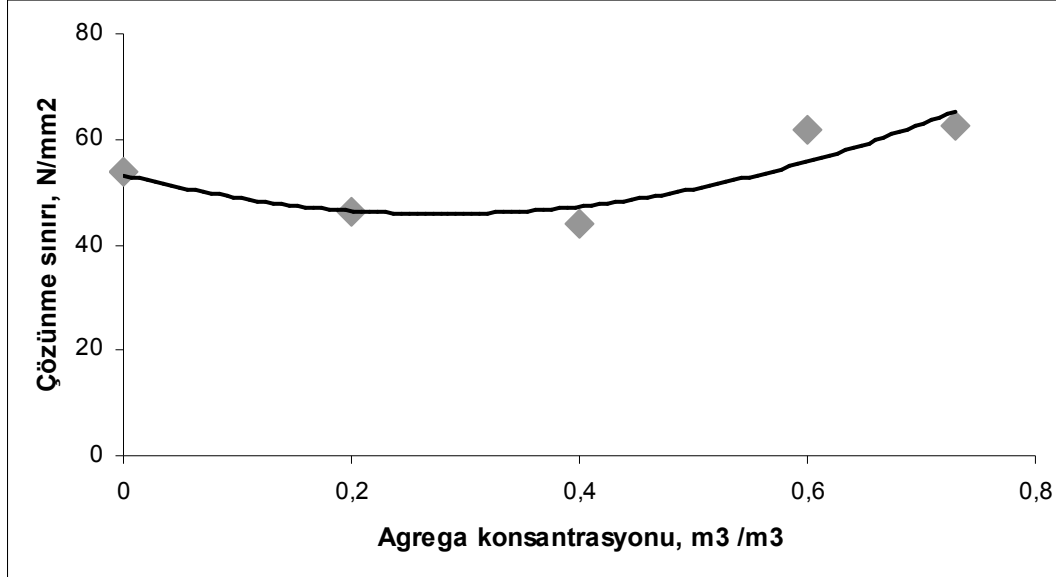
Şekil 4.6.a'da bir kırmataş tanesinin civarındaki olası çatlak başlangıcı durumu çizilmiştir. Tanesinin üst (veya alt) noktasından çekme gerilmesi etkisiyle harcın temas yüzeyine çok yakın bir bölgesinde başlayan çatlak yüksek bağ dayanımından dolayı henüz agregaya yüzeyinde ilerleyememektedir. Ayrıca agreganın oldukça yüksek çekme dayanımından dolayı, çatlak, bu aşamada agregaya içinden de geçememektedir.

Diğer taraftan, agregâ konsantrasyonu belirli bir düzeye ulaştığından, numunelerin düşey kesitlerinde önemli miktarda iri agregâ alt alta gelmiş olmalıdır. Şekil 4.6.a' da anlatılan çatlak başlangıcından biraz sonraki olası durum, alt alta rastlayan iki iri agregâ göz önüne tutularak Şekil 4.6.b' de çizilmiştir. Burada önceden başlamış olan çatlak iri agregâ yüzeyinde belki biraz yayılmakta fakat yüksek bağ dayanımından dolayı agregâ tanelerinin yüzeyinden dolaşamamaktadır. Bu yüzden, şekilde A ve B ile gösterilen iri agregâların civarında başlamış olan çatlaklar süreklilik kazanamamakta ve böylece alt alta rastlayan iri agregâlar birbirlerinin civarında oluşan çatlakların ilerlemesine durdurmaktadır.

Çatlak durdurmanın olumlu etkisi, gerilme yığılması artışının olumsuz etkisini azaltmakta ve agregâ konsantrasyonu arttıkça süreksizlik sınırı da artmaktadır.

4.3.2. Agregâ konsantrasyonunun çözülme sınırına etkisi

Şekil 4.7. ve Ek çizelgeA2 incelendiğinde agregâ konsantrasyonu süreksizlik sınırı ilişkisine benzer sonuçları agregâ konsantrasyonu çözülme sınırı ilişkisinde de görmekteyiz. Buna göre;



Şekil 4.7: Çözülme Sınırının Agregâ Konsantrasyonu ile Değişimi

Kırmetaş Agregası kullanılarak üretilmiş betonlarda agregâ konsantrasyonu arttırılırsa bu betonların çözülme sınırına bir düşme ve bir minimumdan geçtikten sonra artma görülmektedir.

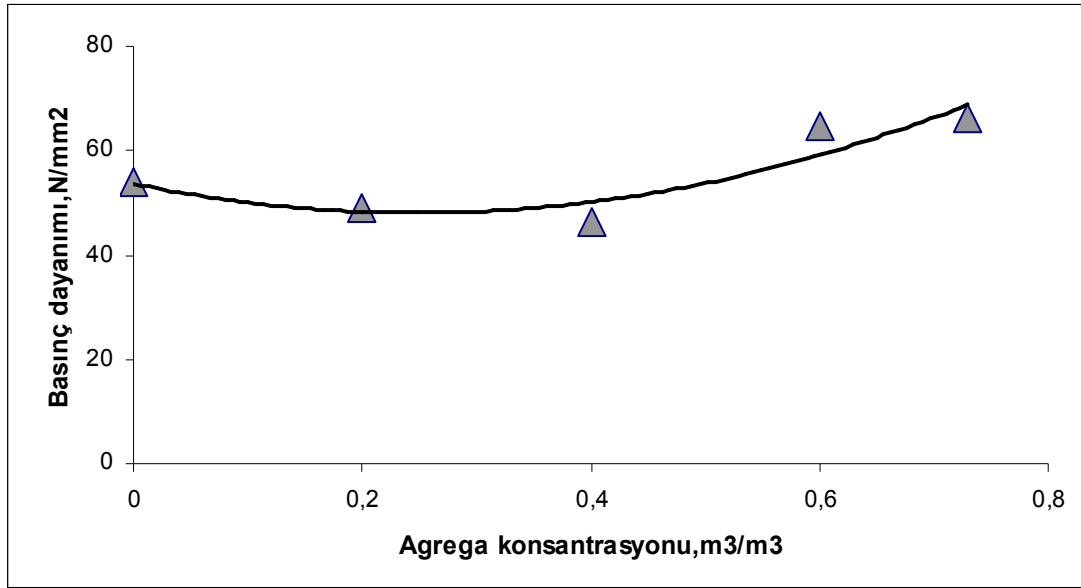
Burada da süreksizlik sınırında anlatılan etkiler sürmektedir. Bu yüzden çözülme sınırının agrega konsantrasyonu ile değişimi süreksizlik sınırına benzemektedir.

4.3.3. Agrega konsantrasyonunun basınç mukavemetine etkisi

Betonun göçmesinin hacimsel şekil değiştirme ve hacimsel şekil değiştirmede absorbe edilen şekil değiştirme enerjisine bağlı olduğuna ve çatlamanın da, a) Çimento hamurunun göçmesi, b) Agrega kırılması, c) Bağ göçmesi [8] ile ortaya çıktığı paragraf 1.2.1 'de belirtildi. Normal betonlarda kırılma çatlaklarının ilerlemesinin agrega harç bağ yüzeyinden keserek ilerlediği bilinmektedir.

Yüksek mukavemetli betonlarda ise sertleşmiş çimento hamurunun, agrega dayanımının mertebesine bağlı olarak, çatlakların önce agrega aderans yüzeyinden daha sonra diğer agregaların ortasından veya kenarından ilerlediği kabul edilir.

Sürekli fazın içindeki hafif agreganın ucunda, basınç yükü doğrultusuna dik doğrultuda çekme gerilmeleri oluşur. Oluşan gerilme birikimleri betonun kırılmasında önemli rol oynar. İlk birkaç çatlak alışla gelen kısa süreli deney koşulları altında betonun yük taşıma yeteneği üzerinde küçük bir etkiye sahiptir, kusurun ucundaki gerilme birikimi belli bir değeri aştığında çatlak büyür, yeni bir yüzey ortaya çıkar. Böylece numune şekil değiştirme enerjisi yüzey enerjisine dönüşür. Daha fazla çatlama ile yeni bir yüzey yaratmak için gerekli enerji, çatlağın uzunluğu ile orantılıdır. Bu ise gerilmenin artmasını gerektirir. Çatlak uçları yakınında malzemede zamana bağlı şekil değiştirme (sünme) olur. Sünme, çatlak boylarını arttırmakla beraber mukavemetteki artışa neden olan gerilme konsantrasyonunu da azaltır [14]. Kırılmış kireçtaşı agregaları içeren betonlarda çatlaklar agregaların içinden geçmeye zorlanmıştır. Böylece bu agregalar çatlak ilerlemesi için engel oluştururlar. 0,40 m³/m³ agrega konsantrasyonu üzerinde bu engel etkisi, eklenen agregaların yeni ara yüzleri tarafından oluşturulan zayıflama etkisine üstün gelmektedir. Böylece basma dayanımı artmaktadır [36].



Şekil 4.8: Basınç Dayanımının Agrega Konsantrasyonu ile Değişimi

Şekil 4.8 ‘den de görüldüğü gibi agreganın konsantrasyonu arttıkça, basınç dayanımları önce düşmekte, minimum bir değer gösterdikten sonra bu betonların mukavemetleri artmaktadır.

4.4. Yarıлма - Çekme Deneylerine Ait Deney sonuçlarının İrdelenmesi

4.4.1. Agrega konsantrasyonunun betonun çekme şekil değiştirme kapasitesine ve yarma-çekme dayanımına etkisi

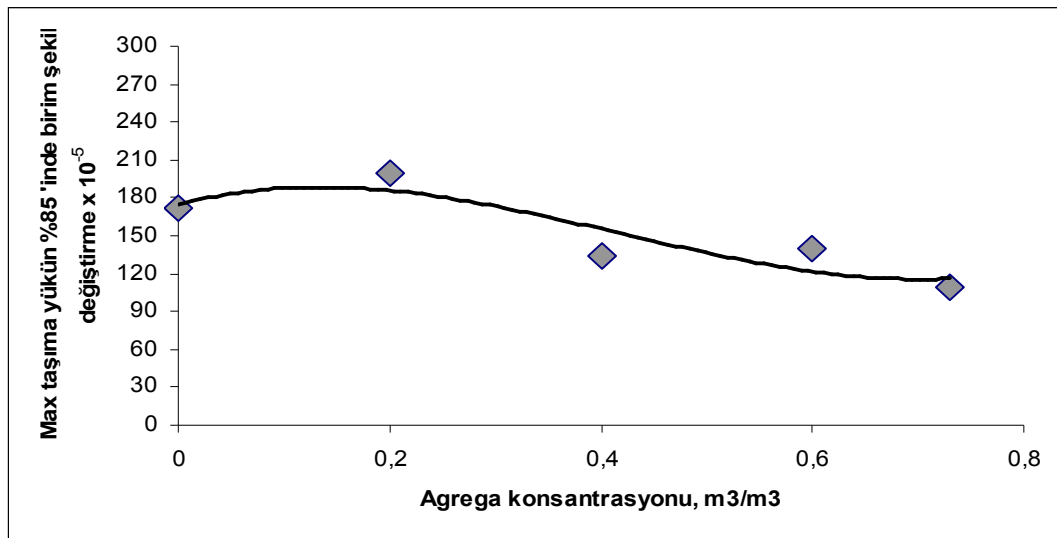
Tek eksenli çekme, yarıлма-çekme, iki eksenli çekme ve açılma modunda yükleme durumlarında çekme çatlakları ilginç olmaktadır. Betonun çekme dayanımı, kayma dayanımından düşük olduğundan bir deney numunesinde çekme gerilmesini ihmal edilerek kayma gerilmesi dağılımını ön plana çıkarmak olanaksızdır [37,38]. Betonda çekme şekil değiştirme oluşturulduğunda, eğer çekme şekil değiştirmesinin değeri betonun çekme şekil değiştirme kapasitesinden büyükse, betonda çatlak başlangıcı olacaktır. Çekme – Şekil değiştirme kapasitesi, çatlak başlamasındaki şekil değiştirme oranı veya gerilme şekil değiştirme oranının limiti olarak tanımlanmaktadır [39]. Çekme – şekil değiştirme kapasitesi sabit bir değer olmayıp deney tekniğine, deney tipine, agreganın granülometrisine, geyç uzunluğuna, su /çimento oranına, kür koşullarına, betonun yaşına ve yükleme durumuna bağlı olarak etkilenmektedir [37,38]. Çekme halinde deney sonuçları Oladapo [40], Welsh [41] ve Domone [42] tarafından elde edilmiş ve çeşitli kür şartlarında, yaşlarında, betonun

dayanımı ve çekme-şekil değiştirme kapasitesi arasında iyi bir ilişki olduğu da belirtilmiştir.

Houghton [43]'e göre betonun kısa süreli çekme şekil değiştirme kapasitesi; betonun çekme dayanımı ve elastisite modülü biliniyorsa tahmin edilebilmektedir.

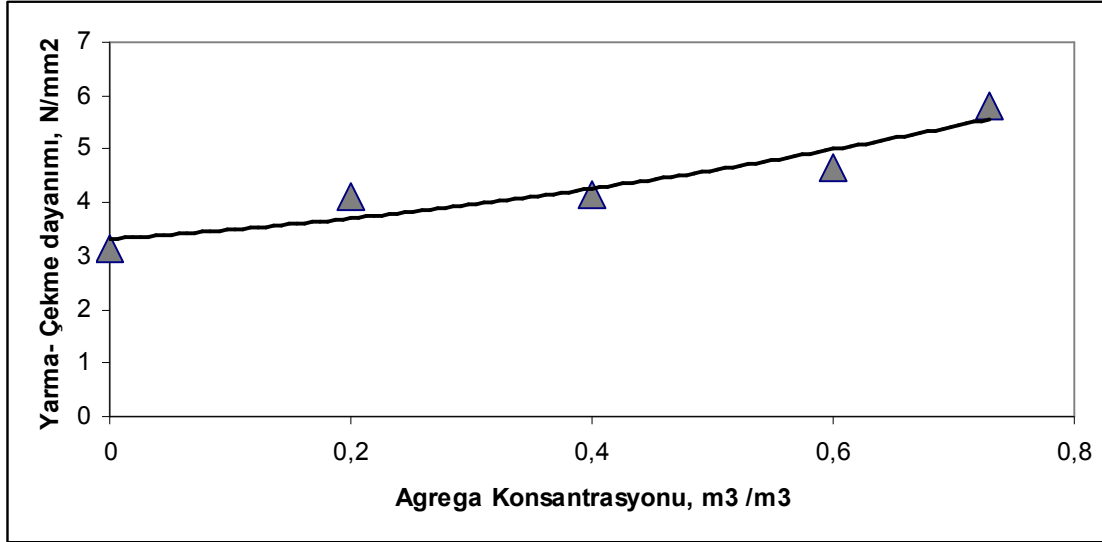
Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da sırasıyla, betonun çekme şekil değiştirme ve yarma-çekme dayanımı ile agrega hacim konsantrasyonunun arasındaki ilişkisi görülmektedir. Yarma dayanımının % 85'indeki şekil değiştirme agrega konsantrasyonuna bağlı olmaktadır. Şekil 4.9'da görüldüğü gibi, çekme-şekil değiştirme agrega konsantrasyonunun artmasıyla, azalma göstermektedir. Yarma deneyinde kırılmayı oluşturan çatlak gerilme durumunun zorlamanın etkisiyle hem hamurun hem de agregaların içinden geçmektedir. Dolayısıyla şekil değiştirme kapasitesini hamurun ve agreganın kopma uzamaları bir arada belirlemektedir. Agreganın kopma uzaması hamurunkinden daha düşük olduğundan agrega konsantrasyonu arttıkça, şekil değiştirme, azalmaktadır.

Agrega konsantrasyonunun betonun çekme – şekil değiştirme kapasitesine etkisi ile ilgili çalışmanın Kaplan [23] tarafından da yapılmıştır. Kaplan betonun yarma çekme dayanımının %90'ındaki şekil değiştirmesine iri agrega hacminin etkisini araştırmıştır. Bu çalışmaya göre çekme – şekil değiştirme kapasitesi, karışımdaki iri agrega hacmine bağlı olmaktadır. Fakat iri agreganın cinsi su /çimento oranı gibi parametrelere bağlı olmaktadır. Bu çalışmada Kaplan'ın çalışmasına göre bir miktar farklılık gösterse de benzer sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.9: Şekil Değiştirmenin Agrega Hacim Konsantrasyonu İle İlişkisi

Şekil 4.10 yarma-çekme dayanımı ve agrega hacim konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Kırmataş malzemesi kullanılarak üretilen betonlarda agrega konsantrasyonu' nun artması yarma-çekme dayanımını arttırmaktadır. Bu betonlarda çatlaklar genellikle iri agregaların içinden geçmektedir. Gerilme iri agregalar vasıtasıyla taşınmakta ve onların matris'e göre yarma-çekme dayanımları yüksek olduğundan bunların matriste fazla bulunmalarıyla yarma-çekme dayanımı artmaktadır.



Şekil 4.10: Agrega Konsantrasyonunun Yarma- Çekme Dayanımı ile ilişkisi

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE İLERİ ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER

5.1. Taze Beton Özellikleri ile İlgili Deney Sonuçları

- i) Kırmataş agregalı betonlarda agrega hacmi arttıkça bu betonların işlenebilirliği azalmaktadır.
- ii) Kırmataş agregalı betonlarda agrega hacmi arttıkça taze ve sertleşmiş betonun birim ağırlığı artmaktadır.
- iii) Kırmataş agregalı betonlarda agrega hacmi arttıkça, komposite artmaktadır.

5.2. Betonların Elastik Davranışlarıyla İlgili Deney sonuçları

- i) Agrega konsantrasyonu arttıkça kırmataş agregalı betonlarda Elastisite modülü artmaktadır.
- ii) Agrega konsantrasyonu arttıkça kırmataş agregalı betonlarda süreksizlik sınırındaki poisson oranı önce düşmekte, bir minimumdan geçtikten sonra artmaktadır.

5.3. Betonların Elastik Olmayan Davranışlarıyla İlgili Deney Sonuçları

- i) Kırmataş agregalı betonlarda agrega konsantrasyonu arttıkça süreksizlik sınırı düşmekte sonra bir minimumdan geçtikten sonra artmaktadır.
- ii) Kırmataş agregalı betonlarda agrega konsantrasyonu arttıkça çözülme sınırı düşmekte sonra bir minimumdan geçtikten sonra artmaktadır.
- iii) Kırmataş agregalı betonlarda agrega hacim konsantrasyonu arttıkça basınç dayanımı düşmekte, sonra bir minimumdan geçtikten sonra artmaktadır.
- i) Kırmataş agregalı betonlarda agrega hacim konsantrasyonu arttıkça betonların basınç mukavemetlerindeki birim kısaltmalar azalmaktadır.

5.4. İleri Çalışmalar için Öneriler

Daha ileri çalışmalarda bu araştırmada kullanılan agregalardan farklı agregalarla ve daha yüksek su/çimento oranına sahip betonlarla, değişik yaşlarda çalışmalarda yapılmalıdır. İki eksenli yükleme durumu ayrıca incelenebilir. Değişik agregalar kullanılabilmekten daha geniş bir aralıkta ilginç sonuçlar elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] ATAN, Y., 1967: İki fazlı Malzeme Olarak Beton. *İ.T.Ü. D.*, Cilt 25, Yıl 25, Sayı 3,
- [2] OKTAR, O.N.,1977: Bağlayıcı Hamurun Yapısının Betonun Kısa Süreli İnelastik Davranışındaki İşlevi. *İTÜ İnşaat Fakültesi, Doktora Tezi.*
- [3] MASO, J.M. (Ed.), 1992: Interfaces in Cementitious Composites, Pro. Int. Conf., Toulouse, E. and F.N.Spon, London.
- [4] BUDNIKOV, P.P., ELINZON, M.P. and YAKUB, I.A.,1968: The Structure, Composition and Some Properties of Lightweight Aggregates Used For Concrete in the USSR. *Proceedings of the First International Congress on Lightweigh Concrete*, Vol.1, pp.3-21.
- [5] CZURYSZKIEWICZ, A.,1973: The Effect of Aggregate Shape Upon The Strength of Structural Lightv/eight Aggregate Concrete. *Magazine of Concrete Research*, Vol. 25, No.83.
- [6] GETTU, R., BAZANT, Z.P., and KARR, M.E.,1990: Fracture Properties and Brittleness of High Strength Concrete. *ACI Materials Journal*, pp. 608-618.
- [7] SHAH, S.P., and TAŞDEMİR, 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.
- [8] TAYLOR, M.A.; TAI, M.K., and RAMEY, M.R., 1975: Biaxial Compressive Behaviour of Fibre Reinforced Mortar. *ACI Journal* pp. 496-501.
- [9] SLATE, O.F., and MEYERS, L.B., 1968: Deformation of Plain Concrete. *Paper for the Fifth International Sysposium on the Chemistry of Cement*, Tokyo.
- [10] JOHNSTON, C.D.,1970: Strength and Deformation of Concrete in Uniaxial Tension and Compression. *Magazine of Concrete Research*, Vol.22, No.70.
- [11] 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.
- [12] TANIGAV/A, L., and YAMADA, K., 1978: Size Effect in Compressive Strength of Concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol.8.
- [13] HANSEN, T.C., 1965: Theories of the Multi-Phase Materials Applied to Concrete, Cement Mortar and Cement Paste. *Proceedings of an International Conference*, London.

- [14] ZAITSEV, J.W., and WITTMANN, F.H., 1973: Fracture of Porous Viscoelastic Materials Under Multiaxial State of Stress. *Cement and Concrete Research*, Vol.3.
- [15] L'HERMITE, R., 1955: *Idées Actuelles Sur La Technologie du Beton, Documentation Technique du Bâtiment et Des Travaux Publics*, Paris.
- [16] DESAYI, P., VISWANATHA, C.S., 1967: True Ultimate Strength of Plain Concrete. *Materiaux et Constructions Bulletin RILEM*, No.36, p.163-174.
- [17] JONES, R., KAPLAN, M.F., 1957: The Effect of Coarse Aggregate on the Model of Failure of Concrete in Compression and Flexure. *Mag. of Concrete Research*, Vol.9, No.26, pp.89-94.
- [18] ROBINSON, G.S., 1965: Methods of Detecting the Formation and Propagation of Microcracks in Concrete. *The Structure of Concrete and its Behaviour Under Load: Proceedings of an International Conference*, London, September.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] PEREDERIENKO, E.I., and YAREMA S.Ya., 1965 :Structural Parameters of Streng th. *Fiziko-Khimicheskaya Mekhanika Materialov*. Vol.1,no.2, pp.198-202.
- [22] SHAH, S.P., and WINTER, G., 1966: Inelastic Behavior of Concrete. *ACI Journal, Proceedings* V.63, No.9, pp.925-930.
- [23] KAPLAN, M.F., 1963: Strain and Stresses of Concrete at Initiation of Cracking and Near Failure. *ACI Journal*, Vol.60, pp. 853-880.
- [24] AKMAN, M.S., 1975: Kırmataş İri Agregalı Betonlarda Harç-Beton Sınırı Üzerine Araştırmalar. *İTÜ İnşaat Fakültesi, Teknik Rapor* No.21.
- [25] HOBBS, D.W., 1972: The Compressive Strenght of Concrete: a Statistical Approach to Failure. *Magazine of Concrete Research*, Vol.24,No.80, pp.127-138.
- [26] STOCK, A.F., HANNANT, D.J. and WILLIAMS, R.I.T., 1979: The Effect of Aggregate Concentration Upon the Strength and Modulus of Elasticity of Concrete. *Magazine of Concrete Research*, Vol.31, No.109.
- [27] TS 706, Beton Agregaları, Aralık 1980.
- [28] TS 3673, Beton Agregalarında Organik Kökenli Madde Tayini Deney Metodu, Nisan 1982.
- [29] TS 3527, Beton Agregalarında İnce Beton Oranı Tayini, Aralık 1980.
- [30] TS 24, Çimentoların Fiziki ve Mekanik Deney Metodları, Eylül 1985.

- [31] **TAŞDEMİR, M.A.**, 1982: Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların Elastik ve Elastik Olmayan Davranışları. *Doktora Tezi*.
- [32] **POSTACIOĞLU, B.**, 1981: Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri. *İTÜ Matbaası*, Gümüşsuyu.
- [33] ACI Committee 224 “Control of Cracking in Concrete Structures”, ACI Journal, 1972, pp.717-750.
- [34] **OKTAR, O.N., MORAL, AKYÜZ, S.**, 1984: Beton ve Harçların Basınç Altındaki Kısa Süreli Davranışında Çimento Hamuru Yapısı ve Agregat Granülometresinin Etkileri. *Teknik Rapor* No.44.
- [35] **POPOVIC, S.**, 1969: Fracture Mechanism in Concrete: How Much do we Know. *Proceedings of the ASCE*, EM3, pp.531-544.
- [36] **H. YILDIRIM, O.N.OKTAR, Y.AKKAYA, O. SENGÜL & M.A.TASDEMİR** 2010: Combined Approach Based on the Mechanical Behavior and Microstructural Examinations for the Fracture of Concrete. *Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures, The FraMCoS7*, Korea, submitted
- [37] **TAŞDEMİR, M.A., Lydon, F.D. and Barr, I.G.**, 1994: Some Observations on the Strain Capacity of Concrete in Tension. *Proc.Int.Symp.*, “ Brittle Matrix Composites 4”, A.M. Brandt, V.CLi and I.H Marshall, eds., Warsaw, September 13-15, 1994, IKE and Woodhead Publ., Wasaw pp. 417-424.
- [38] **TAŞDEMİR, M.A., Lydon, F.D. and Barr, B.I.G.**, 1995: Prediction of the Tensile Strain Capacity in Concrete Submitted for publication.
- [39] **BROOKS, J.J., Bennet, E.w. and Owens. P.L.**, 1987: Influence of Lightweight Aggregates on Thermal Strain Capacity of Concrete. *Magazine of Concrete Research*, Vol.39, No.139, pp.60-72.
- [40] **OLADAPO, I.O.**, 1964: Cracking and Failure in Plain Concrete Beams. *Magazine of Concrete Research*, Vol. 16, No. 47, pp. 103-110.
- [41] **WELCH, G.B.**, 1966: Tensile Strains in Unreinforced Concrete Beams. *Magazine of Concrete Research*, Vol. 18. 54, pp. 9-18.
- [42] **DAMONE, P.L.**, 1974: Uniaxial Tensile Creep and Failure of Concrete. *Magazine of Concrete Research*, Vol. 26, No. 88, pp. 144-152.
- [43] **HOUGHTON, D.L.**, 1976: Determine Tensile Strain Capacity of Mass Concrete. *ACI Journal*, Vol. 73, pp. 671-700.

EKLER

Çizelge A.1: Kırmataş agregası (kireçtaşı) kullanılan betonlarda gerçek malzeme miktarları ve taze beton özellikleri

Çizelge A.2: Sertleşmiş betonun özellikleri

ÇİZELGE A.1 Kırmataş agreaga (Kireç Taşı) kullanılan betonlarda gerçek malzeme miktarları ve taze beton özellikleri

Malzeme	Çimento	Su	Katkı ^z	Kum (0-4mm)	Kırmataş I (4-16)	Kırmataş II (8-22)	Çökme	Gerçek Hava	Birim ağırlık
	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(%)	(kg/m ³)	Kg / m ³	Kg / m ³	(mm)	(%)	(kg/m ³)
KT00	1643	460	0	0	0	0	11	1,8	2093
KT20	1291	362	0	128	240	161	3	3	2141
KT40	963	271	0	261	487	326	3	2,1	2308
KT60	634	177	0,9	392	731	490	23	1,1	2430
KT73	399	100	4,8	459	858	574	4	4,6	2409

*Süper akışkanlaştırıcı

ÇİZELGE A.2 Sertleşmiş betonun özellikleri									
Malzeme	Elastisite Modülü (kN/mm ²)	Süreksizlik sınırı (N/mm ²)	Çözülme sınırı (N/mm ²)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Süreksizlik sınırı nın Basınç dayanımına oranı	Çözülme sınırı nın Basınç dayanımına oranı	Poisson Oranı (max yükün % 40)	Yarılma - çekme deney sonuçları	
								Yarma çekme dayanımı (N/mm ²)	Yarma çekme dayanımının %85 'inde şekil değiştirme
BK00	23,1	53,8	53,8	53,8	1,00	1,00	0,29	3,15	171,3
BK20	22,1	41,6	46,4	49,1	0,85	0,95	0,256	4,1	198,8
BK40	32,3	40,3	43,8	46,3	0,87	0,95	0,282	4,15	134,5
BK60	38,5	59,6	61,7	64,5	0,92	0,96	0,296	4,65	139,3
BK73	44,7	55,6	62,4	66,3	0,84	0,94	0,295	5,8	109,5

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ergün GÜMÜŞ

Doğum Yeri ve Tarihi: Sakarya 1977

Adres:

Lisans Üniversite: Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği