İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇAKIL AGREGALI BETONLARDA AGREGA KONSANTRASYONUNUN BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yunus Serdar GARAN

Anabilim Dalı: Yapı Mühendisliği

Programı: Malzeme

OCAK 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇAKIL AGREGALI BETONLARDA AGREGA KONSANTRASYONUNUN BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Yunus Serdar GARAN
Enstitü No : 501981080

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

Yüksek lisans tezimin hazırlanması sırasında sürekli olarak, ilgi ve yardımlarını gördüğüm, bilgisinden ve deneyimlerinden yararlandığım, Hocam, Sayın Yrd.Doç.Dr. Hasan YILDIRIM'a, çalışmalarımdaki ilgi ve yardımlarından dolayı Yrd.Doç.Dr. Bekir PEKMEZCİ'ye, Yapı Malzemesi Ana Bilim Dalı'ndaki tüm hocalarıma, araştırma görevlilerine ve laboratuvar çalışanlarına;

Tüm çalışmalarım boyunca her şeyiyle yanımda olan ve destekleyen eşim, Aysun GARAN'a, kızlarım İdil ve Beren'e ve;

Tüm hayatım süresince, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen babam Mahmut GARAN'a, annem Mevlüde GARAN'a ve kardeşim Sibel ÖLMEZ'e teşekkür ederim.

Ocak 2010 Yunus Serdar GARAN

(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 İle 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 Malzemeler 7
2.1.1. Agregalar 7
2.1.1-a. Kum 7
2.1.1-b. Çakıltaşı 7
2.1.2. Katkı Maddeleri 9
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 10
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) 11
BÖLÜM 3. DENEY SONUÇLARI **13**
3.1. Betonun Elastik Özellikleri ile İlgili Deney Sonuçları 13
3.2. Betonun Elastik Olmayan Özellikleri ile İlgili Deney Sonuçları 13
BÖLÜM 4. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ **17**
4.1. Taze Betonun Özellikleri 17
4.2. Betonun Elastik Davranışları İle İlgili Sonuçların İrdelenmesi 18

4.2.1. Genel bilgiler 18
4.2.2. Agrega konsantrasyonun betonun elastisite modülüne etkisi 19
4.2.3. Agrega konsantrasyonunun betonun süreksizlik sınırındaki poisson oranına etkisi 20
4.3. Elastik Olmayan Özelliklere Ait Deney Sonuçlarının Değerlendirmesi 20
4.3.1. Agrega konsantrasyonunun süreksizlik sınırına etkisi 22
4.3.2. Agrega konsantrasyonunun çözülme sınırına etkisi 23
4.3.3. Agrega konsantrasyonunun basınç mukavenmetine etkisi 23
4.4. Yarılma -Çekme Deneylerine Ait Deney Sonuçlarının İrdelenmesi 25
4.4.1.Agrega konsantrasyonunun betonun çekme şekil değiştirme kapasitesine ve yarma - çekme dayanımına etkisi 25
BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE İLERİ ÇALIŞMALAR İÇİN ÖNERİLER 29
5.1. Taze Beton Özellikleri İle İlgili Deney Sonuçları 29
5.2. Betonların Elastik Davranışlarıyla İlgili Deney Sonuçları 29
5.3. Betonların Elastik Olmayan Davranışlarıyla İlgili Deney Sonuçları 29
5.4. İleri Çalışmalar için Öneriler 30

KAYNAKLAR 31
EKLER 34
ÖZGEÇMİŞ 37

SEMBOL LİSTESİ

σ	: Normal gerilme (N/mm^2)
ε	: Eksenel şekil değiştirme
ε_g	: Yanal şekil değiştirme
BÇ	: Çakıltaşı agrega
τ	: Kırılma şekil değiştirme işi (N/mm^2)
b	: Bağıl 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

Sayfa

Çizelge 2.1: Sakarya Kumunun Granülometrik Bileşimi, Özgül Ağırlık, Birim Ağırlık Değerler....7

Çizelge 2.2: Çakıltaşı I ve II Özellikleri....8

Çizelge 2.3: Çakıltaşının Granülometrik bileşimi....8

Çizelge 2.4: Çakıltaşının gronülometrisi....8

Çizelge 2.5: Betondaki agrega yüzdeleri....9

Çizelge A.1: Çakıltaşı agrega kullanılan betonlarda gerçek 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 14

Şekil 4.1. Agrega konsantrasyonu Çökme ilişkisi 15

Şekil 4.2. Taze beton birim ağırlığının Agrega hacim konsantrasyonu ile değişimi . 16

Şekil 4.3. Agrega Konsantrasyonunun Betonların Elastisite Modülü ile değişimi 17

Şekil 4.4. Süreksizlik Sınırındaki Poisson Oranının Agrega Konsantrasyonuna Göre Değişimi 18

Şekil 4.5. Süreksizlik Sınırının Agrega Konsantrasyonu ile değişimi 20

Şekil 4.6. Kırmataş Agregasında Çatlak Başlangıcı 20

Şekil 4.7. Çözülme Sınırının Agrega Konsantrasyonu ile Değişimi 21

Şekil 4.8. Basınç Dayanımının Agrega Konsantrasyonu ile Değişimi 22

Şekil 4.9. Çekme Şekil Değiştirme Kapasitesinin Agrega Hacim Konsantrasyonu İle Değişimi 24

Şekil 4.10. Agrega konsantrasyonunun Yarma –Çekme dayanımı ile ilişkisi 25

ÇAKIL AGREGALI BETONLARDA AGREGA KONSANTRASYONUNUN BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

ÖZET

Tez çalışmasında çakıltaşı 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. Elastisite modülü deneysel yöntemlelerle bulundu.

Bu çalışmada üretilen Çakıltaşı serileri, %0, %20, %40, %60, %73 agrega konsantrasyonlarıyla üretildi. Agrega konsantrasyonu %0 - %73 arasında değişirken, su/çimento oranı ve en büyük tane çapı sabit tutuldu. Su/çimento oranı 0,28, en büyük agrega çapı 22,0 mm alındı. Bütün testlerde standart silindir numuneler kullanıldı. Silindir için yükseklik 300mm, çap 150 mm 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.

Agrega konsantrasyonundaki artışın süreksizlik sınırındaki Poisson oranını düşürdüğü görüldü. Agrega konsantrasyonundaki artışın yarma-çekme dayanımını artırdığı gözlendi. Betonda agrega konsatrasyon artışıyla basınç dayanımındaki birim kısalmalarını ve kırılma şekil değiştirme işlerini azalttığı bulundu.Çakıltaş agregalı betonlarda agrega hacim konsantrasyonu arttıkça basınç dayanımı azalmaktadır.

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

SUMMARY

In this study, by using gravel aggregate the affects of aggregate – volume ratio on concrete's elastic end unelastic mechanial 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 Gravel aggregate 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 capacity:

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 agrega matris temas yüzeyi sistemdeki en zayıf bölgedir [2,3,4]. Betona herhangi bir yük uygulamasından önce bağ çatlaklarının mevcudiyeti betonun zayıf bölgesini oluşturduğundan, agrega katılması ile elde edilen heterojenlik bağ çatlamasına fazlalaşmasına 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 özelikler 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 sekil değiştirme enerjisine bağlıdır. Çatlama, a) Çimento hamurunun göçmesi, b) Agreganın kırılması, c) Agrega-çimento 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 agrega konsantrasyonu arttıkça çatlak başlaması için gerekli kırılma şekil değiştirme enerjisi azalır.

Johnston'a göre basınç mukavemetinin %50-70'inde mikro çatlama baslar. 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 agrega taneleri arasında bağ çatlakları köprü kurmaya baslar [11]. Bache ve Cristensen'e göre basınç mukavemetinin yaklaşık %85'inde çatlama agrega-matris temas yüzeyinde ve boşluklarda oluşur, daha yüksek gerilme düzeylerinde çatlaklar harç içine yayılır. [11].

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 [12]

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

Zaitsev ve Witmann, normal betonlarda maksimum yükteki sekil değiştirmenin %70'inde, çatlak ağının oluşmaya başladığını yüksek mukavemetli betonlarda ise

basınç mukavemetindeki şekil değiştirmenin %90'ina 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 sekil değiştirme diyagramlarından yararlanarak bu kritik gerilme değerini saptamışlardır. Araştırmacılar betonun gerilme-sekil değiştirme diyagramını Log σ - Log e seklinde 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 karsı 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. Agrega özeliklerinin ve agrega konsantrasyonunun betonun mukavemetine etkisi ile ilgili çalışmalar

Jones, R. ve Gatfieid [20]'e göre tek eksenli basınca maruz kalmış numune içinde uygulanan yüke paralel çatlaklar basınç mukavemetinin %50-75'ine eşit yük altında baslar. 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 sekil ve yüzey özelliklerinden etkilenir. Beton mukavemeti üzerine su/çimento oranının etkisi aynı

araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Su/çimento oranının artısıyla agreganın betonun mukavemeti üzerindeki etkisi giderek azaltır. Agrega 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 hidratasyonu kullanmışlardır. Basınç ve çekme dayanımının, porozitenin azalmasıyla arttığını hidratasyon 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 çatlaması üzerine strain gauge tekniği kullanarak eğilme, basınç, tek eksenli çekme deneyleri yapmıştır. Çalışmasında betonun çatlaması esnasındaki şekil değiştirme ye 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 [24] çalışmasında çakıllı betonlarda "iri agrega/kum" oranının kritik gerilme değerlerine etkisini 0'dan 2'ye kadar incelemiştir. Akman,: iri agrega/kum oranı 0'dan l'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, daha sonra çakıl iri agregasının yerine kalker kırma taşı 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.

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

- Çatlaklar agrega-matris temas yüzeyinden başlamakta,
- Betonun kırılması ise matrisin çatlaması ve göçmesi ile olur,

Ayrıca, Hobbs Agrega konsantrasyonundaki artmanın basınç dayanımını arttırdığını ileri sürmüştür.

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

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

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

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

d) Çekme ve basınç hallerinde elastisite modülünün agrega 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 agrega ve sertleşmiş çimento hamuru fazlarından oluşan bir kompozit malzeme olarak ele alınabilir. Bundan dolayı betonun davranışı, agreganın 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 agrega 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 araştırmada 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 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 araştırmada çakıl taşı 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	0.8
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 %1in altında çamurlu madde içerdiği saptandı.

2.1.l-b. Çakıltaşı

İstanbul Çorlu yöresinden getirilen çakıl taşlar kullanılmıştır. Çakıltaşlarının özellikleri Çizelge 2.2'de verildi. Çakıltaşının granülometrik bileşimi ise Çizelge 2.3'de verildi.

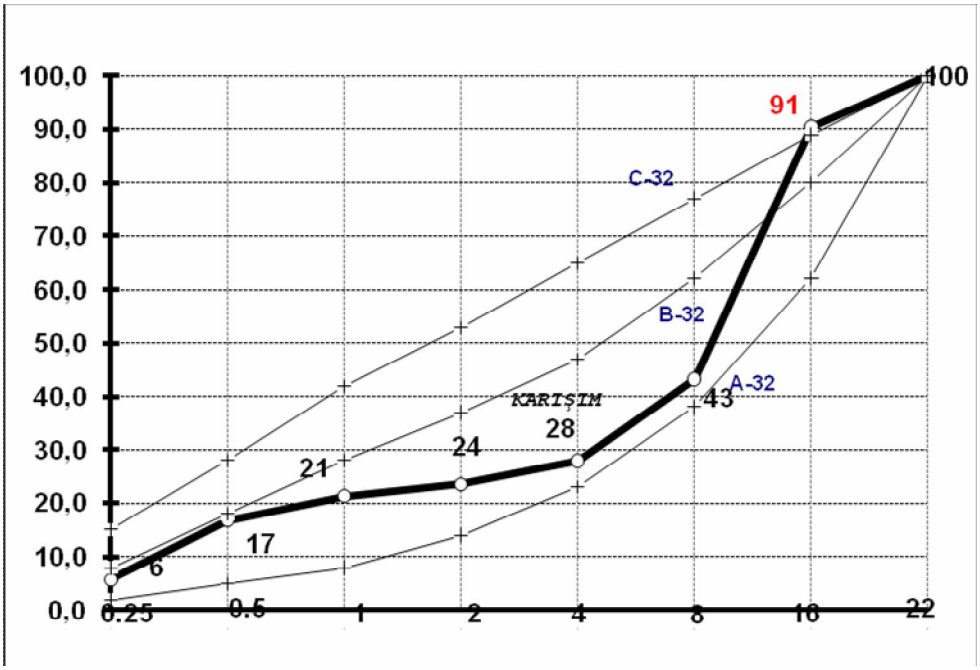
Çizelge 2.2: Çakıltaşların özellikleri

Agrega Cinsi	Birim Ağırlık (kg/m3)	Özgül Ağırlık (kg/m3)	Ağırlıkça su emme (%)
Çakıltaşı 1	1610	2560	1.1
Çakıltaşı 2	1570	2580	1.1

Çizelge 2.3: Çakıltaşların gronülemetrik bileşimi

Agrega Cinsi	Elekten geçen ,% Elek göz boyutları, mm							
	20	16	8	4	2	1	0.5	0.25
Çakıl 1	100	100	38	6	0	0	0	0
Çakıl 2	100	65	0	0	0	0	0	0

Çizelge 2.4: Çakıltaşı granülometrisi



2.1.2. Katkı maddeleri

Karışımların bazılarında Glenium 51 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 yapılan deneylerin sonuçları aşağıda verilmektedir.

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. En büyük agrega boyutu sabit ve 22 mm. Aynı cins çimento. Su/çimento oranı sabit (0,28) kabul edildi.

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	Çakıltaşlı betonlarda		
	0-4	4-16	8 -22
Kum (%)	25	-	-
Çakıltaşı (%)	-	48	27

2.2.3. Üretilen karışım serileri

Üretilen beton serileri aşağıdaki gibidir:

1-Çakıltaşlı Beton Serisi : BÇ00, BÇ20, BÇ40, BÇ60, BÇ73

Yukarıdaki notasyonda ilk harf olan B: betonu, bunu izlayen harf Ç: Çakıltaşı agregasını, rakamlar agrega hacim konsantrasyonunu ifade etmektedir.

Karışımların 1 m^3 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 karıştırmak 55 dm^3 kapasiteli betoniyer kullanıldı. Agrega konsantrasyonu 0,73 ma/m^3 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 doygun su içine konuldu. 28.güne kadar kür havuzunda kalan kum içeren basınç numunelerine harç başlıklar yapıldı ve 28. günde sertleşmiş beton deneyleri uygulandı.

2.2.5. 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 Özelikleri ile İlgili Deney Sonuçları

Numunelerde ölçülen şekil değiştirmelerden yararlanarak elastisite modülü (E) ve Poisson oranı (y) 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 sonuçlan, gerilme-şekil değiştirme eğrisinde basınç mukavemetinin 1/3'ine kadar bu yaklaşımdan yararlanarak doğrusal korelasyonla eğim hesaplanarak elde edildi. Ölçü hatalarının önemli olacağı düşünülen bazı lineerlikten sapan ilk noktalar değerlendirmede göz önüne alınmadı.

3.2. Betonların Elastik Olmayan Özelikleri ile İlgili Deneylerin Sonuçları

Betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisinin elastik olmayan kısmının da önemli olduğu bilinmektedir [18]. Bu araştırmada betonların elastik olmayan davranışına geniş yer verilmiştir. Bütün betonlarda süreksizlik sınırı (σD), çözülme sınırı (σL) ve basınç mukavemeti (fc) 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, σ gerilmesinde veya *PD* yükünde betonun süreksizlik sınırına vardığı kabul edildi [2].

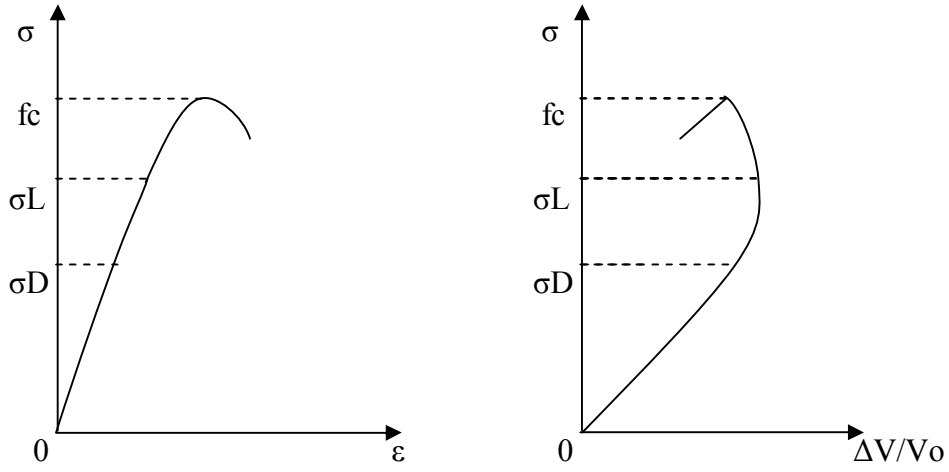
Çözülme sınırı hacimsel birim şekil değiştirmeden yararlanılarak bulunmaktadır. Bu kritik gerilme değerinden itibaren betonun basınç yükleri altında hacmi artmaya başlar. Kısa süreli tek eksenli basınç altında ε boyuna ve **εg** enine şekil değiştirmeleri gösterdiğine göre ve daha yüksek mertebe terimler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

$$\Delta V / V0 = \varepsilon - 2\,\varepsilon g \qquad \textbf{(3.1)}$$

Deneyle elde edilen (ε) ve εg değerleri (3.3) denkleminde yerine konarak birim hacimsel şekil değiştirmeler (D*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

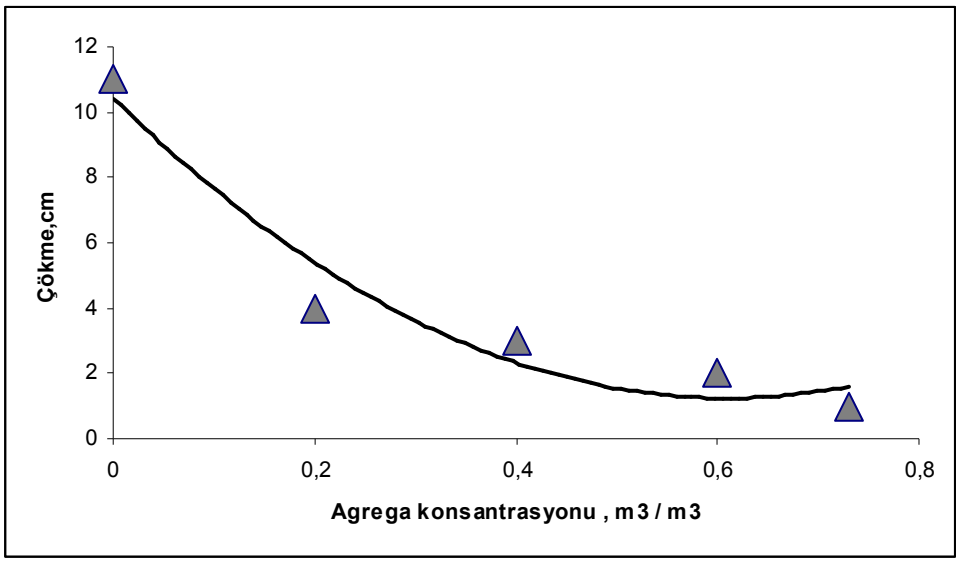


Şekil 3.1. Betonun gerilme-şekil değiştirme ve gerilme-hacimsel şekil değiştirme Eğrilerinin şematik gösterimi.

BÖLÜM 4. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

4.1. Taze Beton Özellikleri

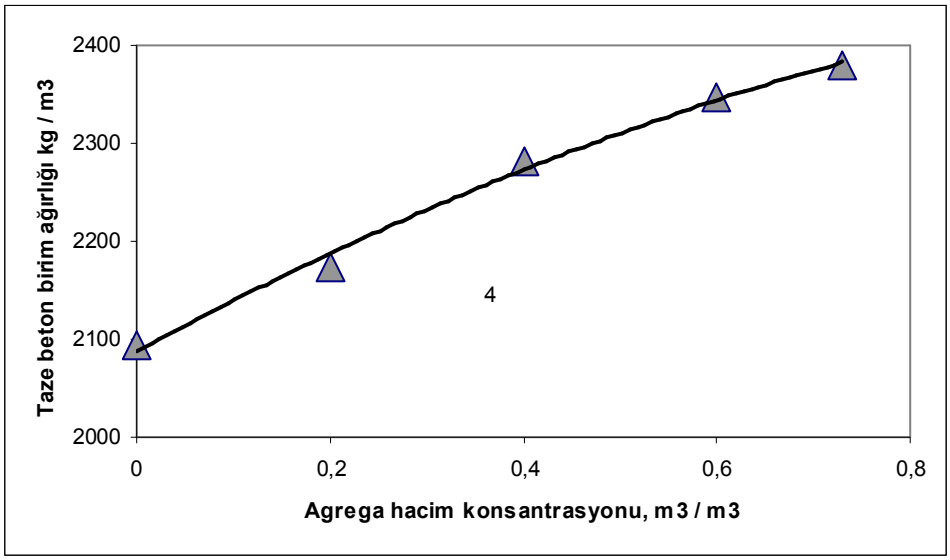
Çalışmada agrega konsantrasyonunu % 0 ‘dan %73 ‘e kadar değişik oranlarda kullanarak üretilen betonlarda, işlenebilme özellikleri ek tablo ve şekil 4.1 incelendiğinde, agrega içermeyen betonların akıcı beton, değişken agrega oranları kullanılarak üretilen betonların yüksek oranda agrega içerenler ise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



Şekil 4.1: Agrega Konsantrasyonu Çökme ilişkisi

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 Agrega hacim konsantrasyonu ile değişimi

4.2. Betonun Elastik Davranışı ile İlgili Sonuçlarının İrdelenmesi

4.2.1. Genel bilgiler

Betonun elastisite modülünün bilinmesi beton, betonarme ve öngerilmeli 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.

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

b) Başlangıç teğeti modülü (Tanjant modülü):Bu modül gerilme-deformasyon eğrisinin başlangıçtaki teğetinin eğimidir. Gerilmelerin küçük olması halinde özellikle basınç mukavemetinin üçte birinden küçük olduğu taktirde başlangıçtaki teğetin gerilme-deformasyon eğrisi ile çakıştığı pratik bakımdan kabul etmek mümkündür [32].

c) Dinamik elastisite modülü: Gerilme-deformasyon eğrisinin şekli,uygulanan gerilme hızı ile birlikte değişmektedir.Genel olarak iki dakika süren bir deneyde

elde edilen gerilme-deformasyon eğrisinin 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.

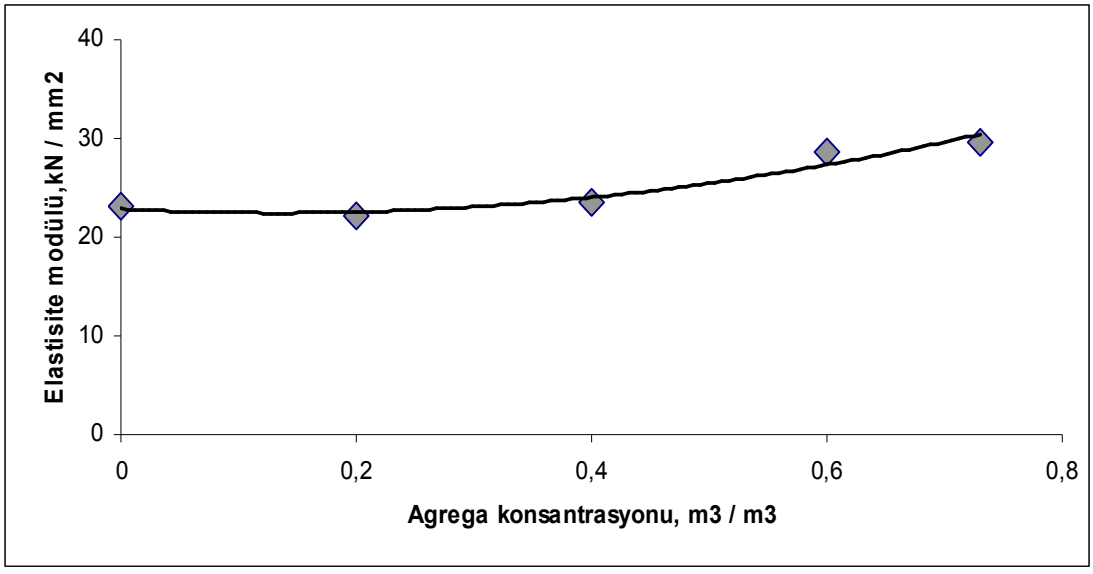
4.2.2. Agrega konsantrasyonunun betonun elastisite modülüne etkisi

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; Çakıltaş 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.

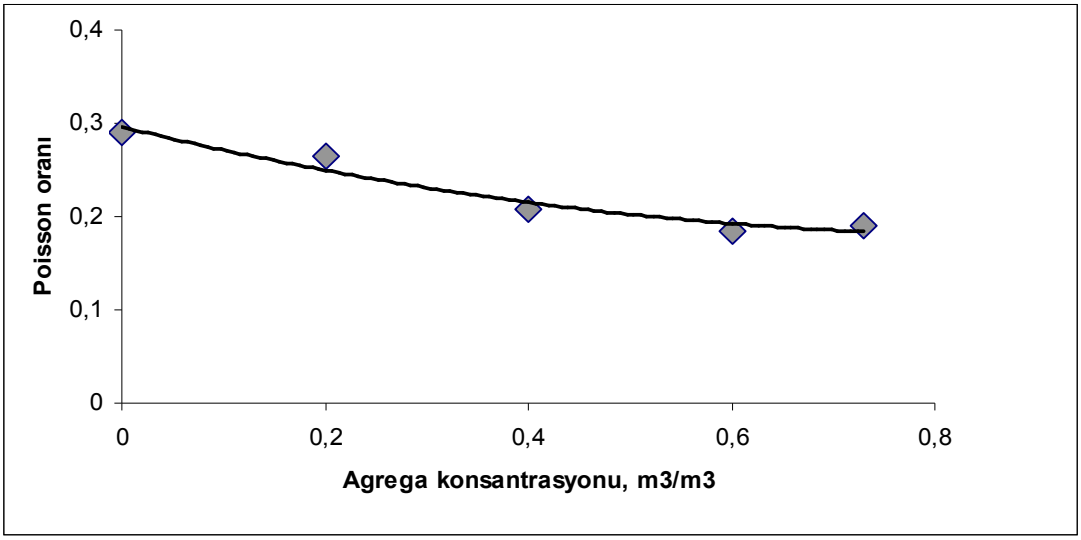
Ayrıca normal agregalı olan betonlarda agrega konsantrasyonun artması ile elastik modülünün artması Stock ve arkadaşlarının [26] iddialarını doğrulamaktadır.



Şekil 4.3: Agrega Konsantrasyonunun Betonların Elastisite Modülü ile değişimi

4.2.3. Agrega konsantrasyonun betonun süreksizlik sınırındaki poisson oranına etkisi

Şekil 4.4'de süreksizlik sınırındaki poisson oranının, çakıltaş malzemesi ile üretilen betonlarda agrega konsantrasyonuna göre değişimi görülmektedir.



Şekil 4.4: Süreksizlik Sınırındaki Poisson Oranının Agrega Konsantrasyonuna Göre Değişimi

Şekilden görüldüğü üzere çakıltaşlı serilerde süreksizlik sınırındaki poisson oranları, agrega konsantrasyonları arttıkça azalmaktadır. Benzer davranış bu betonların basınç dayanımı agrega 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 çakıltaş agregalarının çimento hamuru içerisinde konsantrasyonunun artışı süreksizlik sınırındaki poisson oranını azaltmaktadır.

4.3. Elastik Olmayan Özelliklere Ait Deney Sonuçlarının Değerlendirmesi

Bu bölümde elastik olmayan davranışa ait genel bilgiler verildi. Daha sonra çakıltaş 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 ısıl 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.

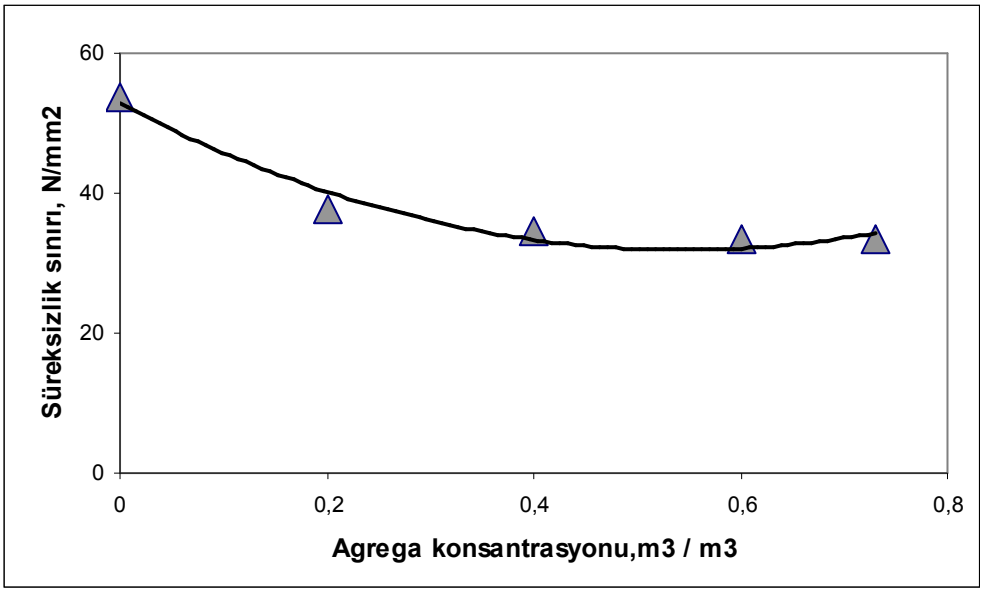
ii) Sertleşmiş harç veya sertleşmiş çimento hamurunda gözlenen harç veya çimento hamuru çatlakları.

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 çatların 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 lieneerlikten 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]

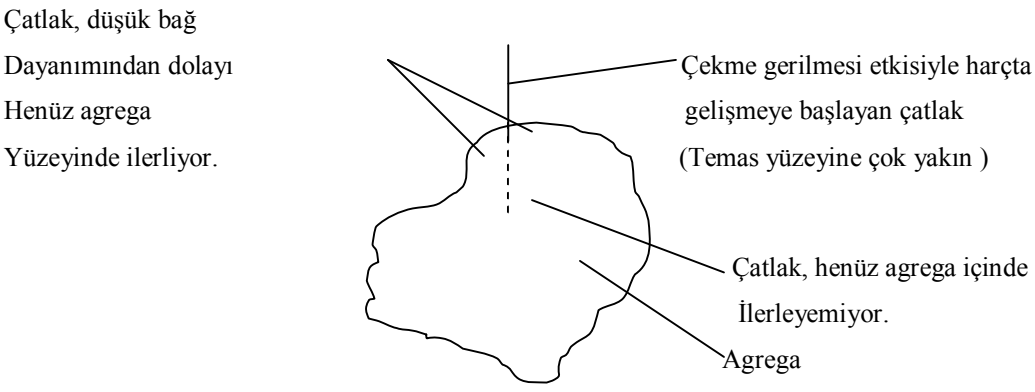
Betonun taşıma gücü, sürekli çatlak ağı aşırı derecede büyüdüğü zaman azalır. Normal betonlarda agrega tanelerinin kırılmasına az rastlanır. Çünkü agregaların mukavemeti, sertleşmiş çimento hamurunun mukavemetinden büyüktür [35].

4.3.1.Agrega konsantrasyonunun süreksizlik sınırına etkisi



Şekil 4.5: Süreksizlik Sınırının Agrega Konsantrasyonu ile değişimi

Çakıllı betonlarda çatlak oluşumu aşağıdaki şemada gösterildiği gibi varsayılabilir.



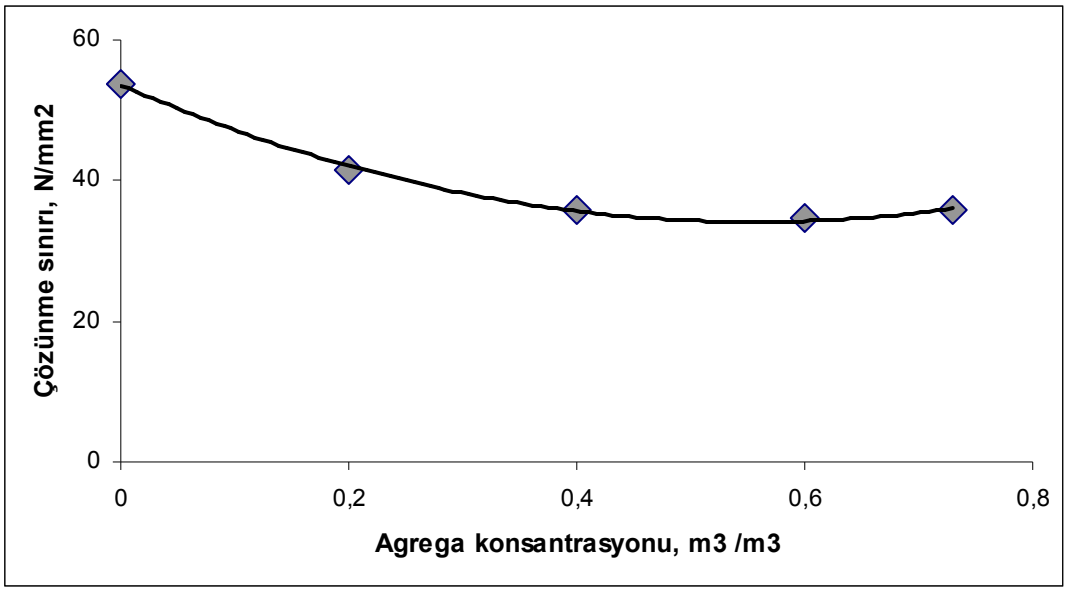
Şekil 4.6: Çakıl Agregasında Çatlak Başlangıcı

Bu betonlarda agrega konsantrasyonu arttıkça gerilme yığılmaları artmaktadır. Diğer taraftan, çakıl-harç temas yüzeyinin zayıflığından dolayı iri agregaların civarında oluşan çatlaklar, bu agregaların çevresini kolayca dolaşmakta ve bu yüzden çatlak ilerleyişi durdurulamamaktadır. Çatlak ilerleyişinin olası mekanizması Şekil 4.6 'da görülmektedir.

Sonuç olarak çatlak durdurucu etki olmadığından, agrega konsantrasyonu arttıkça gerilme yığılmaları artmakta, süreksizlik sınırı düşmektedir.

4.3.2. Agrega konsantrasyonunun çözülme sınırına etkisi

Şekil 4.7. ve Ek çizelge den incelendiğinde agrega konsantrasyonu süreksizlik sınırı ilişkisine benzer sonuçları agrega konsantrasyonu çözülme sınırı ilişkisinde de görmekteyiz. Buna göre;



Şekil 4.7: Çözülme Sınırının Agrega Konsantrasyonu ile Değişimi

Çakıltaşı agregası kullanılarak üretilmiş betonlarda agrega konsantrasyonu arttırılırsa bu betonların çözülme sınırlarında azalma olmaktadır.

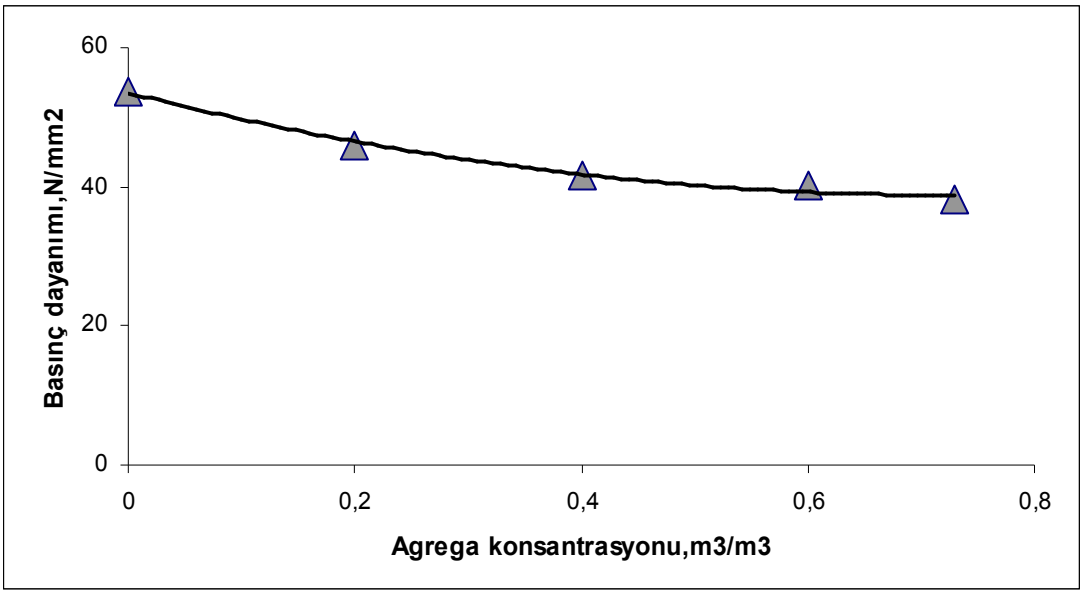
Burada da süreksizlik sınırında anlatılan etkiler sürmektedir. Bu yüzden çözülme sınırının agrega konsantrasyonu ile değişimi süreksizlik sınırınkine benzemektedir.

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 alışıla 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].



Şekil 4.8: Basınç Dayanımının Agrega Konsantrasyonu ile Değişimi

Şekil 4.8 ‘den de görüldüğü gibi agrega konsantrasyonu arttıkça, basınç dayanımları düşmektedir.

4.4. Yarılma - Çekme Deneylerine Ait Deney Sonuçlarının İrdelenmesi

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

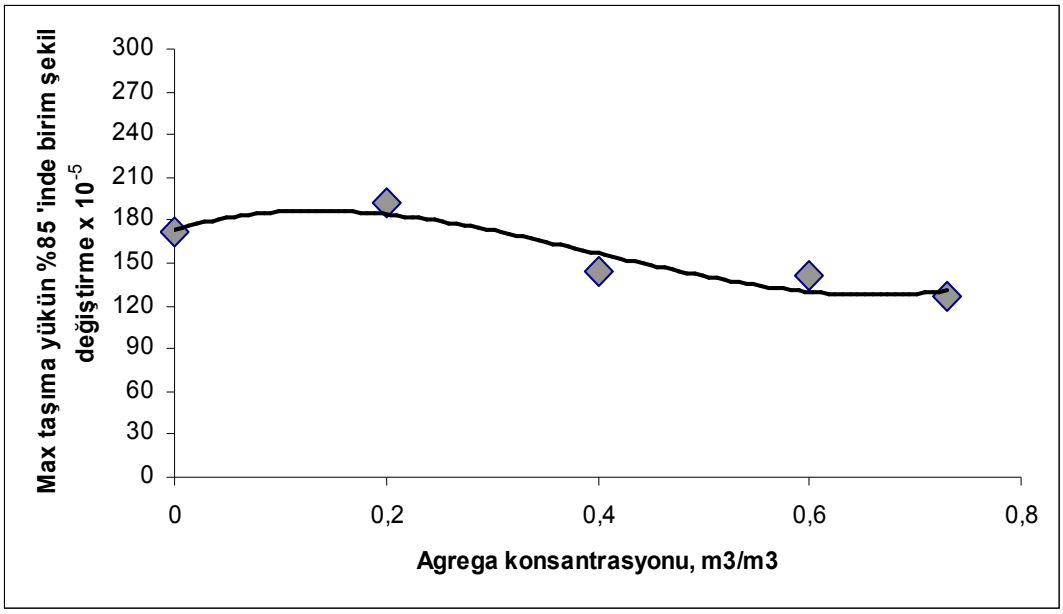
Tek eksenli çekme, yarılma-çekme, iki eksenli çekme ve açılma modunda yükleme durumlarında çekme çatlakları ilginç olmaktadır. Betonun çekme dayanımı, kayma dayanımından düşük olduğundan bir deney numunesinde çekme gerilmesini ihmal edilerek kayma gerilmesi dağılımını ön plana çıkarmak olanaksızdır [36,37]. Betonda çekme şekil değiştirmesi 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 [38].Çekme – şekil değiştirme kapasitesi sabit bir değer olmayıp deney tekniğine, deney tipine,agrega granülometrisine, geyç uzunluğuna, su /çimento oranına, kür koşullarına, betonun yaşına ve yükleme durumuna bağlı olarak etkilenmektedir[36,37].Çekme halinde deney sonuçları Oladapo[39], Welsh [40] ve Domone[41] tarafından elde edilmiş ve çeşitli kür şartlarında, yaşlarında,betonun dayanımı ve çekme-şekil değiştirme kapasitesi arasında iyi bir ilişki olduğu da belirtilmiştir.

Houghton [42]'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 değiştirmesi 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 değiştirmesi 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 değiştirmesi azalmaktadır.

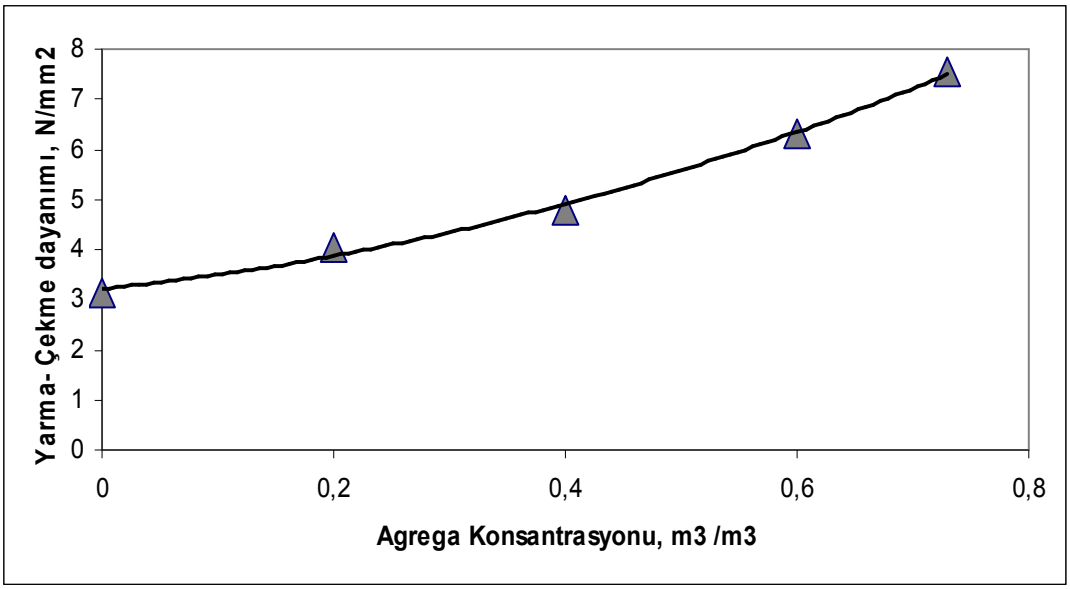
Agrega konsantrasyonunun betonun çekme –şekil değiştirme kapasitesine etkisi ile ilgili çalışmanın Kaplan [23] tarafından da yapılmıştır. Kaplan betonun yarma çekme

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 4.9 yarma-çekme dayanımı ve agrega hacim konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Çakıltaşı 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. Artan kaba agrega konsantrasyonuyla daha yüksek kesme dayanımları elde edilmiştir. Bu karışımlarda çatlaklar gerilme durumuna bağlı olarak agrega içerisinde ilerlemeye zorlanmaktadır ve kaba agreganın gerilme dayanımının matris yapısının dayanımından büyük olmasından dolayı, daha yüksek bölünme gerilimi elde edilmiştir [43].



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) Çakıltaş agregalı betonlarda agrega hacmi arttıkça bu betonların işlenebilirliği azalmaktadır.
ii) Çakıltaş agregalı betonlarda agrega hacmi arttıkça taze ve sertleşmiş betonun birim ağırlığı artmaktadır.
iii) Çakıltaş agregalı betonlarda agrega hacmi arttıkça, kompasite artmaktadır.

5.2. Betonların Elastik Davranışlarıyla İlgili Deney Sonuçları

i) Agrega konsantrasyonu arttıkça çakıltaş agregalı betonlarda Elastisite modulü artmaktadır.
ii) Agrega konsantrasyonu arttıkça çakıltaş agregalı betonlarda süreksizlik sınırındaki poisson oranı azalmaktadır.

5.3. Betonların Elastik Olmayan Davranışlarıyla İlgili Deney Sonuçları

i) Çakıltaş agregalı betonlarda agrega konsantrasyonu arttıkça süreksizlik sınırı azalmaktadır.
ii) Çakıltaş agregalı betonlarda agrega konsantrasyonu arttıkça çözülme sınırı azalmaktadır.
iii) Çakıltaş agregalı betonlarda agrega hacim konsantrasyonu arttıkça basınç dayanımı azalmaktadır.
iv) Çakıltaş agregalı betonlarda agrega hacim konsantrasyonu arttıkça betonların basınç mukavemetlerindeki birim kısalmalar 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 kullanılaraktan 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 Davranışmdaki 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, Compositıon and Some Properties of Lightweight Aggregates Used For Concrete in the USSR. *Proceedings of the First International Congress on Lightweigth 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. Maltohra, 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 Sysmposium 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'HERMİTE, 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 Contrete. *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] ROBİNSON, G.S., 1965: Methods of Detecting the Formation and Propagation of Microcracks in Conrete. *The Structure of Concrete and its Behaviour Under Load: Proceedings of an International Conference,* London, September.

[19] BACHE, H.H., 1967: Strength of Structural Lightgweight 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 Initation 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 Strustures", 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 Agrega Granülometresinin Etkileri. *Teknik Rapor* No.44.

[35] POPOVICS,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 Capasity 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 Tenzile Strain Capacity in Contrete Submitted for publication.

[39] BROOKS, J.J., Bennet, E.w. and Owens. P.L., 1987: Influence of Lighweight Aggregates on Thermal Strain Capacity of Concrete. *Magazine of Concrete Researche,* Vol.39, No.139, pp.60-72.

[40] OLADAPO, I.O., 1964: Cracking and Failure in Plain Concrete Beams. *Magazine of Concrete Researche*, Vol. 16, No. 47,pp. 103-110.

[41] WELC, G.B., 1966: Tensile Strains in Unreinfoced Concrete Beams. *Magazine of Concrete Researche*, Vol. 18. 54, pp. 9-18.

[42] DAMONE, P.L., 1974: Uniaxial Tensile Creep and Failure of Concrete. *Magazine of Concrete Researche*, 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: Çakıltaşı agrega kullanılan betonlarda gerçek malzeme miktarları ve taze beton özellikleri

Çizelge A.2: Sertleşmiş betonun özellikleri

ÇİZELGE A.1 Çakıltaşı agreaga kullanılan betonlarda gerçek malzeme miktarları ve taze beton özellikleri									
Malzeme	**Çimento**	**Su**	**Katkı***	**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 / m3	Kg / m3	(mm)	(%)	(kg/m^3)
BÇ00	1643	460	0	0	0	0	11	1,8	2093
BÇ20	1295	363	0	130	247	139	7	2,5	2174
BÇ40	968	271	0	262	498	282	7	1,6	2282
BÇ60	631	177	1,5	385	730	414	23	2	2347
BÇ73	405	101	6,6	465	882	500	1	2,8	2379
*Süper akışkanlaştırıcı									

ÇİZELGE A.2 Sertleşmiş betonun özellikleri									
Malzeme	**Elastisite Modülü (kN/mm²)**	**Süreksizlik sınırı (N/mm²)**	**Çözünme sınırı (N/mm²)**	**Basınç Dayanımı (N/mm²)**	**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/mm²)	**Yarma çekme dayanımının %85 'inde şekil değiştirme**
BÇ00	23,1	53,8	53,8	53,8	1,00	1,00	0,29	**3,15**	171,3
BÇ20	22,2	37,6	41,6	45,9	0,82	0,91	0,264	**4,05**	192,1
BÇ40	23,5	34,7	35,8	41,7	0,83	0,86	0,208	**4,8**	144,1
BÇ60	28,7	33,3	34,7	40,2	0,83	0,86	0,185	**6,3**	140,6
BÇ73	29,7	33,3	35,7	38,2	0,87	0,93	0,19	**7,55**	126,8

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Yunus Serdar GARAN
Doğum Yeri ve Tarihi: Diyarbakır 1975
Adres: Ekinciler Cad. No: 1 Kavacık/ İstanbul
Lisans Üniversite: İTÜ İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği