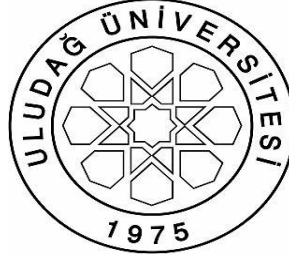




**LİFLİ BETONLARDAKİ BOYUT ETKİSİNİN
DENEYSEL VE ANALİTİK YÖNTEMLER İLE
BELİRLENMESİ**

Hamidullah MİRKHEEL



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LİFLİ BETONLARDAKİ BOYUT ETKİSİNİN DENEYSEL VE ANALİTİK
YÖNTEMLER İLE BELİRLENMESİ**

Hamidullah MİRKHEEL

Prof. Dr. Babür DELİKTAŞ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

BURSA-2018

TEZ ONAYI

Hamidullah MİRKHEEL tarafından hazırlanan “Lifli Betonlardaki Boyut Etkisinin Deneysel Ve Analitik Yöntemler İle Belirlenmesi” adlı tezini çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman :Prof. Dr. Babür DELİKTAŞ

Başkan: Prof. Dr. Babür DELİKTAŞ
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



Üye: Doç. Dr. Hakan T. TÜRKER
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



Üye: Doç. Dr. Şeref Doğuşcan AKBAŞ
Bursa Teknik Üniversitesi
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım



Prof. Dr. Ali BAYRAM

Enstitü Müdürü

15.12.2018

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

13/08/2018



Hamidullah MİRKHEEL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

LİFLİ BETONLARDAKİ BOYUT ETKİSİNİN DENEYSEL VE ANALİTİK YÖNTEMLER İLE BELİRLENMESİ

Hamidullah MİRKHEEL

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Babür DELİKTAŞ

Boyut etkisi betonun kırılma mekaniğinin önemli bir uygulamadır. Yapılan çalışmaların çoğu tek eksenli gerilme durumunu veren numuneler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında harç karışımlarının çekme dayanımı üzerinde boyut etkisi irdelenmiştir. Harç karışımlarının çekme dayanımını bulmak için kiriş eğilme deneyleri ve üçgen plaka yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmada iki farklı su çimento oranına sahip farklı boyutlarda lifli ve lifsiz harç numuneleri hazırlanmıştır. Yapılan çalışmada su çimento oranı 0.42 lifsiz, 0.62 lifsiz ve 0.42 lifli olan üç farklı sınıfta harç dizayn edilmiştir. Su çimento oranı 0.42 lifli harca hacimce %1 oranında çelik lif katılarak toplamda 7 farklı boyutta 63 adet üçgen plaka ve 6 farklı boyutta 54 adet kiriş eleman numuneleri üretilmiştir. Üretilen numuneler 28 gün standart koşullarda kür edilmiştir. Kür edilen numuneler üzerinde dört noktalı eğilme ve üçgen plaka deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen veriler üzerinde boyut etkisi analizleri yapılmış boyut etkisi eğrileri çizilmiştir. Deneysel çalışmaların sonucu olarak üçgen plaka yöntemi harç karışımlarının çekme dayanımı üzerindeki boyut etkisini ve kırılma davranışını belirlemede alternatif bir deney yönetimi olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Üçgen Plaka Yöntemi, İki Eksenli Çekme Dayanımı, Boyut Etkisi, Çelik Lif, Su Çimento Oranı, Mekanik Özellikleri
2018, ix + 119 Sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

DETERMINING THE SIZE EFFECT OF FIBER REINFORCED CONCRETE BY EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL METHODS

Hamidullah MIRKHEEL

Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Babür DELİKTAŞ

The size effect is an important application of concrete fracture mechanics. Many studies have been done on the size effect in recent years. Most of studies carried out by using specimens under uniaxial tensile stress. In this study, the size effect on the tensile strength of mortar mixtures were investigated. The beam bending test and the triangular plate method were used to find size effect on the tensile strength of the mortar mixtures.

In the study, the mortar mixtures specimens having two different water-cement ratios and various sizes in the absence and presence of steel fibers were prepared. For this purpose, three classes of mortar having water-cement ratios of 0.42 and 0.62 without steel fiber and water-cement ratio of 0.42 containing steel fibers were designed. By adding 1%, steel fiber by volume to the mortar mixture with water cement-ratio 0.42, a total of 117 specimens that have 63 triangular plate with 7 different sizes and 54 beams with 6 different sizes were prepared. The specimens were cured in standard conditions for 28 days. Four-point bending and triangular plate tests were conducted, on the cured specimens. The size effect analyses were made on the data obtained from the experiments and size effect curves were established. As results of the experimental study, it is concluded that the triangular plates testing method can be used as an alternative test to determine the size effect on the tensile strength and fracture behavior of the mortar mixture in both cases of presence and absence of steel fibers.

Key Words: Triangular Plate Method, Biaxial Tensile Strength, Size Effect, Steel Fiber, Water Cement Ratio, Mechanical Properties

2018, ix + 119 Pages

TEŞEKKÜR

Bu tezin yürütücülüğünü yapan ve çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve yardımlarını esirgemeyen hocam Prof. Dr. Babür DELİKTAŞ'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Bilimsel ve teorik çalışmalarımda her zaman kıymetli bilgilerini esirgemeyen sayın Doç. Dr. Hakan T. TÜRKER'e, yapı malzeme bilgilerini benden esirgemeyen sayın Dr. Öğr. Üyesi Ali Mardani Aghabaglou'na, deneysel çalışmalar sırasında tecrübelerini benimle paylaşan sayın Arş. Gör. Süleyman ÖZEN'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Deneysel çalışmalarda kullanılan çelik lif temini için başta Mehmet YERLİKAYA olmak üzere Bekaert İzmit Kord Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye, çimento ve standart kum temini için Yüksek İnşaat Mühendisi Ahmet Hilmi Aytaç olmak üzere Bursa Beton A.Ş.'ye teşekkürlerimi sunuyorum.

Deneysel çalışmalar sırasında beni destekleyen sevgili meslektaşlarım İnşaat Müh. Waheed RASEKH'e, İnşaat Müh. Faiz Agha SHAREEF'e ve İnşaat Müh. Bashir Ahmad MAYAR'a emek ve katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunuyorum.

Bana inanan, akademik yaşamın zorluklarına rağmen beni her zaman cesaretlendiren, maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen, çalışma ve azmini takdir ettiğim sevgili abim Amanullah Chamto'na ve aileme şükranlarımı sunuyorum.

Hamidullah MİRKHEEL

13/08/2018

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Beton İlgili Genel Bilgiler	8
2.1.1. Lifli Betonlar ve Özellikleri	8
2.2. Kırılma Mekaniği.....	13
2.2.1. Gevrek Kırılma Tipleri.....	14
2.2.2. Betonda Kırılma Mekaniği.....	16
2.3. Boyut Etkisi	17
2.3.1. Bazant'ın Boyut Etkisi Yasası.....	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM	24
3.1. Malzeme ve Karışımlar.....	24
3.2. Numunelerin Adet ve Boyutları.....	27
3.3. Numunelerin Adlandırılması	28
3.4. Deney Düzeneği.....	30
3.4.1. Eğilme Deneyi.....	30
3.4.2. Küp Basınç Deneyi.....	31
3.4.3. Silindirik Yarmada Çekme Deneyi	32
3.4.4. Üçgen Plakaların Deney Düzeneği.....	34
3.4.5. Kiriş Elemanların Deney Düzeneği.....	37
3.5. ÜP Numunelerin Deney Sonuçları	40
3.5.1. Su Çimento Oranı 0.42 LS ÜP Numunelerin Boyut Etkisi.....	45
3.5.2. Su Çimento Oranı 0.62 LS ÜP Numunelerin Boyut Etkisi.....	47
3.5.3. Su Çimento Oranı 0.42 LL ÜP Numunelerin Boyut Etkisi.....	49
3.6. KE Numunelerin Deney Sonuçları	51
3.6.1. Su Çimento Oranı 0.42 LS KE Numunelerin Boyut Etkisi.....	56
3.6.2. Su Çimento Oranı 0.62 LS KE Numunelerde Boyut Etkisi.....	58
3.6.3. Su Çimento Oranı 0.42 LL KE Numunelerde Boyut Etkisi.....	60
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	62
4.1. LS ile LL Numunelerde Göçme Yüklerin Karşılaştırması	62
4.2. Numunelerin Boyut Etkisinde Lineer Regresyonlar.....	67
4.2.1. ÜP Numunelerin Boyut Etkisinde Lineer Regresyonlar	67
4.2.2. ÜP Numunelerin Logaritmik Eğrileri	69
4.2.3. KE Numunelerin Boyut Etkisinde Lineer Regresyonlar.....	74
4.3. Numunelerin Çatlak Haritaları	77
5. SONUÇ	84

KAYNAKLAR	86
EKLER.....	89
EK 1. Üçgen Plaka Numunelerin Yük-Deplasman Grafikleri	90
EK 2. Kiriş Eleman Numunelerin Yük-Deplasman Grafikleri	101
EK 3. Deney numunelerin döküm, kütleme ve kırma aşamaları	110
ÖZGEÇMİŞ	119



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklamalar
A	Lineer Regresyon Eğimi
a	Çatlak uzunluğu
B	Malzeme özelliğine bağlı sabit
C	Lineer Regresyon Doğrusunun Düşey eksen
C_n	kestiği nokta
C_0	Uygunluk katsayısı
d_a	Ampirik sabit
D	En büyük agrega boyutu
D_0	Malzemenin karakteristik boyutu
D_b	Yapı biçimine bağlı sabit katsayı
E	Lineer regresyon sonucu bulunan malzeme sonuçlarıdır
H	Elastisite Modülü
f_c	Kiriş yüksekliği
f_t	Betonun basınç dayanımı
f_r	Betonun çekme dayanımı
I	Lineer regresyon sonucu bulunan malzeme sonuçlarıdır
$\bar{I}$	Eylemsizlik momenti
I_p	Eylemsizlik yarıçapı
L	Malzeme karakteristik uzunluğu
L_s	Kirişlerin uzunluğu
P_u	Kirişlerin mesnetler arası açıklığı
P_{cr}	Maksimum göçme yükü
t	Kritik yük
β	Üçgen plakanın et kalınlığı
ε	Gevreklik katsayısı
σ_N	Birim şekil değiştirme
σ_0	Göçme gerilmesi
	Lineer regresyon sonucu bulunan malzeme sonuçlarıdır

Kısaltmalar	Açıklamalar
AÇY	Akma Çizgi Yöntemi
İEE	İki Eksenli Eğilme
KE	Kiriş Eleman
LEKM	Lineer Elastik Kırılma Mekaniği
ÜP	Üçgen Plaka
ÜPY	Üçgen Plaka Yöntemi
SEL	Size Effect Law / boyut etkisi yasası
LS	Lifsiz
LL	Lifli
LVDT	Linear Variable Displacement Transducer

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. ÜPY’de mesnetleme platformu	7
Şekil 2.2. ÜP numune yükleme gösterimi.....	7
Şekil 2.3. Çelik lif tipleri (Yazıcı 2010).....	10
Şekil 2.4. Çelik liflerin şekilleri (TS 10513 1992).....	11
Şekil 2.5. Mod I kırılma gösterimi	14
Şekil 2.6. Mod II kırılma gösterimi.....	15
Şekil 2.7. Mod III kırılma gösterimi	15
Şekil 2.8. Beton deforme halinde çeşitli karakteristiklerini gösteren gerilme-şekil değiştirme grafiği (Eser 2002)	16
Şekil 2.9. Type 1 boyut etkisi ifadesinin grafik gösterimi (Çağlar 2014).....	20
Şekil 2.10. Type 2 boyut etkisinin logaritmik eğri gösterimi (Çağlar 2014)	22
Şekil 3.1. Karışımlar için yayılma deneyi yapılışı göstermektedir	26
Şekil 3.2. Kullanılan çelik lif geometrisi	27
Şekil 3.3. (a) Numunelerin kalıplardan çıkartılması, (b) Numunelerin adlandırılması ..	29
Şekil 3.4. Standart kiriş eğilme deney yapılışı göstermektedir	31
Şekil 3.5. Standart küp basınç deney yapılışını göstermektedir	32
Şekil 3.6.S/C oranı 0.42 lifsiz standart silindir yarmada çekme deney yapılışı göstermektedir.....	33
Şekil 3.7. S/C oranı 0.62 lifsiz standart silindir yarmada çekme deney kırılmış durumu göstermektedir.....	33
Şekil 3.8. ÜP Yöntemi ÜPY (Türker 2015).....	35
Şekil 3.9. ÜP yükleme ve mesnetleme platformlar gösterimi.....	35
Şekil 3.10. Üçgen plaka numunelerin deney düzeneği	36
Şekil 3.11. ÜP numunelerin mesnetleme ve yükleme detayları.....	36
Şekil 3.12. Kiriş elemanın kırma düzeneği gösterimi	37
Şekil 3.13. Kiriş elemanında LVDT yerleştirmesini gösterimi	37
Şekil 3.14. Kiriş numunelerin deney düzeneği	38
Şekil 3.15. Kiriş numunelerin deney yükleme ve mesnetleme detayları göstermektedir	39
Şekil 3.16. Su çimento oranı 0.42 lifsiz ÜP numunelerin, a) R1, b) R2, c) R3, d) R4, e) R5, f) R6 ve g) R7 nolu üçgen numunelerin yük-deplasman grafikleri.....	41
Şekil 3.17. Su çimento oranı 0.62 lifsiz ÜP numunelerin, a) R1, b) R2, c) R3, d) R4, e) R5, f) R6 ve g) R7 nolu üçgen numunelerin yük-deplasman grafikleri.....	42
Şekil 3.18. Su çimento oranı 0.42 lifli ÜP numunelerin, a) R1, b) R2, c) R3, d) R4, e) R5, f) R6 ve g) R7 nolu üçgen numunelerin yük-deplasman grafikleri.....	43
Şekil 3.19. Su Çimento oranı 0.42 lifsiz ÜP elemanlarda karakteristik boyuta bağlı maksimum yük kapasiteleri.....	46
Şekil 3.20. Su Çimento oranı 0.42 lifsiz ÜP elemanlarda boyut etkisi.....	46
Şekil 3.21. Su Çimento oranı 0.62 lifsiz ÜP elemanlarda karakteristik boyuta bağlı maksimum yük kapasiteleri.....	48
Şekil 3.22. Su Çimento oranı 0.62 lifsiz ÜP elemanlarda boyut etkisi.....	48
Şekil 3.23. Su Çimento oranı 0.42 lifli ÜP elemanlarda karakteristik boyuta bağlı maksimum yük kapasiteleri.....	50
Şekil 3.24. Su Çimento oranı 0.42 lifli ÜP elemanlarda boyut etkisi	50
Şekil 3.25. Su çimento oranı 0.42 lifsiz KE numunelerin, a) R1, b) R2, c) R3, d) R4, e) R5 ve f) R6 nolu kiriş numunelerin yük-deplasman grafikleri	52

Şekil 3.26. Su çimento oranı 0.62 lifsiz KE numunelerin, a) R1, b) R2, c) R3, d) R4, e) R5 ve f) R6 nolu kırış numunelerin yük-deplasman grafikleri	53
Şekil 3.27. Su çimento oranı 0.42 lifli KE numunelerin, a) R1, b) R2, c) R3, d) R4, e) R5 ve f) R6 nolu kırış numunelerin yük-deplasman grafikleri	54
Şekil 3.28. Su Çimento oranı 0.42 lifsiz KE elemanlarda karakteristik boyuta bağlı maksimum yük kapasiteleri.....	57
Şekil 3.29. Su Çimento oranı 0.42 lifsiz KE elemanlarda boyut etkisi.....	57
Şekil 3.30. Su Çimento oranı 0.62 lifsiz KE elemanlarda karakteristik boyuta bağlı maksimum yük kapasiteleri.....	59
Şekil 3.31. Su Çimento oranı 0.62 lifsiz KE elemanlarda boyut etkisi.....	59
Şekil 3.32. Su Çimento oranı 0.42 lifli KE elemanlarda karakteristik boyuta bağlı maksimum yük kapasiteleri.....	61
Şekil 3.33. Su Çimento oranı 0.42 lifli KE elemanlarda boyut etkisi.....	61
Şekil 4.1. ÜP numunelerde LS ile LL ortalama göçme yüklerdeki artış grafiği.....	62
Şekil 4.2. KE numunelerde LS ile LL ortalama göçme yüklerdeki artış grafiği	63
Şekil 4.3. Su çimento oranı 0.42 lifsiz ÜP numunelerin lineer Regresyonu.....	68
Şekil 4.4. Su çimento oranı 0.62 lifsiz ÜP numunelerin lineer Regresyonu.....	68
Şekil 4.5. Su çimento oranı 0.42 lifli ÜP numunelerin lineer Regresyonu.....	69
Şekil 4.6. Su çimento oranı 0.42 lifsiz ÜP numunelerin logaritmik eğri.....	73
Şekil 4.7. Su çimento oranı 0.62 lifsiz ÜP numunelerin logaritmik eğri.....	73
Şekil 4.8. Su çimento oranı 0.42 lifli ÜP numunelerin logaritmik eğri	74
Şekil 4.9. Su çimento oranı 0.42 lifsiz KE numunelerin lineer regresyonu.....	75
Şekil 4.10. Su çimento oranı 0.62 lifsiz KE numunelerin lineer regresyonu.....	75
Şekil 4.11. Su çimento oranı 0.42 lifli KE numunelerin lineer regresyonu.	76
Şekil 4.12. Su çimento oranı 0.42 lifsiz KE numunelerin çatlak ve kırma haritaları.....	78
Şekil 4.13. Su çimento oranı 0.62 lifsiz KE numunelerin çatlak ve kırma haritaları.....	79
Şekil 4.14. Su çimento oranı 0.42 lifli KE numunelerin çatlak ve kırma haritaları.....	80
Şekil 4.15. S/C oranı 0.42LS ÜP'ların çatlak haritaları	81
Şekil 4.16. S/C oranı 0.62LS ÜP'ların çatlak haritaları	82
Şekil 4.17. S/C oranı 0.42LL ÜP'ların çatlak haritaları.....	83

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Bazı liflerin geometrik, fiziksel ve mekanik özellikleri (Kozak 2013).....	9
Çizelge 2.2. Lifli betonun, yalın betona göre performansındaki ortalama artış yüzdeleri (Yazıcı 2010).....	13
Çizelge 3.1. Su çimento oranı 0.42LS karışım miktarları.....	25
Çizelge 3.2. Su çimento oranı 0.62LS karışım miktarları.....	25
Çizelge 3.3. Su çimento oranı 0.42LL karışım miktarları.....	26
Çizelge 3.4. ÜP'ların boyut ve adetleri.....	27
Çizelge 3.5. Kiriş elemanların boyut ve adetleri.....	28
Çizelge 3.6. S/C oranlara göre malzemelerin eğilme dayanımları.....	31
Çizelge 3.7. S/C oranlara göre malzemelerin küp basınç dayanımları	32
Çizelge 3.8. S/C oranlara göre malzemelerin silindir yarmada çekme dayanımları.....	34
Çizelge 3.9. ÜP numunelerin mesnetleme ve yükleme detayları.....	36
Çizelge 3.10. KE numunelerin mesnetleme ve yükleme detayları	38
Çizelge 3.11. Üçgen plaka numunelerin göçme yükleri	40
Çizelge 3.12. Su çimento oranı 0.42 lifsiz ÜP numunelerin ortalama göçme yük ve gerilmeleri	45
Çizelge 3.13. Su çimento oranı 0.62 lifsiz ÜP numunelerin ortalama göçme yük ve gerilmeleri	47
Çizelge 3.14. Su çimento oranı 0.42 lifli ÜP numunelerin ortalama göçme yük ve gerilmeleri	49
Çizelge 3.15. Kiriş eleman numunelerin göçme yükleri.....	51
Çizelge 3.16. Su çimento oranı 0.42 lifsiz KE numunelerin ortalama göçme yük ve gerilmeleri	56
Çizelge 3.17. Su çimento oranı 0.62 lifsiz KE numunelerin ortalama göçme yük ve gerilmeleri	58
Çizelge 3.18. Su çimento oranı 0.42 lifli KE numunelerin ortalama göçme yük ve gerilmeleri	60
Çizelge 4.1. ÜP Numunelerde su çimento oranı 0.42LS ile 0.42LL ortalama göçme yüklerdeki artış yüzdeleri.....	64
Çizelge 4.2. ÜP Numunelerde su çimento oranı 0.62LS ile 0.42LL ortalama göçme yüklerdeki artış yüzdeleri.....	64
Çizelge 4.3. ÜP Numunelerde su çimento oranı 0.62LS ile 0.42LL ortalama göçme yüklerdeki artış yüzdeleri.....	65
Çizelge 4.4. KE Numunelerde su çimento oranı 0.42LS ile 0.42LL ortalama göçme yüklerdeki artış yüzdeleri.....	65
Çizelge 4.5. KE Numunelerde su çimento oranı 0.62LS ile 0.42LL ortalama göçme yüklerdeki artış yüzdeleri.....	66
Çizelge 4.6. KE Numunelerde su çimento oranı 0.62LS ile 0.42LS ortalama göçme yüklerdeki artış yüzdeleri.....	66
Çizelge 4.7. ÜP numunelerin lineer regradasyonlar sonuçları.....	69
Çizelge 4.8. Su çimento oranı 0.42 lifsiz ÜP numunelerde lineer regradasyondan elde edilen sonuçlar	70
Çizelge 4.9. Su çimento oranı 0.62 lifsiz ÜP numunelerde lineer regradasyondan elde edilen sonuçlar	71
Çizelge 4.11. KE numunelerin lineer regradasyonlar sonuçları	76

1. GİRİŞ

Beton gibi yapılarda her zaman göçme sünek bir şekilde istenilmektedir. Ancak beton homojen olmayan bir malzeme olduğundan dolayı hep gevrek geçer, sünek malzemeler göçmesinde taşıma gücüne ulaştığında artan şekil-değiştirmelerle yük hemen hemen sabit kalabilirken gevrek göçmede ise taşıma gücüne ulaşıldıktan sonra yükte ani bir azalma meydana gelir. Davranışları ve güvenliği olumsuz etkileyen bu ani yük azalmasının nedenlerinden biri de boyut etkisidir (Çağlar 2014).

Betondan meydana gelen yapılarda göçme analizi yapılırken birçok lineer ve lineer olmayan yaklaşımlar kullanılmaktadır. Kırılma mekaniğine göre Betonarme bir yapıyı analiz edebilmek için ilk kullanılan malzemenin kırılma parametrelerinin belirlenmesidir. Neme ve zamana bağlı olarak betondaki mekanik sabitlerin değişmesi ve boyut etkisinden dolayı, Lineer Elastik Kırılma Mekaniği, kırılma parametrelerinin tespitinde yetersiz kalmıştır. Bunun nedeni çatlağın ucunda yer alan diğer malzemelere göre daha büyük bir yer işgal eden kırılma süreci bölgesinin var olmasıdır. Beton gibi malzemelerde kırılma parametrelerini belirlemek için araştırmacılar tarafından birçok lineer olmayan kırılma mekaniği modelleri önerilmektedir. Bu lineer olmayan yaklaşımlardan en önemlisi Bazant 1984'te beton dayanım üzerindeki boyut etkisini inceleyerek betonda daha büyük bir kırılma süreç bölgesi olduğunu tespit edip ve boyut etkisi kanunu (SEF) geliştirmiştir (Çetin ve İnce 2016).

Lifli betonlar değişik yükler altında gösterdiği davranış ve performans açısından normal betondan çok farklı bir özelliğe sahip olan malzemelerdir. Bu davranış farklılığı, beton içerisinde iyi bir şekilde dağılan lifler, bu lifler çatlakların ilk oluşum anında çatlak sonlarındaki gerilmeleri kendi üstlerine ya da sağlam alanlara aktararak işlerini yerine getiriyorlar. Böylece betonu yıkılmaya götürecek olan çatlakların oluşumu ve büyümesi engellenir ve kırılma için daha büyük yükler gerekmektedir. Betonda kullanılan liflerinden en yaygın olan çelik, naylon ve karma liflerin, basınç dayanımı ve elastisite modülü gibi mekanik özellikleri pek etkilememesine rağmen, eğilme-çekme dayanımı, süneklik ve tokluk gibi mekanik özelliklerinde çok yüksek oranda artış meydana gelir bu ve hatta kırılma enerjisini 70 kata kadar yükselttiği bilinmektedir (Koç ve Birinci 2012).

Bu çalışmada dört nokta yükleme ve üçgen plaka yöntemin altında lifli ve lifsiz olmak üzere iki farklı su imento oranının her birinde üçer adet numune olmak üzere, 7 farklı boyutta toplamda 63 adet üçgen plakalar ve 6 farklı boyutta toplamda 54 adet kiriş numuneler, toplam 117 adet deney numunelerin sonuçları verilmiştir. Buna ek olarak betonun çekme, basınç ve elastisite modülünü bulmak üzere 2 farklı su imento oranlarına sahip ve her birinden üçer adet olmak üzere basınç, yarmada çekme ve kiriş eğilme deneylerinin numunelerin sonuçları verilmiştir. Deney numuneleri çentiksiz olduğundan dolayı her bir su imento oranının kiriş ve üçgen plaka numunelerin sonuçlarında lifsiz ile lifli karışımların göçme yüklerin karışılaştırma ve Bazant'ın önerdiği yaklaşık boyut etkisi eşitliği tip 1 ile analizleri edilerek analizlerin sonuçları karışılaştırılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

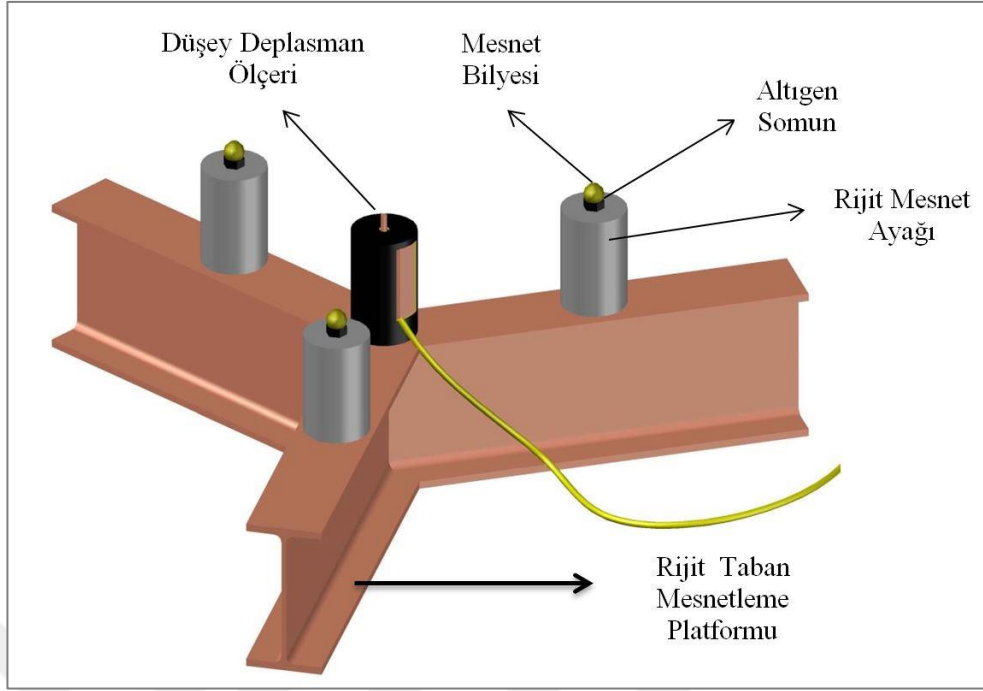
Çekme dayanımı, çimento esaslı malzemelerle üretilmiş yapısal elemanların analiz ve tasarımında dikkate alınan önemli bir malzeme özelliğidir (Denneman vd 2011). Genellikle doğrudan çekme, yarmada çekme, eğilmede (üç veya dört nokta yükleme) çekme testleri gibi tek eksenli doğrudan veya dolaylı çekme test düzenekleri kullanılarak belirlenmektedir. Tek eksenli doğrudan çekme testi daha doğru ve güvenilir sonuçlar sağlasa da, dolaylı testler (silindir yarma ve eğilmede çekme testleri) doğrudan tek eksenli çekme deneyinin yapma zorluğu nedeniyle, çimento bazlı malzemelerin çekme dayanımını belirlemek için yaygın olarak kullanılır (Mallat ve Alliche 2011, Li ve Wong 2013). Bilindiği üzere tek eksenli doğrudan çekme deneyi düzeneğinin hazırlanması ve deneyin gerçekleştirilmesi çok zordur. Bu deney çekme test düzeneği gerektirir, kullanılan aparatlara ve yükleme işlemine karşı çok hassastır (Katsaragakisi 1987). Silindir yarma deneyi ile belirlenen çekme dayanımı, doğrudan çekme dayanımı değerlerine yakın olup, %5-12 kadar daha yüksek olduğu bilinmektedir. Buna karşın, kavramsal olarak silindir yarma testi sadece çekme gerilmelerinin olduğu bir test yöntemi olmayıp, numunede çekme ve basınç gerilmeleri birlikte oluşmaktadır (Katsaragakisi 1987). Üç veya dört nokta eğilme deneylerinde kırışlar kırılana kadar yüklemeye maruz bırakılmaktadır. Kopma modülü olarak bilinen tabandaki teorik maksimum çekme dayanımı; çatlama kesitinde eğilme gerilmesinin doğrusal bir dağılımı olduğu varsayılarak hesaplanır. Bu şekilde belirlenen eğilmede çekme gerilmesi, doğrudan tek eksenli çekme gerilmesi değerlerinden önemli ölçüde yüksektir. Bu artışa muhtemelen gerilme alanındaki betonun doğrusal olmayan gerilme-deformasyon özellikleri neden olmaktadır (Wu vd 2012). Literatürde tek eksenli doğrudan çekme gerilmesi; eğilmede çekme dayanımı değerinin 0,735 katı olduğu belirtilmiştir (Wright 1952). Doğrudan çekme ve eğilmede çekme deneylerinde çatlama durumundaki gerilme tek eksenlidir. Silindir yarma deneyinde ise çift eksenlidir, fakat kırılma anında üç asal gerilmenin sadece bir tanesi çekme gerilmesidir (Zi vd. 2014). Silindir yarma deneyinde de kırılma yüzeyinde oluşan gerilme tek eksenlidir. Buna karşın beton yapı elemanlarının çoğu, kaplama, döşeme gibi ince plaka formundaki yapılar; geometrileri nedeniyle çok eksenli gerilme durumuna maruzdurlar. Örneğin, beton yollar için teker yükü nedeniyle oluşan gerçek gerilme durumu neredeyse birbirine eşit ve iki eksenli olup tek eksenli olmaktan çok uzaktır. Buna karşın, çimento

esaslı malzemelerin çok eksenli davranışları üzerine yapılan çalışmalar; yüksek maliyet, gerçekleştirme zorluğu (Zi vd. 2008, Kim vd. 2013). Ve çoklu kontrol sistemlerine olan ihtiyaç (Kim vd 2013, Kupfer vd 1969) nedeniyle çok azdır (Zi vd 2008, Kupfer vd 1969). Bu nedenle Kim vd. (Kim vd. 2013), karmaşık deney düzenekleri kullanmadan betonun iki eksenli çekme dayanımı belirleyebilmek için basit bir iki eksenli eğilme deneyi yöntemi önermiş, bu yöntemi İki Eksenli Eğilme (İEE) yöntemi olarak adlandırmıştır. Bu metot üç çelik bilye-üstü-piston (piston-on-three-balls) testi, üç çelik bilye-üstü-bilye (ball-on-three-balls) testi, çember-üstü-çember (ring on-ring) testi ve çember-üstü-bilye (ball-on-ring) testi gibi cam ve seramik malzemelerin iki eksenli özelliklerini araştırmak için kullanılan test metotlarından esinlenmiştir (Zi vd 2008, Lee vd 2004, Muzyka 2002, Danzer vd 2007). Zi vd (Zi vd. 2008). Belirtilen test metotlarını çimento esaslı malzemeler için uygulanabilir hale getirmiş ve önerdiği deney yönteminde disk şeklinde numune kullanılması gerektiğini belirtmiştir. Seramik malzemelerin çekme dayanımını belirlemek için kullanılan çember-üstü çember (ring-on-ring) test yönteminde kullanılan numunelerin et kalınlığı düşük, narinliği (çap/numune et kalınlığı) yüksektir. İEE yönteminde, disk numune et kalınlığı, disk numune yarıçapı ve et kalınlığı/mesnet bilye yarıçap oranı çimento esaslı numuneler için uygun hale getirilmiştir. Beton numunenin geometrik şekli, plak teorisinde tanımlanan birbirine iki-eksenli çekme davranışını sağlayacak şekilde seçilmiştir. Kirane vd. (Kirane vd. 2014) geliştirmiş oldukları M7 mikro düzlem programını doğrulamak için İEE yöntemini kullanmışlardır. İki eksenle oluşan çekme gerilmelerini deney süresince eşit tutabilmek için, yük numune üzerine düzgün yayılı olarak uygulanmalı ve numune yüzeyi tamamen pürüzsüz olmalıdır. Kim vd. (Kim vd. 2013) numune yüzeyini pürüzsüzleştirmek ve eksantrisiteyi ortadan kaldırmak için; numunenin alt ve üst kısmında çemberle numune arasına dairesel kauçuk katmanı ve 0.3 mm kalınlığında dört adet teflon tabaka yerleştirmişlerdir. Buna ek olarak, çember ile temas eden numune yüzeyinde yük dağılımının dengeli olmasını sağlamak amacıyla basınç dayanımı deneyine tabi tutulacak silindir numunelere yapılması gereken kükürt başlık benzeri yüksek mukavemetli alçı hamuru ile başlık uygulanmıştır. Kim vd. (Kim vd. 2013) tarafından önerilen İEE metodunda numunelerin test edilebilmesi için teflon ve kauçukların yerleştirilmesi, çemberde yükleme boyunca düzgün yayılı yük etkiltilmesini sağlamak büyük çaba gerektirmektedir. Bahsedilen deneysel düzenlemeler

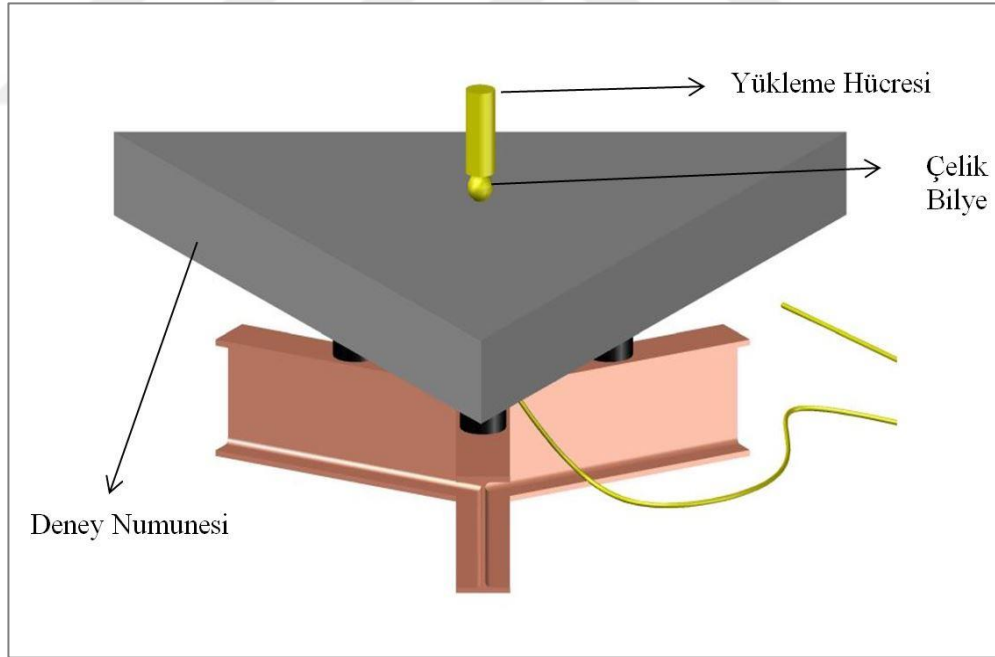
ve numune hazırlığı yapılmış olsa dahi eksantrisite problemi, yükleme ve mesnet halkaları kullanımı nedeniyle tam olarak çözülemeyebilir. Çimento esaslı malzemelerin iki eksenli çekme dayanımlarını belirlemek için Kim vd. (Kim vd. 2013) tarafından önerilen İEE deney yöntemi yerine üç bilye-üstü-bilye yöntemi (ball-on-three-ball) test kullanımı daha uygun görünmektedir. Üç bilye-üstü-bilye test yöntemi kullanılması durumunda karmaşık test düzenekleri, numune başlık yapmak ve kauçuk veya teflon levha kullanma gibi numune hazırlıklarına gerek yoktur. Buna karşın, üç bilye-üstü-bilye test yönteminde kenar çatlak oluşumuna karşı, mesnet bilyeleri numunenin kenarından belirli bir mesafede iç tarafta yerleştirilmelidir. Mesnet bilyeleri disk numunesinin belirli bir miktar iç kısmına yerleştirildiğinde, disk numunenin yarıçapı ve mesnetlerdeki üç adet çelik bilyelerin halka şeklinde entegre edilmesiyle elde edilen dairenin yarıçapı arasındaki farklılık çekme dayanımı hesaplamalarında dikkate alınmalıdır. Bu iki eksenli gerilme durumunu dikkate alan çekme dayanım test metotlarında çekme dayanımını veren formüller, elastik plak teorisinden yararlanılarak çıkartılmışlardır. Önerilen formüller birçok değişkene bağlı, uzun, karmaşık formüllerdir.

Bu çalışma kapsamında çimento esaslı malzemelerin iki eksenli eğilmede çekme dayanımını tespit etmek amacı ile yeni bir metot olan Üçgen Plaka Yöntemi (ÜPY) geliştirilecektir. ÜP Yönteminin ana fikrini ilk olarak (Türker 2015) tarafından önerilen yöntem bu yöntemde, numuneler üçgen plakalar şeklinde hazırlanmaktadır. Üçgen şeklindeki plaka numunelere yük üçgen numunenin ağırlık merkezinden uygulanmakta ve mesnetler üçgenin kenarortaylarının üçte biri noktalarına yerleştirilmektedir (Şekil 2.1-2.2). Bu yolla, mesnetler numune kenarlarından uzak tutularak kenarlarda meydana gelen ezilme kırılmalarının oluşumunun önüne geçilmiştir. Deney numunesinin, düzeneğinin ve çekme dayanımı hesaplanması için türetilen denklemin basitliği iki eksenli çekme dayanımı için önerilen yöntemin önemli avantajlarındanıdır. Önerilen yöntemin ilk çalışması analitik olarak Akma Çizgileri Yöntemi (AÇY) (Kennedy vd Goodchild 2004) tarafından kullanılarak yapılmıştır. Üçgen plakanın yüklemede kapasitesine ulaştığı noktada çatlak oluşum durumu plakanın mekanizma durumu olarak değerlendirilip çekme mukavemeti formülü çıkartılmıştır. Şekil 2’de önerilen tasarımın şematik görünümü ve deney aşaması gösterilmektedir. Deney prosedürünün basit olması, numune yüzey düzgünlüğü toleransının göreceli olarak daha iyi oluşu ve

numune hazırlanmasının kolaylığı ÜPY'nin en önemli avantajlarıdır. Test sonunda, göçme yükü ölçülür, yükleme noktasından üçgenin kenarlarının orta noktalarına uzanan çatlak çizgilerine dik doğrultularda asal çekme gerilmeler oluşur ve bu gerilme iki eksenli çekme dayanımı olarak tanımlanır. Türker yaptığı çalışmada kısıtlı sayıda harç deneyleri yapmıştır. Farklı basınç dayanımında harçlarla, farklı basınç dayanımında beton sınıfları ile çok sayıda numunede bu deneylerin yapılması ihtiyacı vardır. Türker yaptığı çalışmada numune boyutlarıyla ilgili bir çalışma yapmamış ve numune boyutları ile ilgili bir tavsiyede bulunmamıştır. ÜPY de kullanılacak numunelerin boyut etkisi, yöntemin sağlıklı sonuç vermesi için gerekli numune boyutlarının, boyut oranlarının belirlenmesi gerekmektedir. Türker harçların çekme dayanımını hesaplamak için önerdiği formülü, akma çizgileri yöntemini kullanarak elde etmiştir. Akma çizgileri yöntemi, sünek elemanlarda kullanılan plastik teoriye dayalı bir yöntemdir. Türker bu yöntemi sünek olmayan gevrek bir elemanda kullanmıştır. Türker'in sınırlı sayıda yaptığı testlerden elde ettiği sonuçlar önerdiği formülle uyumlu çıkmıştır. Sünek malzemeler için kullanılan akma çizgilerinin gevrek malzemeler için, özelde Üçgen Plaka Yöntemi için uygulanabilirliğinin detaylı irdelenme ihtiyacı vardır. Altında güçlü teori olan, birçok pratik uygulama alanı olan plastik teoriye dayalı akma çizgileri yönteminin harç ve beton gibi gevrek malzemelerde de uygulanabilirliğini göstermek literatüre önemli katkı sağlayacaktır.



Şekil 2.1. ÜPY’de mesnetleme platformu



Şekil 2.2. ÜP numune yükleme gösterimi

2.1. Beton İlgili Genel Bilgiler

Günümüzde betonun daha etkin ve verimli olarak değişik alanlarda kullanma ihtiyacı, beton teknolojisinde yeni gelişmelerin oluşmasına sebep olmuştur. Bu gelişmelerden birisi de lif katkılı betonların üretilmesidir. Betonun zayıf özelliklerini olumlu yönde değiştirerek iyileştirilmesi ve güçlendirilmesi için beton içerisine çeşitli yöntemlerle değişik miktarlarda, belirli boy/çap (narinlik oranı) oranına sahip olan metalik, polimerik, mineral veya tabii yapıdaki malzemeler, lifler (fiber) katılarak lifli betonlar üretilmiştir.(Topçu vd., 2005, Kozak 2013).

2.1.1. Lifli Betonlar ve Özellikleri

Agrega, çimento ve su gibi temel bileşenler ile üretilmiş kompozit bir malzeme olan betonun özelliklerini değiştirerek iyileştirmek şartıyla taze beton içerisine çeşitli yöntemlerle değişik miktarlarda liflerin katılmasıyla elde edilen betona lifli beton adı verilir. Lifli beton, dağılmış gelişi güzel yönlenmiş lif ihtiva eden betondur. Lifin beton içerisinde gelişi güzel dağılımına rağmen lifli beton yük altında homojen bir malzeme gibi davranır (Anon 2016). Genel olarak lif doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır. Doğal kaynaklardan alınan (hayvan, bitki, mineral vs. gibi) haliyle doğrudan kullanılan maddelere doğal lif denir. Yapay lif ise istenen özellikleri sağlayacak biçimde özel olarak geliştirilen ve bu amaçla insan yapımı olarak üretilen maddelere denir (Anon 2015). Doğal lifler ise Kerpiç, Tuğla ve Harçta; Saman çöpü, Keçi kılı, At yelesi ve İnsan saçı gibi lifler şeklinde kullanılmıştır. Yapay lifler ise Betonda; Çelik, Polipropilen, Poliolefin, Cam gibi lifler kullanılmıştır (Yazıcı 2010). Liflerin tarihsel süreçte milattan önce at yelesi ve keçi kılı, 1900’lerde Asbest, 1950’de Kompozit malzemeler, 1960’da Lifli beton, 1970’lerde çelik, cam ve sentetik lifli betonlar, 1990’de yeni lif üretim teknikleri, 2000 ve sonrasında ise yapısal uygulamalar, yeni ürünler şeklinde gittikçe yaygınlaşarak artan kullanımları önemli bir güçlendirme malzemesi olmuştur (Yazıcı 2010).

Lifler; çelik, plastik, cam gibi değişik malzemelerden farklı tip ve boyutlarda üretilmektedirler. ACI (Amerikan Beton Enstitüsü) komitesi bir lifi tanımlayan en iyi nümerik parametrenin lif boyunun eşdeğer lif çapına bölünmesiyle elde edilen “boy/çap” (Aspect ratio) oranı olduğunu kabul eder. Beton içerisinde yaygın olarak

kullanılan lifler; çelik, polipropilen, karbon ve alkali dirençli cam liflerdir. Lifli betonlarda, bütün lif çeşitlerinde sağlanması gereken en önemli özellik liflerin beton içerisinde homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonra da bozulmamasıdır. Üniform bir şekilde dağılan lifler, beton içerisinde oluşan çatlakları önlemekte ve çatlakların beton içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirdiği bilinmektedir. Bu özelliğinden dolayı lifli betonun çekme ve eğilme dayanımı artıran faktörler darbe etkisine karşı da dayanımı artırır. Bu nedenle betonarme kazık, yol, su boruları, genel olarak büyük fabrika inşaatlarının döşeme betonlarında ve prefabrike yapı elemanları üretiminde lifli betonların tercih edilmeleri halinde daha iyi sonuçlar alınacağı bilinmektedir (Kozak 2013). Lif çeşitlerinin tipik özellikleri Tablo 1’de verilmektedir.

Çizelge 2.1. Bazı liflerin geometrik, fiziksel ve mekanik özellikleri (Kozak 2013)

NO	Lif cinsi	Çekme dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (10^3 , MPa)	Maksimum Uzaması (%)	Özgül Ağırlığı (gr/cm^3)
1	Çelik	276-2760	200	0,5-3,5	7,8
2	Mieral-Yünü	484-759	69-117	0,6	2,7
3	Pamuk-Yün	414-621	6,9	10-25	1,5
4	Polipropilen	552-759	3,5	25	0,9
5	Polietilen	690	0,14-0,4	10	0,95
6	Polyester	724-863	8,3	11-13	1,5
7	NaylAon	759-828	4,1	16-20	1,1
8	Cam	1035-3795	69	1,5-3,5	2,5
9	Pamuk	414-690	4,8	3-10	1,5
10	Asbestler	552-966	83-138	0,6	3,5
11	Akrilik	207-414	2,1	25-45	1,1

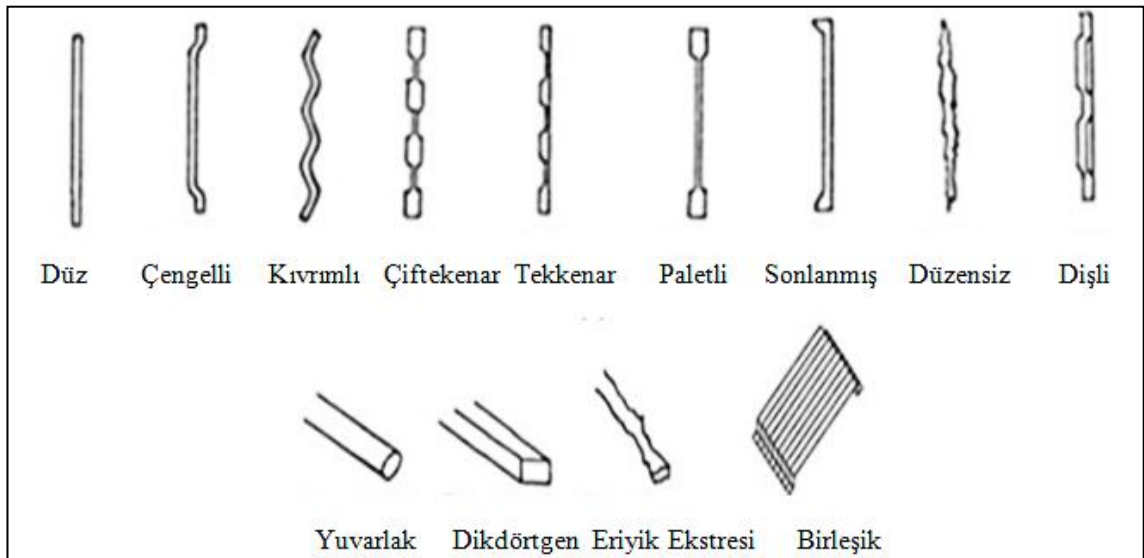
Değişik geometri ve tipte çelik lifler bulunmaktadır. Kullanılan lifin tipi çelik lifli betonun mekanik özelliğini etkileyen en önemli parametredir. Çekme ve kesme kuvvetine karşı çalışan liflerin beton ile aderansı betonun performansını önemli derecede etkiler. Yüzeyi pürüzlü, dalgalı ya da uçları kıvrılmış liflerin beton

matrisinden sıyrılması, düz liflere göre daha zordur. Lif çeliğin özelliği gereği çok yüksek çekme dayanımına sahiptir ama bunun betonda kullanılması başta da dediğimiz gibi aderansa bağlı olarak lifin sıyrılması ile oranlıdır (Yazıcı 2010).

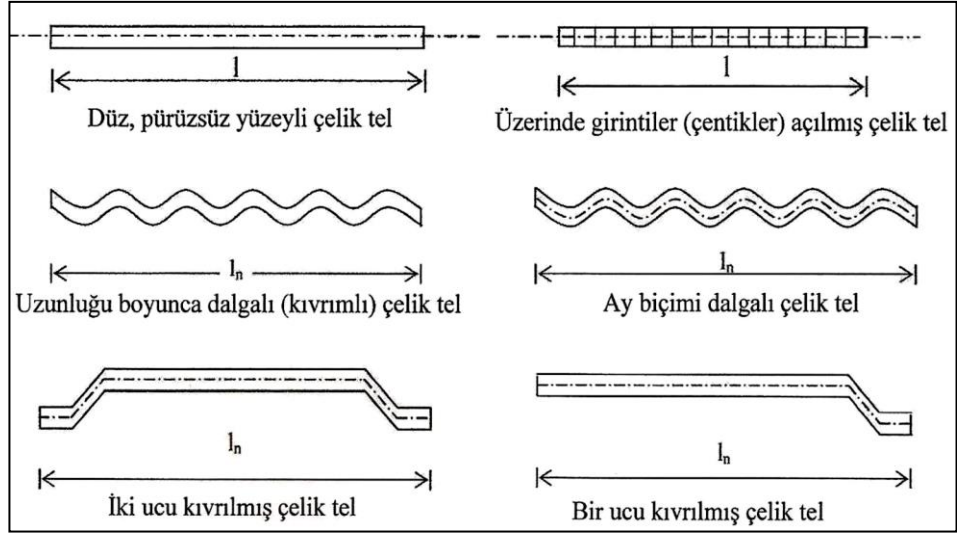
Çeliğin elastisite modülü betonunkinden çok daha büyük olduğundan çelik lifli betona gelen yükün taşınmasında, çelik liflerin payı diğer lif türlerine göre daha büyük olmaktadır (Anon 2016).

Çelik liflerin fonksiyonu, beton içerisinde yeni adezyon kuvvetleri oluşturmaktır. Çelik lifler betonun içerisinde zayıf bölgelerde küçük köprüler oluşturarak çalışır. Bu nedenle çatlak oluşumu çelik lifli betonda daha düzenlidir. Çelik lifli betonların performansını etkileyen en önemli faktörler:

- Lifin tipi
- Lifin geometrisi
- Lifin kullanım oranı (hacimce)
- Lifin narinlik oranı
- Liflerin beton içerisindeki dağılımı
- Liflerin beton içerisindeki yönelimi
- Lifli betonun matris mukavemeti
- Lifli betondaki maksimum agrega boyutu olarak sıralanabilir (Altun 2006).



Şekil 2.3. Çelik lif tipleri (Yazıcı 2010)



Şekil 2.4. Çelik liflerin şekilleri (TS 10513 1992)

Taze beton çatlaklarının önlenmesinde; Cam, sentetik (polipropilen, poliefin, naylon) lifler.

- Sertleşmiş betonda eğilme ve çekme dayanımının arttırılmasında; Çelik ve karbon lifler.
- Enerji yutabilme kapasitesinin arttırılmasında; Polipropilen, çelik lif.
- Aşınma dayanımının arttırılmasında ise; çelik lif kullanılmalıdır.

Liflerin hangi oranda kullanılacağı şunlara bağlıdır; Kullanılacak lif çeşidi, liflerin boyutu, liflerin geometrik şekilleri ve lif ile beton arasındaki kenetlenme özelliklerine bağlıdır (Yazıcı 2010). Beton, yalın halde gevrek bir malzemedir, çekme dayanımı yapısal dizaynda ihmal edilecek kadar düşüktür ve bununla beraber tokluk ve sünekliliğide yüksek değildir. Lifler betonda tekniğine uygun bir şekilde (homojen dağılmalı, istenen beton özelliğine göre uygun lif seçimi, işlenebilirlik için akışkanlaştırıcı doğru ve yeterli ölçüde seçilmeli vs.) seçilip yerleştirildiğinde (özellikle de çelik lifin) betona şu yararları vardır;

- Çatlak oluşumunu geciktirme
- Çatlak yayılımı ve ilerlemesini önleme veya geciktirme
- Aşamalı olarak matrsten sıyrılma ve kopma mekanizması ile betonun enerji yutma kapasitesini önemli oranda geliştirmedir (Yazıcı 2010).

1960 yıllarda kullanılmaya başlayan lifli betonun kullanım amaçları ve avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Malzeme tokluğunun, darbe yüklerine karşı direncinin, eğilme dayanımının ve diğer mekanik özelliklerinin artırılmasıdır.
- Lifin amacıyla da belirttiğimiz gibi beton, yalın halde gevrek bir malzemedir, çekme dayanımı yapısal dizaynda ihmal edilecek kadar düşüktür ve bununla beraber tokluk ve sünekliliği de yüksek değildir (Altun 2006). Günümüzde betonun zayıf veya yetersiz bu özellikleri değişik liflerin betona katılması ile giderilmektedir. Betona özellikle çelik lif ilave edilmesiyle betonun çekme, eğilme, yorulma, darbe etkilerine karşı dayanımları yükseltilmekte ve buna bağlı olarak süneklik ve tokluk gibi mühendislik özellikleri de geliştirilmektedir. Tabi lifin taze betonun işlenebilirlik ve akıcılığını olumsuz etkilediğide bilinmektedir bunun içinde akışkanlaştırıcı katkı maddeler kullanılarak bunlar giderilmektedir (Yazıcı 2017).
- Geleneksel beton, tipik olarak yorulma, kavitasyon, (boşluk, oyuk, çukur), aşınma, çarpma dayanımı, çatlama sonrası yük taşıma dayanımı ve tokluk açısından zayıf bir performans sergiler. Betonun bu özelliklerinin belirgin olarak gerektiği yerlerde, beton içine değişik malzemelerden üretilmiş ve teknik özellikleri yüksek liflerin katılması sonucu betonun yukarıda anılan zayıf özellikleri iyileştirilerek beton güçlendirilmiştir.
- Lif düktilitesi normal betona göre oldukça yüksektir. Bu yüzden çarpma etkisine, titreşimli yük etkisine ve dinamik yük etkisine karşı normal betona göre daha dayanıklıdır. Liflerin beton içerisindeki davranışı ve yapısal özellikleri nedeni ile yapılan bu beton, ağır çalışma koşullarına maruz kalan yapılarda, ince kesitlerin ve yüksek dayanım özelliklerinin gerektiği yerlerde ve ayrıca beton içerisinde donatı ve hasır kullanmamak için ekonomik gerekçelerle kullanılmaktadır.
- Özellikle çelik liflerin betona belirli oranda karıştırılması ile elde edilen yeni betonun çekme dayanımının yanında basınç, eğilme, yarıma vb. birçok mühendislik özelliklerinde de iyileşmeler olur. Basınç mukavemetinde normal betona göre belirli artış göstermeyebilir ancak çekme mukavemetinde normal betona göre oldukça önemli artışlar gözlenir.

- Betonun çekme ve basınç mukavemetinin yanında kırılma enerjisi de oldukça önemli bir parametredir. Çelik lifli beton, özellikle ilk kırılma yükünden sonra oldukça yüksek bir düktilite gösterir. Çelik lifli betonun kesme dayanımı da normal betona göre oldukça yüksektir. Bu nedenle kesme ve burulma elemanlarında da kullanımı oldukça avantajlıdır. Özellikle yüksek kirişlerde, betonarme silolarda ve deprem perdelerinde kullanımı çok anlamlı olmaktadır (Yazıcı 2017).

Çizelge 2.2. Lifli betonun, yalın betona göre performansındaki ortalama artış yüzdeleri (Yazıcı 2010)

MEKANİK ÖZELLİK	ARTIŞ (%)
TOKLUK-ENERJİ YUTABİLME	100-1200
DARBE DAYANIMI	100-1200
İLK ÇATLAK DAYANIMI	25-100
ÇEKME DAYANIMI	25-100
EĞİLME DAYANIMI	50-100
YORULMA DAYANIMI	50-100
DEFORMASYON KAPASİTESİ	50-100
BASINÇ DAYANIMI	±25
ELASTİSİTE MODÜLÜ	±25
KAVİTASYON-EROZYON DAYANIMI	300

2.2. Kırılma Mekaniği

Gerilmeler altında katı bir cisim iki veya daha çok parçaya ayrılması olaya kırılma denilir. Ve genelde gevrek ve sünek olarak iki grupta incelenir (Aran 1981). Kırılma başlıca iki safhadan oluşur; birinci safha ‘çatlak teşekkülü’ ikinci safha ise çatlağın ilerlemesidir. Yani kırılma karakteri ne olursa olsun; çatlak teşekkülü ve bu çatlağın ilerlemesi ile oluşur. (Sarıbyık 2015)

Cismin kırılması ise cismin malzemeye, uygulanan gerilme, sıcaklığı ve deformasyon hızına bağlıdır. Yüzeyinin kristalografik yapısı, deformasyon durumun ve kırılma yüzeyinin görünüşüne göre 3 ana başlığında incelenebilir. (Külcü 2015)

1- Kristal Yüzeyinin Kristalografik Yapısına Göre

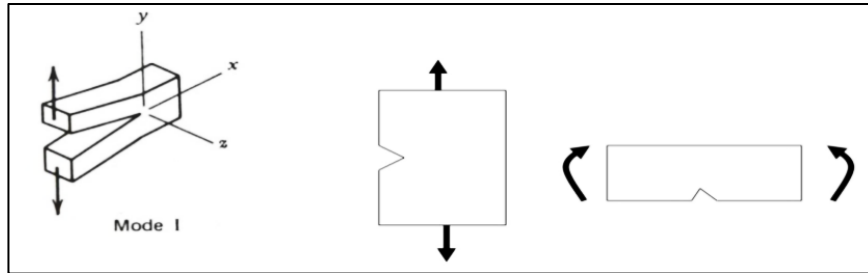
- a- Kayma Kırılma
- b- Ayrılma Kırılma
- 2- Kırılma Yüzeyinin Görünüşüne Göre
 - a- Lifli Kırılma
 - b- Taneli Kırılma
- 3- Deformasyon Durumuna Göre
 - a- Sünek Kırılma
 - b- Gevrek Kırılma

2.2.1. Gevrek Kırılma Tipleri

Herhangi bir malzemede genelde aşağıdaki üç tip kırılmalardan biri meydana gelecektir (Kumar, Barai 2010).

Tip 1 veya Mod I

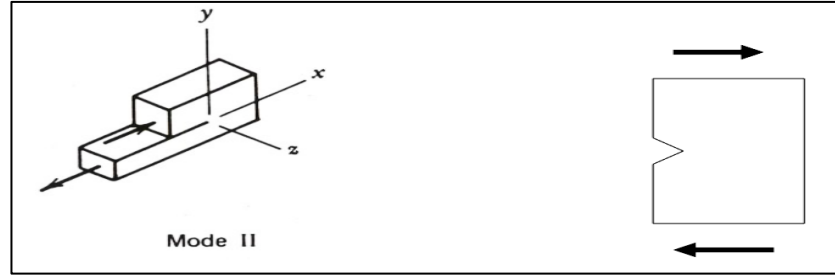
Bu tip kırılmada gerilmenin normal bileşeni çatlak yüzüne dik olarak Y doğrultusunda etki etmektedir. Çatlağın açılma şekli olarak uygulamada bu tip en önemlisidir, bu nedenle en çok bu kırılma şekli araştırılmıştır.



Şekil 2.5. Mod I kırılma gösterimi

Tip 2 veya Mod II

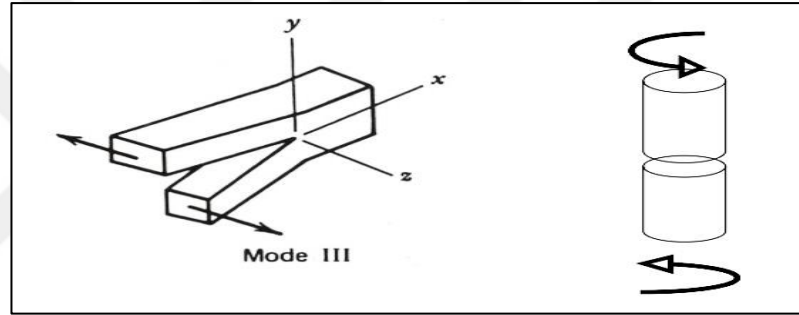
Bu tip kırılmada gerilmenin kayma bileşeni çatlağın X doğrultusunda etki etmektedir.



Şekil 2.6. Mod II kırılma gösterimi

Tip 3 veya Mod III

Bu tip kırılmada gerilmenin kayma bileşeni çatlağa Z doğrultusunda çatlağın dip kenarına paralel olarak etki etmektedir.



Şekil 2.7. Mod III kırılma gösterimi

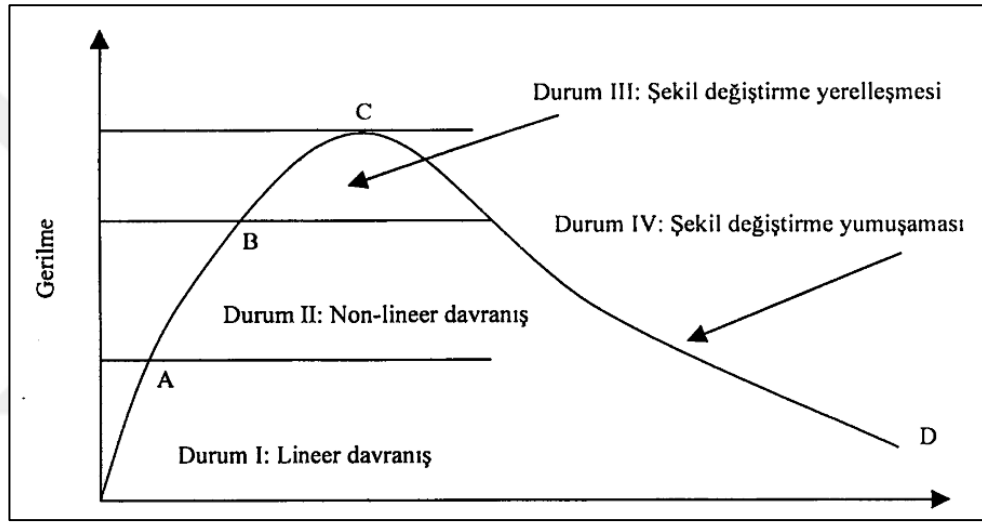
Kırılma mekaniği temelinde, malzemede var olan çentik, çatlak ve boşluk gibi gerilme yoğunluğunu arttıran kusurları ve bunlara bağlı olarak meydana gelen hasarları inceler. Kırılma mekaniğinin ana amacı bir yapı elemanında olan bir çatlağın hangi şartlar altında yayılarak kırılma oluşturacağını tespit etmektir. Klasik malzeme dayanım teorisine kıyasla kırılma mekaniğinin önemli tarafı gerilme altındaki malzemelerde çatlak ve gerilme konsantrasyonun arttırıcı etkenler göz önüne alarak kırılma problemlerini incelemesidir.

İlk olarak Griffith (1920) tarafından temeli atılan LEKM teorisi, daha sonraki yıllarda Kaplan (1961) yarı gevrek ve heterojen malzeme olan beton için uygulanmıştır. Yapılan araştırmalarda bu klasik teorinin beton için yetersiz olduğunu vurgulanarak betona doğrudan uygulanamayacağı, bunun nedeninin ise çatlağın ucunda yer alan diğer

malzemelere göre daha büyük bir yer işgal eden kırılma süreci bölgesinin var olmasından kaynaklanmakta olduğu görülmüştür (Kesler vd., 1972).

2.2.2. Betonda Kırılma Mekanîği

Beton dünya çapında en çok kullanılan yapı malzemesi olarak kabul edilmiştir bu sebeple betonun mekanik davranışının tam olarak bilinmesi önemi günden güne hız kazanmaktadır. Şekil 3.7 yarı gevrek malzeme olarak kabul edilen betonun eksenel çekme altında gerilme şekil değiştirme davranışı göstermektedir.



Şekil 2.8. Beton deforme halinde çeşitli karakteristiklerini gösteren gerilme-şekil değiştirme grafiği (Eser 2002)

Şekil 3.8’den anlaşıldığı üzere uygulanan yük altında betonda dört temel bölge olduğu görülür, bu dört bölgenin birincisi ise tepe yükünün yüzde 30-40’lık değerine kadar olan lineer davranış gösterilen bölgedir. A ve B noktaları arasında İkinci bölgede ise çatlakların rastgele dağıldığı ve farklı çatlakların çoğalarak yayıldığı bilinmektedir ve yükleme doğrultusu boyunca oluşan çekme-şekil değiştirmeleri numune uzunluğu boyunca hala üniform olarak dağıldığını anlaşılar. B ve C noktaları arasında üçüncü bölgede ise yükleme doğrultusu boyunca çekme-şekil değiştirmeleri artık üniform değildir, bu bölgede çatlak yayılması yüke bağlı olup eğer yükte artış meydana gelirse çatlak genişlemeye başlar. C ve D noktalar arasında dördüncü bölgede şekil değiştirme

yumuşaması bölgesi olmakta bu bölgede çatlak yayılması kararsızdır, çatlak boyutu yük düşmesine rağmen sürekli artmaktadır.

Her malzemede çatlak ucunda hep bir elastik olmayan bölge vardır, gerilme o bölgede sonsuz olamaz bu bölge de genellikle kırılma süreci bölge ismi verilir. Betonun kırılma davranışı da büyük ölçüde bu kırılma süreci bölgesi ile belirlenir. Metallerde kırılma süreci bölgesi plastik bölgenin yanında çok küçük olmasına karşın, betonda 100 mm'nin üzerinde değerler olarak büyük yer işgal ederler (Hillerborg vd., 1976). Betonda mevcut olan büyük bir kırılma süreci bölgesinden dolayı LEKM'nin betona doğrudan uygulanamayacağı Shah Ve McGarry (1971) tarafından ortaya konulmuştur. Yapıda eğer bu bölge yapının boyutuna göre yeterince küçük olursa LEKM uygulanabilir. Fakat yapılan araştırmalar bu bölgenin betonda küçük olmadığını gösterilmiştir (Esen 2002). Bu nedenle beton davranışında lineer olmayan kırılma mekaniği prensiplerinin kullanılması ile daha iyi açıklanabileceği görülmüştür.

Geçmişte yapılan çalışmalardan anlaşılacağı gibi kırılma mekaniği malzemedeki yumuşamayı da hesaba kattığında betondaki yayılmış çatlak gelişimini ve onun lokalizasyon analizi için çok faydalı ve güçlü bir araç olduğu görülmektedir (kumar ve Barai 2012). Beton kırıktaki çatlak ilerlemesini çalışmak için Hilerborg ve arkadaşları (1976) fiktif çatlak modeli yada kohesif çatlak modelini tanıtmışlardır. Bundan sonra birçok lineer olmayan kırılma mekaniği modelleri beton gibi quasi kırılğan malzemelerdeki lineer olmayan kırılma davranışını tahmin etmek için önerilmiştir. Bunlar: Çatlak Bant Modeli (Bazant ve Oh, 1983), İki parametrelili Model (Jenq ve Shah, 1985), Efektif Çatlak Modeli (Nallathambi ve Karihaloo, 1986), Kırılma süreci bölgesindeki kohesif kuvvet dağılımına bağlı KR eğrisi modeli (Xu ve Reinhardt 1998, 1999a) ve boyut etkisi modeli (Bazant et al, 1986).

2.3. Boyut Etkisi

Plastik limit analizde ya da dayanımı limiti esas alan elastik analizde gerilmeler cinsinden herhangi bir teoriye göre hesaplanan σ_N göçme gerilmesi, yapı boyutundan bağımsızdır. Ancak beton, kaya, lifli kompozitler, set seramikler, rijit köpükler, deniz buzulları, kati zeminler ve ahşaplar gibi quasi kırılğan malzemelerde, kısacası kırılma

süreci bölgesine sahip heterojen kırılğan malzemelerde kırılma bölgesinin boyutu yapının boyutu ile karşılaştırıldığında boyut etkisi ihmal edilemez. Yapının nominal dayanımının yapının boyutuna bağlı olması durumu boyut eksisi olarak tanımlanır. (Bazant ve Yu, 2009).

Betonda göçme tek bir noktadan başlayıp çatlak önünde sonlu bölgede kırılma bölgesi oluşur. Boyut etkisi gevrek malzemelere uygulanması bu yüzyılın başlarında ilk kez 1913'de İngiltere tarafından başlamış sonra 1921'de Griffith ile devam etmiştir ve betona uygulanması ilk kez 1960'da Kaplan tarafından başlamıştır. Boyut etkisinin betona uygulanmasında en önemli gerekçelerden biri de geometrik olarak benzer farklı boyutlu elemanlarda göçmedeki gerilmenin boyut arttıkça azalmasıdır. Günümüzde beton gibi gevrek malzemelerde boyut etkisi üzerindeki çalışmalar hızla yayılmaktadır.

Bazant ve Yu (2009) beton gibi yarı gevrek malzemelerde kullanılan Weibull istatistiksel boyut etkisi ile enerjik boyut etkisi yasaları ve çentik derinlik etkisi hakkında teorik bir çalışma yapılmış ve sonuçlarında boyut etkisi yasaları type 1 ve type 2 olarak değerlendirmiştir. Aydın (2010) tez çalışmasında toplamda 90 adet beton deney numunesi kullanılarak eksenel basınç yükü altında farklı dayanımlı silindir ve küp beton numunelerde kırılma yüklerinin deneysel olarak elde edilmesi ve elde edilen sonuçlarında küp numunelerde boyut etkisi varlığı bulmuştur. Koç ve Birinci (2012) normal ve lifli betondan hazırlanan iki farklı dış merkezliklerine sahip çift konsol elemanların eksenlerine paralel basınç yükleme uygulanmıştır yapılan bu çalışmada büyük numuneden küçük numuneye 4:2:1 benzerlik oranlarına sahip serileri hazırlanıp her numunede 2 yatay ve 1 düşey yer değiştirme ölçer kullanılıp böylece numune serilerinde boyut etkisi incelenmiştir. Hoover ve Bazant (2013) toplamda 18 farklı geometriye sahip kirişleri ve 5 farklı çentik ve kiriş yükseklik $a/D = 0$ yani çentiksiz ve $a/D = 0.025, 0.075, 0.15, 0.30$ oranına sahip kirişler üzerine boyut etkisi yasaları inceleyip bu çalışmada çentiksiz ve çentikli kiriş elemanlarında çentik derinlik arttıkça boyut etkisi incelenmiştir, çalışma sonucunda çentik derinlik arttıkça Type 2 boyut etkisine yaklaşmaktadır ve çentik derinliği azalınca Type 2'den Type 1 boyut etkisine yaklaşmayı bulmuştur. Çağlar (2014) tez çalışmasında farklı geometrilere ve farklı çentik derinliklere sahip 80 adet kirişin üç nokta yükleme sonuçları kullanılarak ve bu kirişlerin analizleri Atena 3D sonlu elemanlar programı ile yapılarak deneysel ve sayısal

sonuçları karşılaştırmıştır, Atena programın sonuçları ile deneysel sonuçları birbirine kabul edilecek düzeyde çıkartılmıştır.

Son zamanlarda betonun kırılma parametreleri belirlenirken çentikli üç noktalı eğilme numuneleri kullanılmaktadır. Bununla birlikte yarma tipi numunelerin betonun kırılma malzeme parametrelerinin tayininde kullanılması üzerine birçok çalışma yapılmıştır (Brühwiler ve Wittmann, 1990; Rocco vd, 1995; Tang vd; 1992, 1994; İnce, 2010, 2012a, 2012b). Çetin ve İnce (2016) çentiksiz beton küp numuneler üzerinde yaptıkları yarmada-çekme deneyi ile Küp numunelerin yarmada-çekme dayanımında agrega granülometrisinin boyut değişimi üzerine etkisi dikkate alarak Bazant'ın Boyut Etkisi Kanunu incelenmiştir. Betonun kırılma mekaniğinde yaygın olarak kullanılan kiriş, silindir ve küp numuneler ile betonun tek eksenli çekme altındaki boyut etkisi çalışılmıştır. Ancak beton kaldırımlar, döşemeler, temeller ve yollar gibi çift yönlü çekmeye maruz kalmış yapılarda boyut etkisi üzerinde yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Zi ve diğ.(2014) eşdeğer çift yönlü çekmeye maruz kalmış dairesel plakaların çekme dayanımı üzerindeki boyut etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Bu deney sonuçlarında çekme dayanımı üzerindeki boyut etkisinin eşdeğer çift yönlü çekme deneyinde elde edilende eksenel çekme deneyinden elde edilene göre daha güçlü olduğunu ve Tip I boyut etkisi kuralına uyumlu olduğunu göstermişlerdir.

Bu tez çalışması kapsamında çimento esaslı malzemelerden üretilmiş lifsiz ve lifli betonların, Türker (2015) tarafından önerilen Üçgen Plaka Yönteminin (ÜPY) kullanılarak, iki eksenli gerilme durumunda çekme dayanımını üzerindeki boyut etkisi incelenmesi yönelik deneysel çalışmalar yapıldı.

2.3.1. Bazant'ın Boyut Etkisi Yasası

Kırılma mekaniğindeki Bazant'ın önerdiği boyut etkisi yasası genel olarak iki tiptir bunlar kısaca açıklanır.

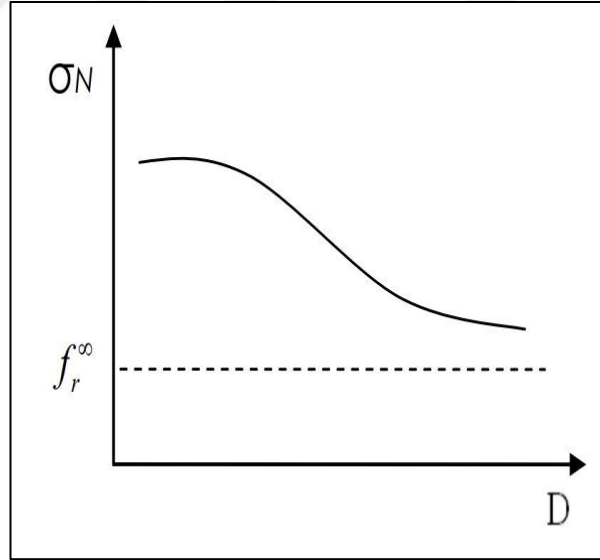
Type I boyut etkisi

Type I boyut etkisi genel olarak çentiksiz veya çatlaksız elemanlar için geçerli olup genelde aşağıdaki eşitliği type I boyut etkisinde kullanılmaktadır.

$$\sigma_N = f_r^\infty \left[1 + \frac{rD_b}{D + l_p} \right]^{1/r} \quad 2.1$$

Burada f_r^∞ , l_p ve D_b doğrusal regresyon sonucu bulunan malzeme sonuçlarıdır. Burada r elemanın geometrisine bağlı bir ampirik katsayı olup deneylerden elde edilir. (Hoover, Bazant 2014) Bütün geometri ve malzemeler için $r \cong 1$ bulunduğundan bu çalışmada tip I boyut etkisi eşitlikte $r = 1$ kullanılmıştır. Eşitlik yaklaşık bir ifadedir, fakat boyut değişiminin 2-20 aralığı için yeterlidir. Daha büyük boyut değişimi için karmaşık formüller gereklidir. (Bazant, Yu 2009) l_p malzeme karakteristik uzunluğu olup en büyük agrega boyutuna bağlıdır. Bu Çalışmada l_p ihmal edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışma boyunca tip I boyut etkisi eşitliği aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\sigma_N = f_r^\infty \left[1 + \frac{D_b}{D} \right] \quad 2.2$$



Şekil 2.9. Type 1 boyut etkisi ifadesinin grafik gösterimi (Çağlar 2014)

Denklem 2.2 çentiksiz numuneler için geçerli olup eğer düzenlenir ve $f_r^\infty = \sigma_0$ değişken dönüşümü yapıp ara işlemler yapıldıktan sonra sonuç olarak aşağıdaki doğrusal denklem elde edilir;

$$\frac{1}{\sigma_N} = \frac{1}{\sigma_0} + \frac{1}{\sigma_0} \frac{D}{D_b} \quad 2.3$$

2.33 eşitliği $y = Ax + C$ şeklinde bir doğru eşitliği haline gelir. Bu eşitlikte y, x, C ve A değerleri sırasıyla $y = \frac{1}{\sigma_N}$, $x = D$, $C = \frac{1}{\sigma_0}$ ve $A = \frac{C}{D_b}$ olur ve σ_N ise göçme gerilme olarak yükleme durumu ve eleman geometrisine göre farklı formüllerden elde edilir.

Type II boyut etkisi

Tip II boyut etkisi genelde Çentikli elemanlarda geçerli olup alttaki bağıntılarda gösterilmiştir.

$$\sigma_N = B f_t (1 + \beta)^{-1/2} \quad 2.4$$

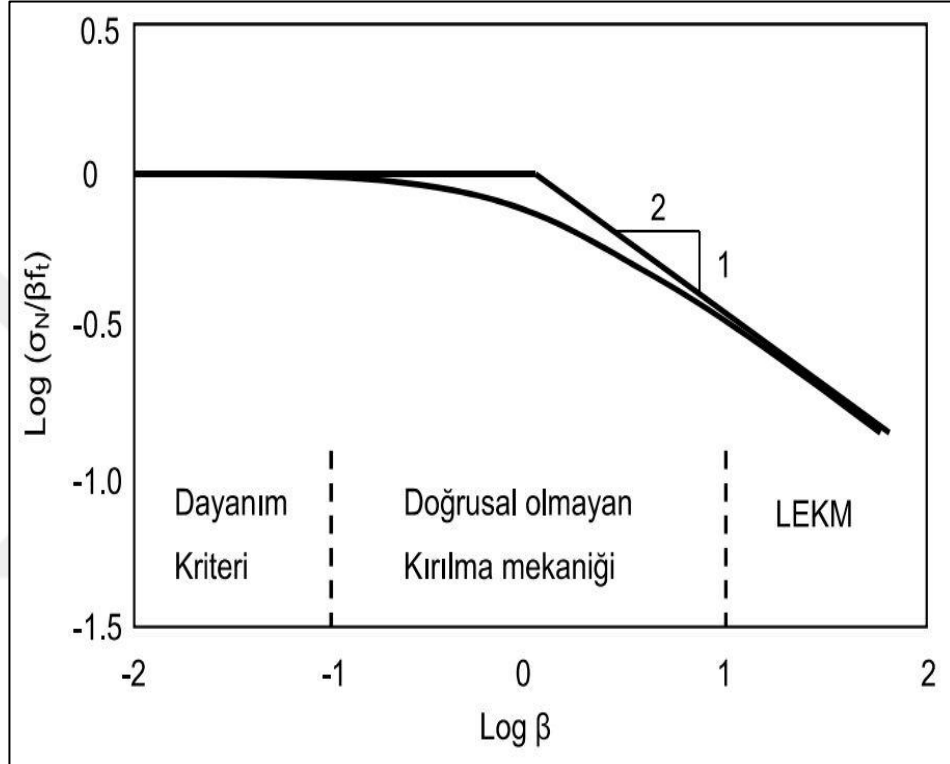
$$B = \left(\frac{2E G_f}{h_0 f_0^2} \right)^{1/2} \quad 2.5$$

$$\beta = \frac{D}{D_0} \quad 2.6$$

Bağıntılarda, B malzeme dayanımına bağlı sabit, D yapı biçimine bağlı boyutsuz sabittir D_0 ise empirik bir katsayı, f_t betonun çekme dayanımı ve β katsayıdır. Bazant'ın önerdiği tip II boyut etkisi ifadesinde aşağıdaki durumlara dikkat edilmeli:

Eğer yapı çok küçükse $D \ll D_0$ kabul edilerek $\beta = D/D_0$ değeri birin (1) yanında küçük olduğundan ihmal edilebilir. Bu durumda $\sigma_N = B f_t$ olur ki göçme gerilmesi plastik limit analizi ya da emniyet gerilmeleri yöntemi ile temsil edilmektedir.

Eğer yapı çok büyük ise $D \gg D_0$ bir (1) değeri β değeri yanında çok küçük olduğundan bir (1) değeri ihmal edilir ve $\sigma_N = Bf_t(\beta)^{-1/2}$ olur. Yani göçme gerilmesi doğrusal elastik kırılma mekaniğini temsil etmektedir. Her iki tarafın logaritması alındığında $\log \sigma_N = -\left(\frac{1}{2}\right) \log \beta + \text{sabit}$ olur. Şekil 2.10'de logaritmik eksen takımında, eğimi $-1/2$ olan doğru il göstermektedir.



Şekil 2.10. Type 2 boyut etkisinin logaritmik eğri gösterimi (Çağlar 2014)

Yukarıdaki şekilden anlaşıldığı gibi şu durumlar elde edilir; eğer $\log \beta \gg 1$ lineer elastik kırılma mekaniğinde kullanılır ve eğer $\log \beta \ll 1$ plastik limit analizinde kullanılır. β yatay eksenini gösterip eğer $\beta < 0.1$ ise plastik limit analizi, eğer $0.1 < \beta < 10$ ise lineer olmayan kırılma mekaniği, ve eğer $\beta > 10$ ise lineer elastik kırılma mekaniği geçerlidir. Beton basınç dayanımı f_c ile gösterilir. Boyut etkisi eşitliğinin üstünlüğü regresyon için düzelebilir olmasıdır. Bu düzenlemeler yapılırsa deney sonuçları; $Y = AX + C$ Çentikli numuneler için geçerlidir.

Type 2 boyut etkisi eşitlik yukarıdaki doğru denklemine göre düzenlenirse aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$\left(\frac{f_t}{\sigma_N}\right)^2 = \frac{1}{B^2} + \frac{1}{B^2} \frac{D}{D_0} \quad 2.7$$

Yukarıda eşitlik $y = Ax + C$ şeklinde temsil edilir, Bu eşitlikte y, x, C ve A değerleri sırasıyla $y = \left(\frac{f_t}{\sigma_N}\right)^2$, $x = D$, $C = \frac{1}{B^2}$ ve $A = \frac{C}{D_0}$ olur ve bu dönüşüm ile X, Y eksen takımında doğru eşitliği elde edilir. Gerçekte sonuçlar dağılım göstereceğinden lineer bağıntı ile A doğru eğimi, C doğrusunun Y eksenini kestiği nokta bulunur. Bunlardan yararlanarak tip II boyut etkisi eşitlik için gerekli olacak B ve D_0 sabitleri bulunarak boyut etkisi yasası elde edilmiş olur. (Çağlar 2014)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Beton ve gevrek malzemelerin boyut etkisi ilgili çalışmalar literatürde ağırlıklı olarak çentikli numuneler üzerine yapılmıştır. Bu tez kapsamında çentiksiz olarak hazırlanan kiriş elemanlar ve üçgen plakaların laboratuvar ortamında deneyleri yapılarak boyut etkisi incelendi. Bu deneylerde 3 farklı su çimento oranının her birinde üçer adet numune olmak üzere 7 farklı boyutta üçgen plakalar ve 6 farklı boyutta kirişler için toplam 117 adet deney numuneleri hazırlandı. Buna ek olarak betonun çekme, basınç ve elastisite modülü bulmak üzere 3 farklı su çimento oranlarına sahip ve her birinden üçer adet olmak üzere basınç, yarmada çekme ve kiriş eğilme deneylerinin numuneleri hazırlanmıştır. Deney numuneleri çentiksiz olduğundan dolayı boyut etkisi analizleri için tip 1 boyut etkisi yasası kullanılarak analizler yapılmıştır.

3.1. Malzeme ve Karışımlar

Su çimento oranları esas alarak toplamda üç farklı lifsiz ve lifli karışım hazırlanmıştır. Karışımlarda maksimum boyutu 5mm olan ince agregası kullandığımızdan dolayı deney numuneleri için harç karışım hesabı yapılarak üç farklı karışımın su çimento oranları sırasıyla 0.42 lifsiz 0.62 lifsiz ve dayanımı yüksek bir karışımı tasarlanmak üzere üçüncü karışım olarak 0.42 oranda çelik lif kullanılmıştır. TS 802'den elde edilen harç hesabında malzemelerin miktarları esas alarak laboratuvarında yayılma deneyleri yapıp her karışımın yayılma miktarı 25 ± 2 cm tutulması için karışımlarda süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak yayılma deneyleri yapılmıştır.

Yayılma deneyleri sonucunda su çimento oranı 0.42 lifsiz karışımında 1.48gr katkı kullandığımızda karışımında 25.5cm olmuştur, su çimento oranı 0.62 lifsiz karışımında katkı kullanmadan yayılma miktarı 26 cm olmuştur ve su çimento oranı 0.42 lifli karışımında 1.50gr katkı kullandığımızda 24.35cm olarak yayılma olmuştur. TS 802 standart doğrultusunda hazırlanan bu üç karışım miktarları tablo şeklinde çizelge 3.1-3.3'te verilmektedir.

Çizelge 3.1. Su çimento oranı 0.42LS karışım miktarları

1. KARIŞIM (0.42 LS)			
Su Çimento Oranı	MALZEME	Miktar (gr)	Miktar (Kg)
0.42	Su	210	0.21
	Çimento	500	0.5
	Agrega	1375	1.375
	Katkı Miktarı	1.48	0.00148
	Lif	0	0
	Yayılma Miktarı (cm)	25.5	
Toplam =		2086.48	2.08648

Çizelge 3.2. Su çimento oranı 0.62LS karışım miktarları

2. KARIŞIM (0.62 LS)			
Su Çimento Oranı	MALZEME	Miktar (gr)	Miktar (Kg)
0.62	Su	310	0.31
	Çimento	500	0.5
	Agrega	1375	1.375
	Katkı Miktarı	0	0
	Lif	0	0
	Yayılma Miktarı (cm)	26	
Toplam =		2085	2.085

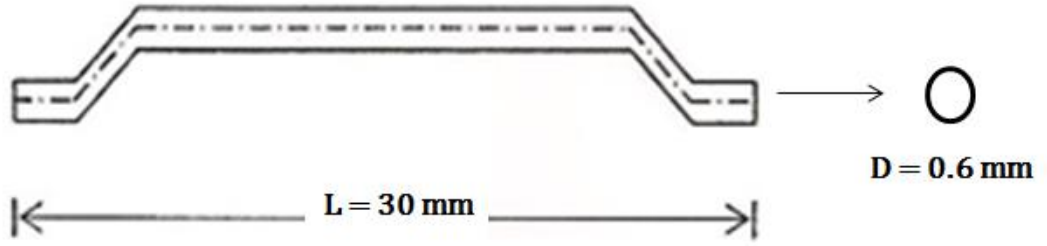
Çizelge 3.3. Su çimento oranı 0.42LL karışım miktarları

3. KARIŞIM (0.42 LL)			
Su Çimento Oranı	MALZEME	Miktar (gr)	Miktar (Kg)
0.42	Su	210	0.21
	Çimento	500	0.5
	Agrega	1375	1.375
	Katkı Miktarı	1.5	0.0015
	Lif	68.78	0.06878
	Yayılma Miktarı (cm)	24.35	
Toplam =		2155.28	2.15528

Deney numunelerimizde su çimento oranı 0.42 olan karışımda karışımın hacimce yüzde 1 olarak çelik lif kullanılmıştır aşağıda hesaplamaları verilen sonucunda çelik lif miktarı 68.78 gr olarak hesaplanmıştır. Kullanılan çelik lif geometrisi şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Karışımlar için yayılma deneyi yapılışı göstermektedir



Şekil 3.2. Kullanılan çelik lif geometrisi

3.2. Numunelerin Adet ve Boyutları

Üçgen plak numunelerin adet ve boyutları çizelge 3.4'te ve kiriş eleman numunelerin adet ve boyutları çizelge 3.5'te verilmiştir. Çizelgelerde üçgen plaka numuneleri eşkenar üçgen şeklinde tasarlandığından L bir kenar uzunluğu, t ise üçgen plakanın kalınlığı göstermektedir. Kiriş elemanlarda L uzunluğu, D yüksekliği ve B kiriş elemanların genişliği göstermektedir.

Çizelge 3.4. ÜP'ların boyut ve adetleri

ÜÇGEN NUMUNELERİ			
Numuneler	L (mm)	t (mm)	Adet
1	1050	75	3
2	875	62,50	3
3	700	50	3
4	700	30	3
5	420	50	3
6	420	30	3
7	350	25	3

Çizelge 3.5. Kiriş elemanların boyut ve adetleri

KİRİŞ NUMUNLERİ				
Numuneler	L (mm)	D (mm)	B (mm)	Adet
1	800	75	75	3
2	600	100	100	3
3	500	75	75	3
4	650	75	75	3
5	400	50	50	3
6	320	30	30	3

3.3. Numunelerin Adlandırılması

Hazırlanan üçgen plakalar ve kiriş eleman deney numuneler adlandırmasında ÜP üçgen plak ve KE kiriş eleman ayrıca lifli numuneler LL ve lifsiz Numuneler LS olarak adlandırılmış buna paralel çizelge 3.4 ve 3.5'ten anlaşıldığı üzere her numuneden 3 adet, ve 3 farklı su çimento oranına sahip toplamda 63 adet üçgen plaka ve 54 adet kiriş numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin adlandırılmasında bilgisayar analiz programlarda numunelerin dataları kolaylıkla kullanabilmesi için İngilizce harfları kullanılarak kirişlerde B (Beam), üçgen plaka numunelerde T (Triangle) baş harfları olmak üzere, R Referans numarasını ve her referans numara 3 adet numuneyi içerir dolayısıyla numunenin sayısını R'nin indisi olarak kabul edilecek şekilde numuneler adlandırılmıştır.

Örnek:

1) T_042LL_R32

Bu adlandırmanın açıklaması şu şekilde:

R32'de referans 3 olan numuneler daha sonra 2 ise bu numunelerin ikincisi anlamına gelir. 042 ise su-çimento oranı 0.42 olan, LL ise lifli ve T üçgen anlamına gelir.

2) B_042LS_R41

Bu adlandırmanın açıklaması şu şekilde:

R41'de referans 4 olan numuneler daha sonra 1 ise bu numunelerin birincisi anlamına gelir. 042 ise su-çimento oranı 0.42 olan, LS ise lifsiz ve B kiriş anlamına gelir.



(a)



(b)

Şekil 3.3. (a) Numunelerin kalıplardan çıkartılması, (b) Numunelerin adlandırılması

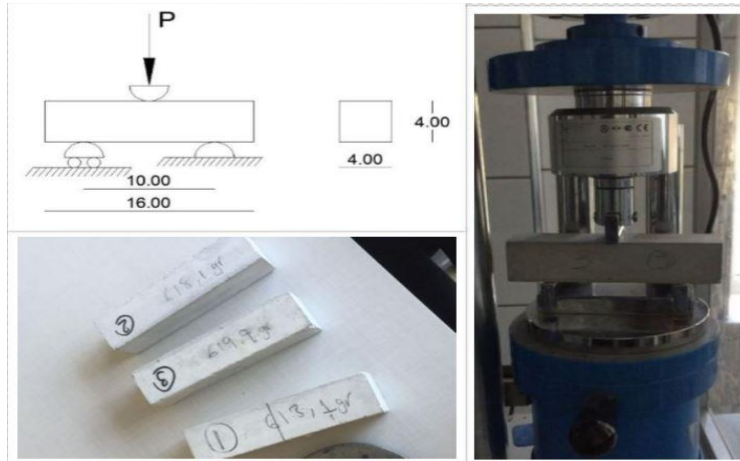
3.4. Deney Düzenegi

Bulunan karışım oranların miktarına orantılı şekilde, gerekli harç miktarı hazırlamak için gerekli olan agrega, su ve çimento bulduğumuz ölçülere göre tartıp hazırlandı, daha sonra gerektiği karışım oranına akışkan miktarı hassas tartı ile tartıp hazırlandı ve sonra, hazırladığı kalıpları kontrol edip kalıp yağlama işlemi yapılarak malzemeleri sırasıyla mikserle dökülerek slump değerine ulaşınca mikserde karıştırılmıştır hazırlanan harç sırasıyla hazırladığımız kalıplara yerleştirildi. Dökülen numuneleri 24 saat nemli ortamda ve nemli bezin altında beklettikten sonra 20C° derecedeki sıcaklıkta beton kür havuzuna yerleştirilmiştir. Daha sonra 28 gün prizi aldıktan sonra, sudan çıkartılıp kiriş numunelere 4 noktalı eğilme deneyler ve üçgen numunelere ÜPY deneye yapılıp kırılma sonuçları bilgisayara aktarılmıştır edilmiştir.

Bunun yanında kullanılan harç malzemelerin elastisite modülü, çekme dayanımı, basınç dayanım gibi mekanik parametreleri belirtmek üzere her bir su çimento oranından toplamda 6 adet standart 300x150 mm silindir ve 3 adet standart 160x40x40mm Kiriş numuneler üretilmiştir. Malzemelerin mekanik parametreleri belirtmek için yapılan deneyleri ve sonuçları aşağıda sırasıyla anlatılmıştır.

3.4.1. Eğilme Deneyi

Her bir su çimento oranına sahip malzemenin eğilme dayanımı belirtmek üzere geometrisi şekil 3.4'te verilen TS EN 196-1 standarda uygun kirişler dökülüp 3 noktalı eğilme deneye maruz kalıp sonuçları çizelge 3.6'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Standart kiriş eğilme deney yapılışı göstermektedir

Çezilge 3.6. S/C oranlara göre malzemelerin eğilme dayanımları

S/C	Numune	Ağırlık (gr)	Kırma Yük (kN)	Dayanım (MPa)
0.42LS	1	593.80	3.02	7.09
	2	596.70	4.40	10.30
	3	596.60	3.39	7.93
ORTALAMA =			3.60	8.44
0.62LS	1	582.30	3.25	7.62
	2	585.50	3.04	7.77
	3	585.40	4.04	9.48
ORTALAMA =			3.44	8.29
0.42LL	1	613.10	4.54	10.64
	2	618.10	6.31	14.79
	3	619.90	4.60	10.79
ORTALAMA =			5.15	12.07

3.4.2. Küp Basınç Deneyi

TS EN 196-1 standarda uygun eğilme deneyde her bir kiriş iki parçaya kırılmıştır her bir karışım için kırılan parçalardan bir parçası küp basınç teste maruz kalmıştır ve sonuçlar çizelge 3.7’te verilmiştir.



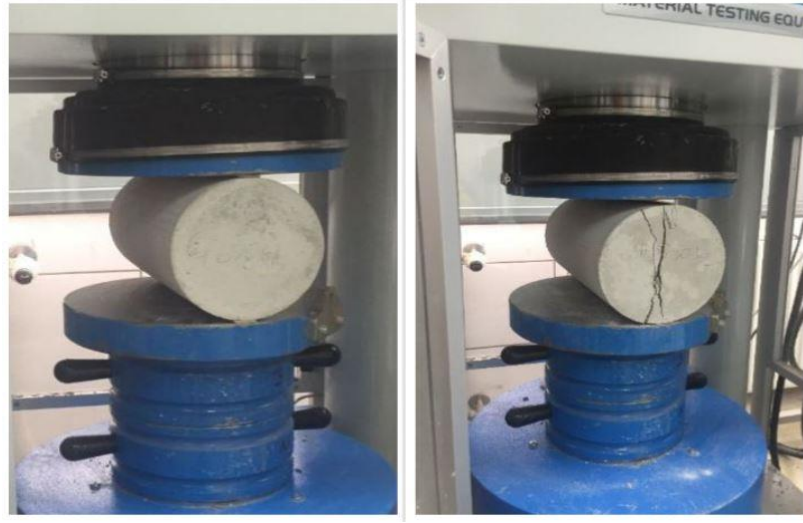
Şekil 3.5. Standart küp basınç deney yapılışını göstermektedir

Çezilge 3.7. S/C oranlara göre malzemelerin küp basınç dayanımları

S/C	Numune	Ağırlık (gr)	Kırma Yük (kN)	Dayanım (MPa)
0.42LS	1	280.40	125.12	78.20
	2	279.60	127.05	79.41
	3	273.80	128.57	80.36
ORTALAMA =			126.91	79.32
0.62LS	1	288.80	84.90	53.10
	2	281.90	90.69	56.68
	3	261.70	87.44	54.65
ORTALAMA =			87.68	54.81
0.42LL	1	342.70	151.08	94.43
	2	312.90	146.84	91.77
	3	263.10	142.16	88.85
ORTALAMA =			146.69	91.68

3.4.3. Silindir Yarmada Çekme Deneyi

Deneylerde kullanılan malzemenin bir başka mekanik özelliği malzemenin çekme dayanımı için yarmada silindir çekme standart deney için 300x150 standart silindirler üretilip 28 günlük dayanımı aldıktan sonra teste maruz kalıp sonuçlar çizelge 3.8’de verilmiştir. Şekil 3.6’de S/C oranı 0.42 lifli ve şekil 3.7’de S/C oranı 0.42 lifsiz silindir yarmada çekme deney yapılışı göstermektedir.



Şekil 3.6. S/C oranı 0.42 lifsiz standart silindir yarmada çekme deney yapılışı göstermektedir



Şekil 3.7. S/C oranı 0.62 lifsiz standart silindir yarmada çekme deney kırılmış durumu göstermektedir

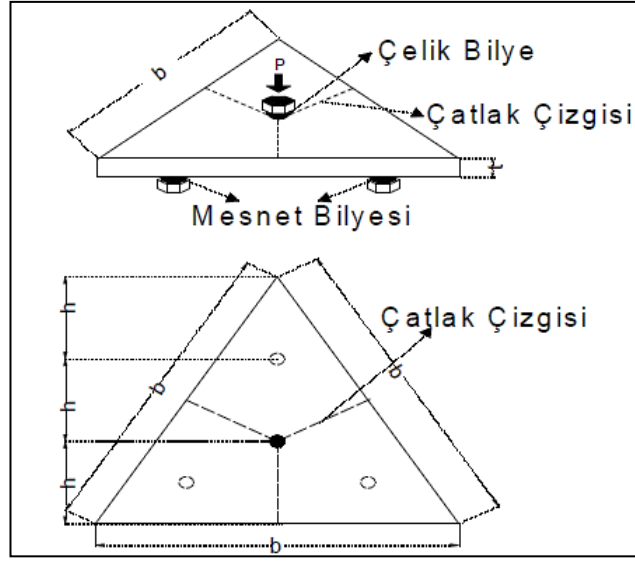
Çezilge 3.8. S/C oranlara göre malzemelerin silindir yarmada çekme dayanımları

KARIŞIMLARIN YARMA SİLİNDİR ÇEKME DAYANIMLARI				
S/C	Numune	Ağırlık (gr)	Kırma Yük (kN)	Dayanım (MPa)
0.42LS	1	11781,00	321,53	4,55
	2	11667,00	279,91	3,96
	3	11799,00	280,27	3,96
ORTALAMA =			293,90	4,16
0.62LS	1	11820,00	270,45	3,83
	2	11810,00	213,69	3,02
	3	11850,00	261,00	3,70
ORTALAMA =			248,38	3,52
0.42LL	1	12431,00	437,83	6,19
	2	11938,00	383,89	5,43
	3	12646,00	425,97	6,03
ORTALAMA =			415,90	5,88

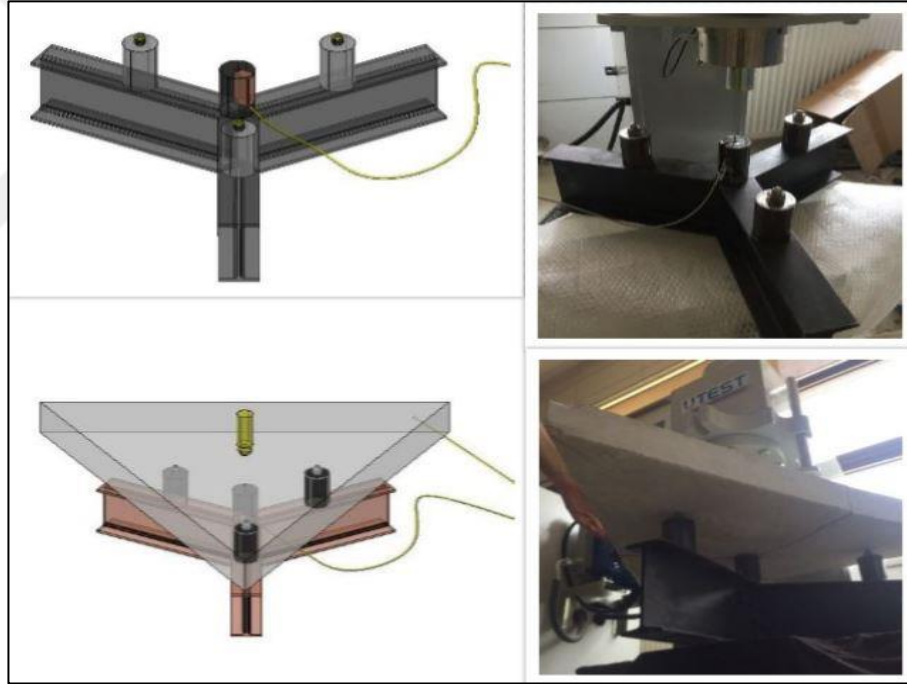
3.4.4. Üçgen Plakaların Deney Düzenegi

Üçgen plakalar için üçgen Plaka Yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem iki eksenli eğilme deneyi yöntemidir ve uygulama kolaylığı bakımından da önemli bir yöntemdir. Bu yöntemde, numuneler üçgen plakalar şeklinde hazırlanmaktadır. Üçgen şeklindeki plaka numunelere yük bilye yardımıyla numunenin ağırlık merkezinden uygulanmakta ve mesnetler üçgenin kenarortaylarının 1/3 noktalarına yerleştirilmektedir. Bu yolla, mesnetler numune kenarlarından uzak tutularak kenarlarda meydana gelen ezilme kırılmalarının oluşumunun önüne geçilmiştir. Plakalarda deplasman ölçme için binde bir hassasiyetli bir LVDT plakaların numunenin alt yüzeyinde üçgenin kenarortayların kesiştiği noktada yerleştirilmiştir. Yükleme numunenin üst yüzeyinde üçgenin kenarortayların kesiştiği noktada çelik bilye aracılığı ile yapılmaktadır. Mesnet ve yükleme bilyeleri, altıgen somunlar kullanılarak tutturulur ve bu şekilde serbest mesnetler oluşur. (Türker 2015)

ÜP numunelerin deneyi düzeni ve mesnetleme durumları şekil 3.8-3.9’te verilmiştir.



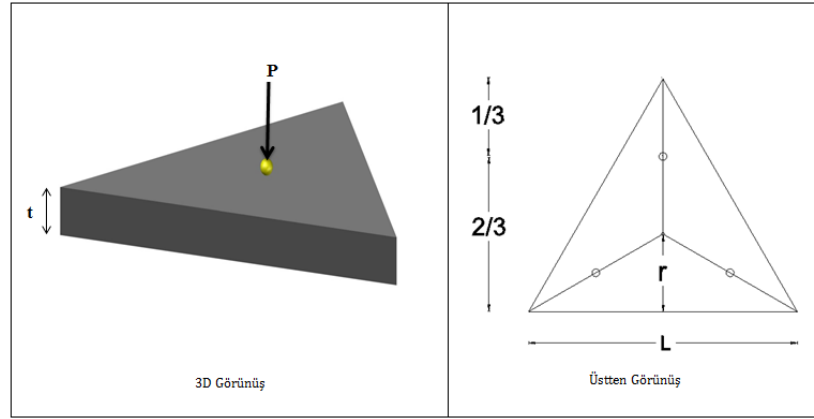
Şekil 3.8. ÜP Yöntemi ÜPY (Türker 2015)



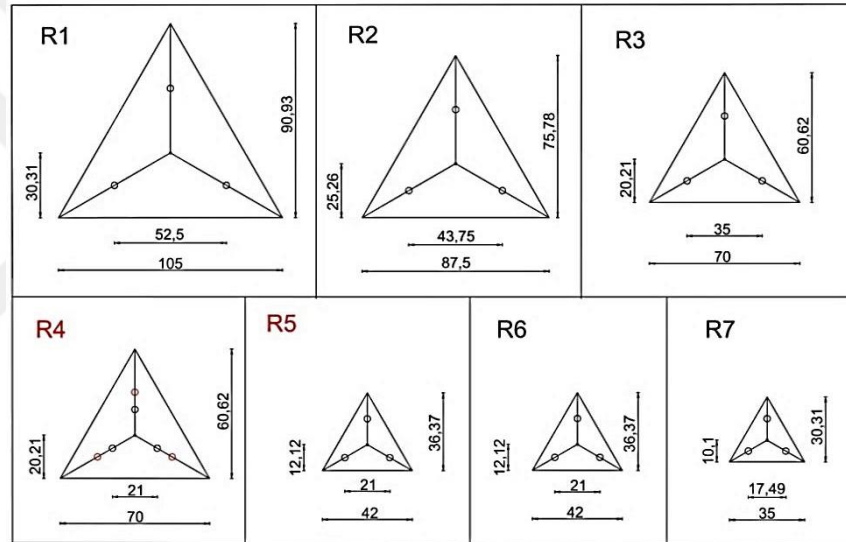
Şekil 3.9. ÜP yükleme ve mesnetleme platformlar gösterimi

Üçgen plaka numunelerde boyut etkisi incelenmesi için plakaların kalınlığı t karakteristik boyut olarak kabul edilip R1, R2, R3, R6 ve R7 nolu numunelerde şekil 3.10'de gösterilen t/r oranı sabit tutularak mesnetleme yapılmıştır.

Çizelge 3.9'de ve şekil 3.11'de üçgen plakalar için mesnetleme ve yükleme detayları verilmiştir.



Şekil 3.10. Üçgen plaka numunelerin deney düzeneği



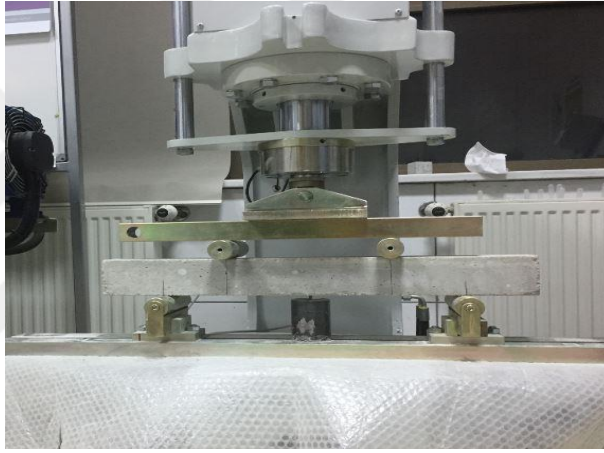
Şekil 3.11. ÜP numunelerin mesnetleme ve yükleme detayları

Çezilge 3.9. ÜP numunelerin mesnetleme ve yükleme detayları

Numune	Adet	L (mm)	t (mm)	r (mm)	t/r
R1	3	1050	75	303,10	0,25
R2	3	875	62,50	252,60	0,25
R3	3	700	50	202,10	0,25
R4	3	700	30	202,10	0,15
R5	3	420	50	121,20	0,41
R6	3	420	30	121,20	0,25
R7	3	350	25	101,00	0,25

3.4.5. Kiriş Elemanların Deney Düzenegi

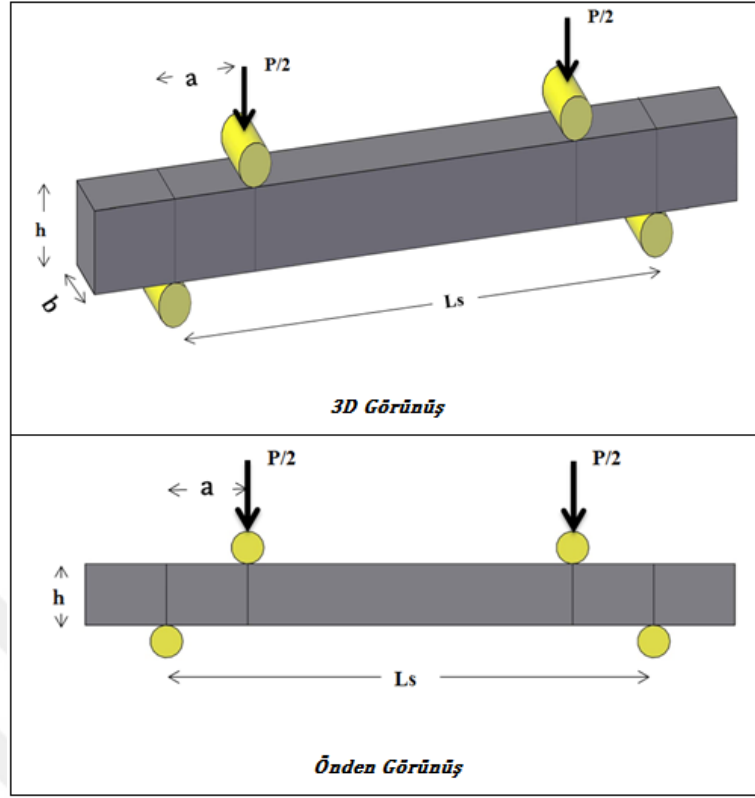
Kiriş numunelere 4 noktalı eğilme deneyi uygulanmıştır, kiriş numunelerde boyut etkisi incelenmesinde kirişlerin yüksekliği ‘h’ karakteristik boyut olarak kabul edilip R2, R3, R5 ve R6 nolu kiriş numunelerde şekil 3.14’de gösterilen h/Ls oranı sabit tutularak mesnetleme ve yükleme yapılmıştır. Deney düzeneği şekil 3.12-3.13’de görüldüğü üzere kiriş numunelerin deplasman lme için bir adet binde bir hassasiyetli LVDT deplasman ölçer kiriş numunelerin ortasında yerleştirip kirişlere yükleme yapılmıştır böylece kırma data kayıt edilmiştir. Kirişlerin yükleme ve mesnetleme detayları izelge 3.10’de ve şekil 3.15’de verilmiştir.



şekil 3.12. Kiriş elemanın kırma düzeneği gösterimi



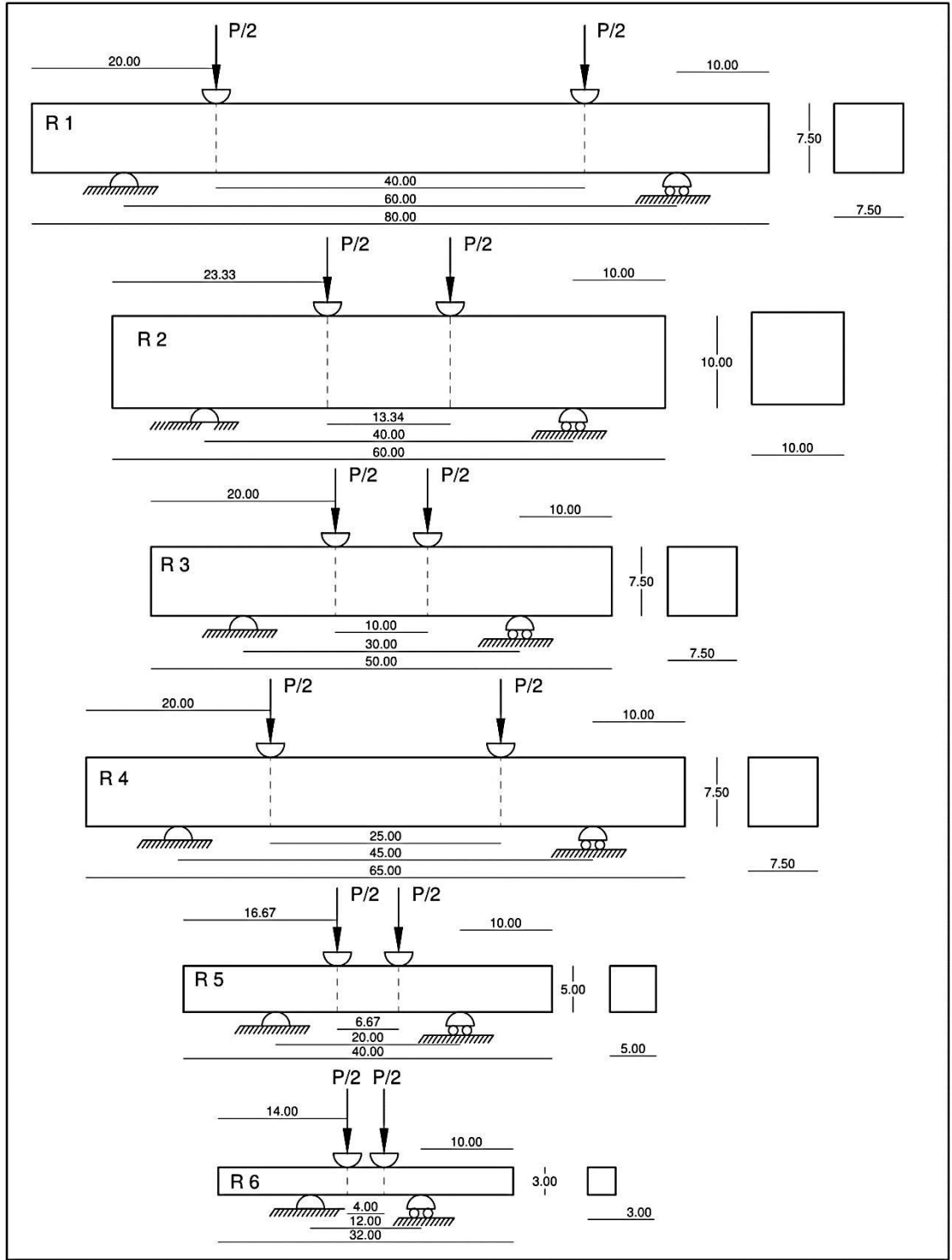
şekil 3.13. Kiriş elemanında LVDT yerleştirmesini gösterimi



Şekil 3.14. Kiriş numunelerin deney düzeneği

Çezilge 3.10. KE numunelerin mesnetleme ve yükleme detayları

Numune	Adet	b (mm)	h (mm)	a (mm)	Ls (mm)	L (mm)	h/Ls
R1	3	75	75	100,00	600,00	800,00	0,13
R2	3	100	100	133,33	400,00	600,00	0,25
R3	3	75	75	100,00	300,00	500,00	0,25
R4	3	75	75	100,00	450,00	650,00	0,17
R5	3	50	50	66,67	200,00	400,00	0,25
R6	3	30	30	40,00	120,00	320,00	0,25



Şekil 3.15. Kiriş numunelerin deney yükleme ve mesnetleme detayları göstermektedir

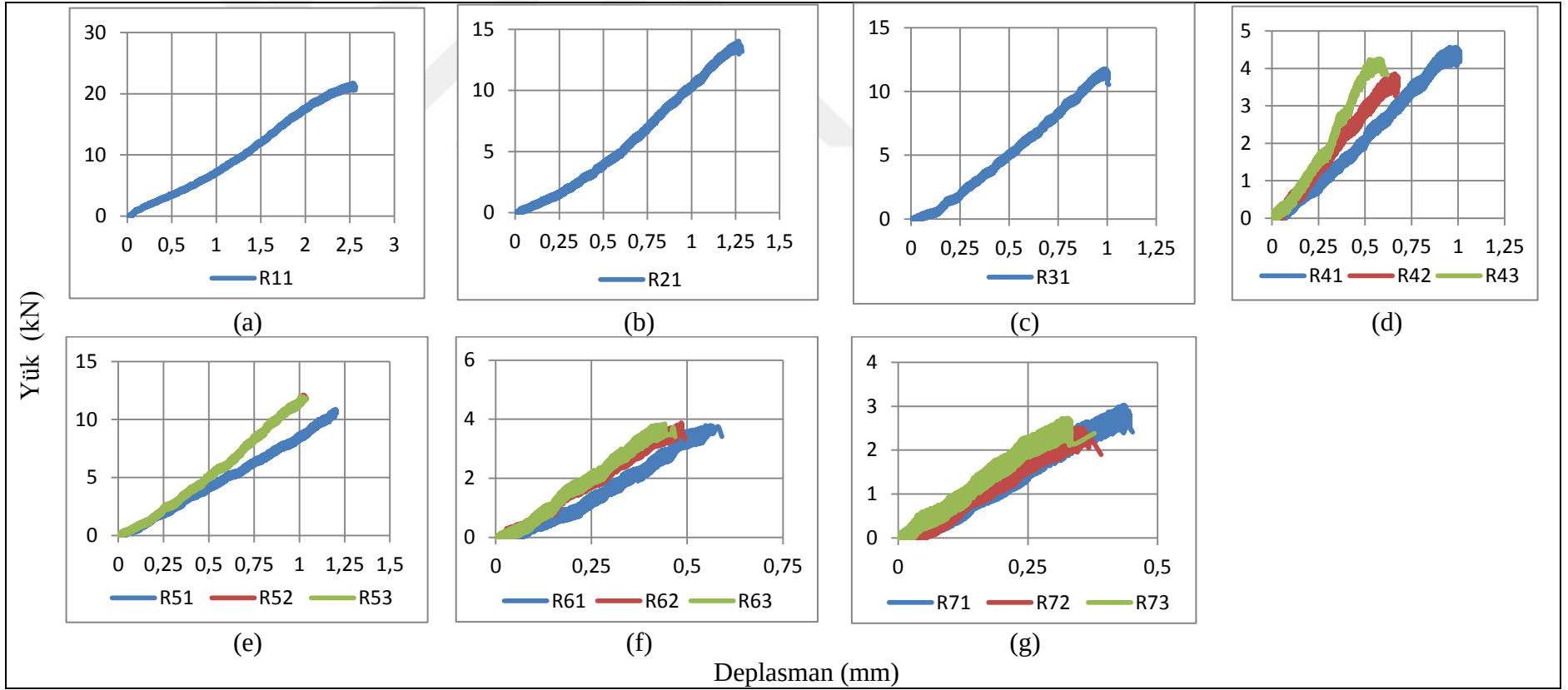
3.5. ÜP Numunelerin Deney Sonuçları

Her bir su çimento oranı için ÜP numunelerin deney sonuçları çizelge 3.11’de verilmiştir. Ayrıca her bir s/c oranı 0.42 LS, s/c oranı 0.62 LS, ve s/c oranı 0.42 LL için şekil 3.16-3.18’de yük-deplasman grafiği verilmiştir.

Çizelge 3.11. Üçgen plaka numunelerin göçme yükleri

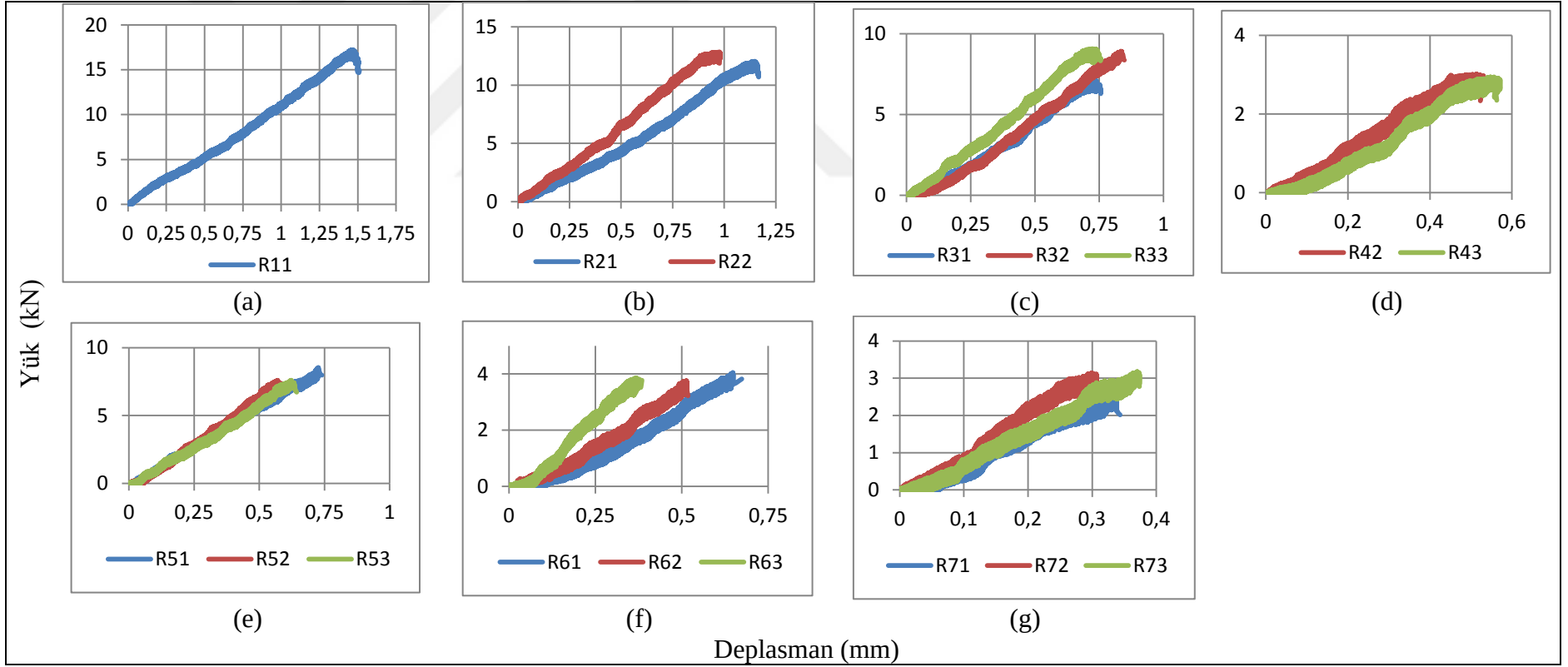
Numuneler		Boyutlar		Su-Çimento Oranına Göre Göçme Yükleri		
				0.42 LS	0.62 LS	0.42 LL
		L (mm)	t (mm)	Pu(kN)	Pu(kN)	Pu(kN)
R1	R11	1050	75	21,681	17,199	30,711
	R12	1050	75			33,877
	R13	1050	75		19,874	35,287
R2	R21	875	62,5	14,025	12,052	23,481
	R22	875	62,5		12,850	24,163
	R23	875	62,5			23,265
R3	R31	700	50	11,770	7,144	
	R32	700	50		8,910	
	R33	700	50		9,061	16,595
R4	R41	700	30	4,564		6,439
	R42	700	30	3,847	3,018	3,976
	R43	700	30	4,257	2,941	6,440
R5	R51	420	50	10,862	8,520	14,971
	R52	420	50	12,114	7,593	17,475
	R53	420	50	11,995	7,598	14,695
R6	R61	420	30	3,787	4,045	5,688
	R62	420	30	3,877	3,758	6,261
	R63	420	30	3,849	3,860	6,461
R7	R71	350	25	3,028	2,557	4,412
	R72	350	25	2,507	3,141	3,906
	R73	350	25	2,730	3,177	

Yukarıdaki çizelgede su çimento oranı 0.42 lifsiz numunelerde R12, R13, R22, R23 ve su çimento oranı 0.62 lifsiz numunelerde R12, R23, R41 ve su çimento oranı 0.42 lifli numunelerde R31, R32 ve R73 nolu üçgen plaka numuneler taşıma sırasında zarar grup kırılmıştır ayrıca kırma sırasında veya döküm sırasında yapılan hatalardan ayrıca hava ve sağlam ortamda kürleneme nedenlerden dolayı çizelge 3.11’de bu numunenin taşıdığı maksimum yük verilmemiştir.



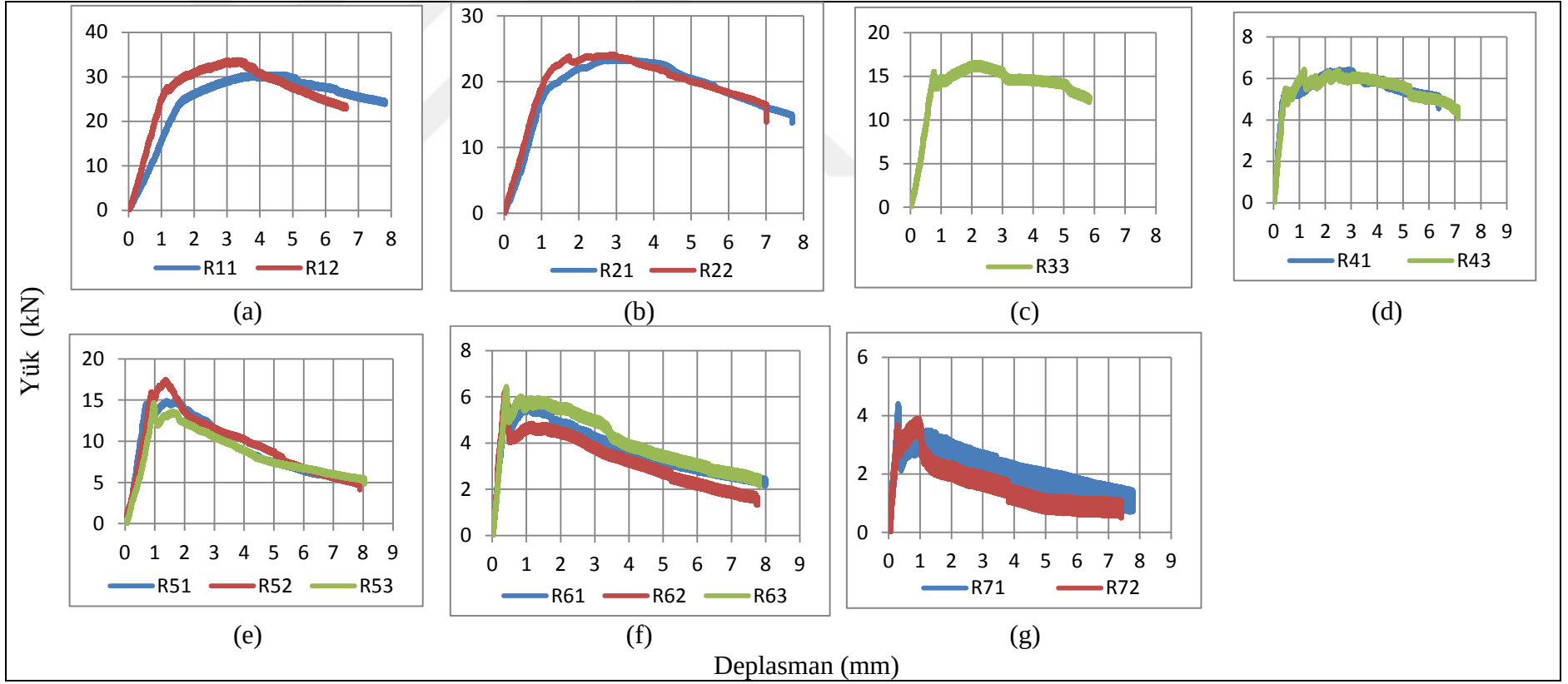
Şekil 3.16. Su çimento oranı 0.42 lifsiz ÜP numunelerin, a) R1, b) R2, c) R3, d) R4, e) R5, f) R6 ve g) R7 nolu üçgen numunelerin yük-deplasman grafikleri

Yukarıdaki yük-deplasman grafikleri net anlaşılabilmek için bu çalışmanın EK'ler bölümünde grafikleri ayrı ayrı verilmiştir



Şekil 3.17. Su çimento oranı 0.62 lifsiz ÜP numunelerin, a) R1, b) R2, c) R3, d) R4, e) R5, f) R6 ve g) R7 nolu üçgen numunelerin yük-deplasman grafikleri

Yukarıdaki yük-deplasman grafikleri net anlaşılabilmek için bu çalışmanın EK'ler bölümünde grafikleri ayrı ayrı verilmiştir.



Şekil 3.18. Su çimento oranı 0.42 lifli ÜP numunelerin, a) R1, b) R2, c) R3, d) R4, e) R5, f) R6 ve g) R7 nolu üçgen numunelerin yük-deplasman grafikleri

Yukarıdaki yük-deplasman grafikleri net anlaşılabilmek için bu çalışmanın EK'ler bölümünde grafikleri ayrı ayrı verilmiştir.

Üçgen plakalarda göçme gerilmeleri σ_N değerleri elde etmek için 3.1 eşitliği kullanılmıştır. (Türker 2015)

$$\sigma_N = \frac{2P_u}{t^2\sqrt{3}} \quad 3.1$$

Eşitlik 3.1’de t ÜP kalınlığı, P_u ise Plakanın göçme anındaki yüküdür. Her bir su çimento oranları için hazırlanan numuneler ÜPY ile test yapılmıştır ve sonuçlarında taşıdığı en büyük yükteki yer değiştirme ve maksimum yük miktarına göre göçme gerilmeler hesaplamıştır.

ÜP’ların boyut etkisi analizleri için Bazant’ın Type I boyut etkisi yasası kullanılmıştır tip 1 boyut etkisi yasası çentiksiz elemanlar için geçerli olup eşitlik 3.2’de verilmiştir.

$$\sigma_N = f_r^\infty \left[1 + \frac{D_b}{D} \right] \quad 3.2$$

Eşitlik 3.2’de üçgen plaka deney elemanlar için karakteristik boyut $D = t$ plakaların kalınlıkları seçilmiştir.

Döküm işçiliği, hava koşulları, kütleme durumları, mikser kapasitesi, ayrıca kırma sırasında yapılan hataları dikkate alınarak yukarıdaki göçme yüklerinde her bir seri numunelerde ortalama göçme yüklerin hesabında gereken düzeltmeler yapılacaktır. Dolayısıyla beklenen bir şekilde kırılmayan üçgen numunelerin sonuçları iptal edip çıkartılmıştır daha sonra ortalama göçme yüklerine göre gerilmeler elde edilip boyut etkisi incelenmiştir.

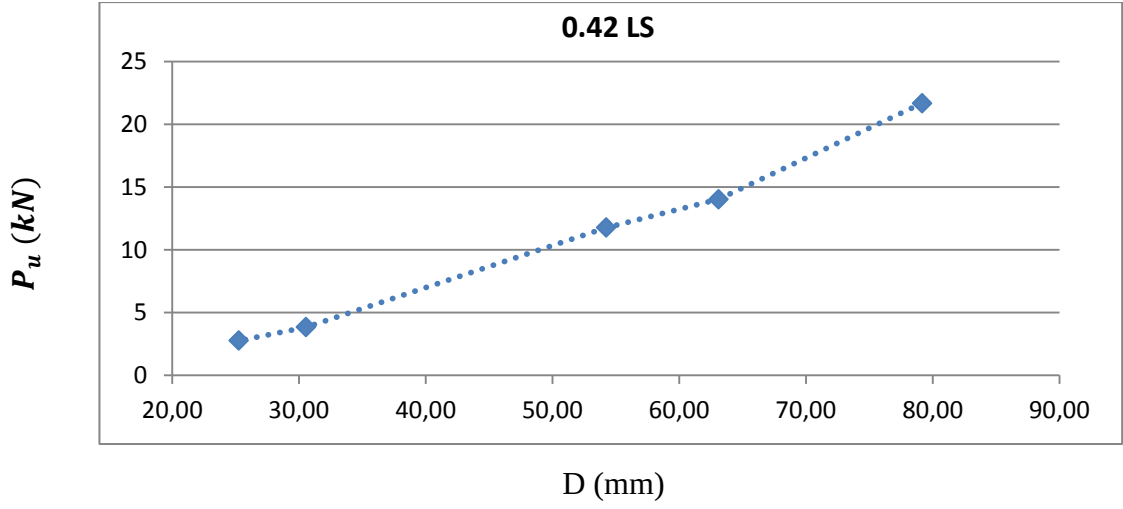
3.5.1. Su Çimento Oranı 0.42 LS ÜP Numunelerin Boyut Etkisi

Su çimento oranı 0.42 lifsiz üçgen plaka numunelerin göçme gerilmeleri için eşitlik 3.1 kullanılmıştır, elde edilen sonuçları çizelge 3.12’de verilip boyut etkisi incelenmiştir.

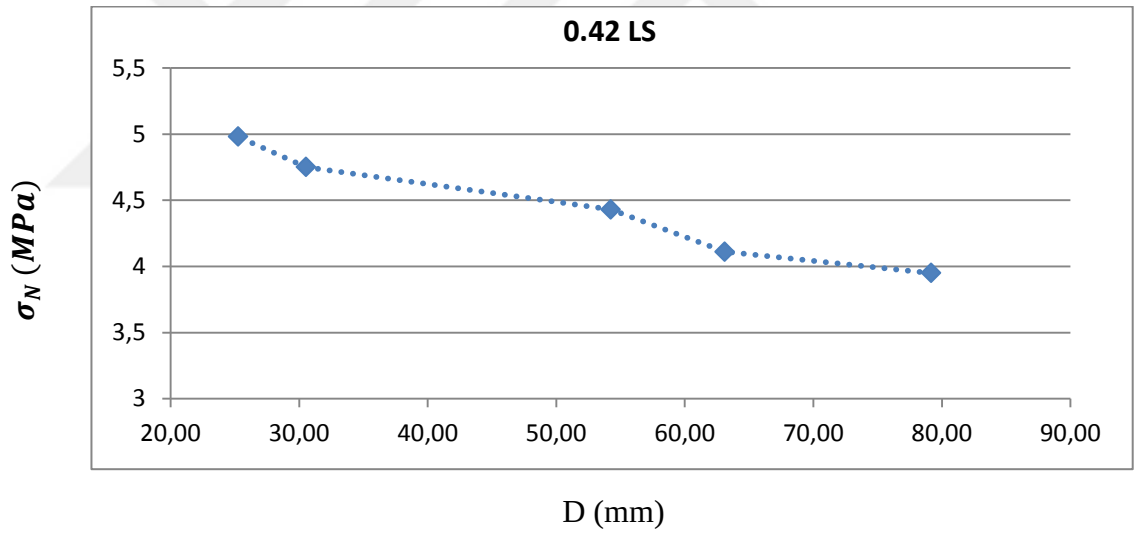
Çizelge 3.12. Su çimento oranı 0.42 lifsiz ÜP numunelerin ortalama göçme yük ve gerilmeleri

Numuneler		Boyutlar		Pu(kN)	Ortalama Pu(Kn)	Gerilme (Mpa)	Ortalama Gerilme (Mpa)
		L (mm)	t (mm)				
R1	R11	1050	79,55	21,681	21,681	3,9561	3,956
	R12	1050	79,00				
	R13	1050	79,00				
R2	R21	875	62,75	14,025	14,025	4,1129	4,113
	R22	875	63,20				
	R23	875	63,40				
R3	R31	700	55,34	11,770	11,770	4,4378	4,438
	R32	700	53,14				
	R33	700	54,25				
R4	R41	700	32,11	4,564	4,223	5,1113	4,808
	R42	700	31,12	3,847		4,5868	
	R43	700	32,25	4,257		4,7262	
R5	R51	420	51,30	10,862	11,657	4,7659	4,941
	R52	420	52,12	12,114		5,1493	
	R53	420	53,13	11,995		4,9067	
R6	R61	420	31,10	3,787	3,838	4,5211	4,750
	R62	420	30,25	3,877		4,8923	
	R63	420	30,31	3,849		4,8378	
R7	R71	350	25,22	3,028	2,755	5,4971	4,986
	R72	350	25,11	2,507		4,5912	
	R73	350	25,44	2,730		4,8708	

Çizelge 3.12’de su çimento oranı 0.42 lifsiz karışım için düzeltilmiş göçme yük ve gerilmeleri vermektedir. Ayrıca çizelge 3,9’den anlaşıldığı üzere üçgen plaka numunelerde t/r oranı sabit olan üçgen seri numunelerde boyut etkisi incelenmiştir. Bu sebeple çizelge 3,12’de verilen R4 ve R5 seri üçgen numuneler boyut etkisi incelemesinde dikkata alınmamıştır.



Şekil 3.19. Su Çimento oranı 0.42 lifsiz ÜP elemanlarda karakteristik boyuta bağlı maksimum yük kapasiteleri



Şekil 3.20. Su Çimento oranı 0.42 lifsiz ÜP elemanlarda boyut etkisi

Şekil 3.19'den anlaşıldığı üzere su çimento oranı 0.42 lifsiz üçgen plakaların kalınlıkları t ve buna bağlı da rijitlik arttığından dolayı bu seri üçgen plakan numunelerde göçme yüklerde artış meydana gelmektedir. Boyut etkisine baktığımızda şekil 3.20'ten anlaşıldığı gibi üçgen plakalar karakteristik boyut yani t 'ye bağlı olarak su çimento oranı 0.42 lifsiz üçgen plaka numunelerde gerilmelerin azalması yani boyut etkisi görülmektedir.

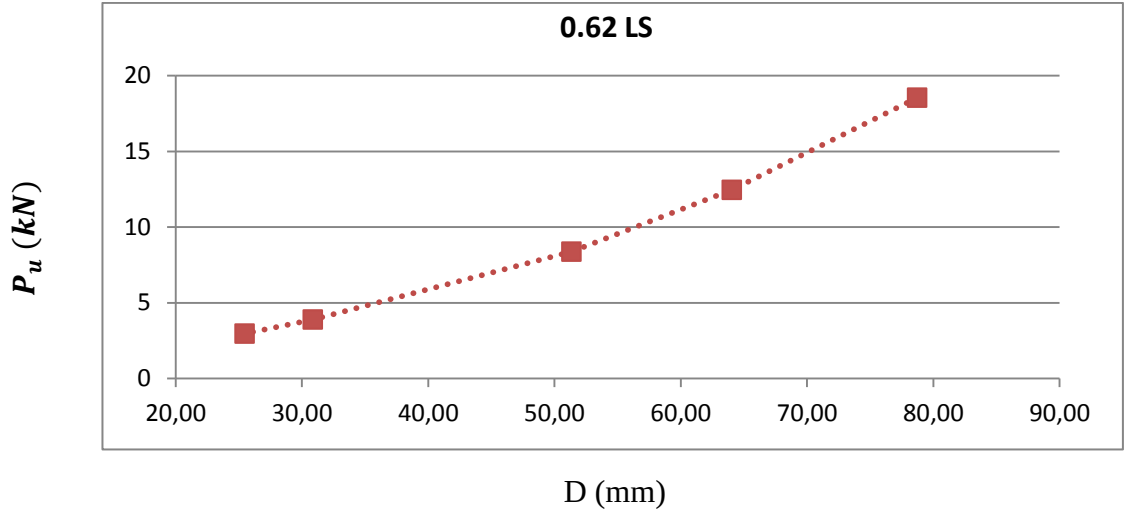
3.5.2. Su Çimento Oranı 0.62 LS ÜP Numunelerin Boyut Etkisi

Su çimento oranı 0.62 lifsiz üçgen plaka numunelerin göçme gerilmeleri için eşitlik 3.1 kullanılmıştır, elde edilen sonuçları çizelge 3.13’de verilip boyut etkisi incelenmiştir.

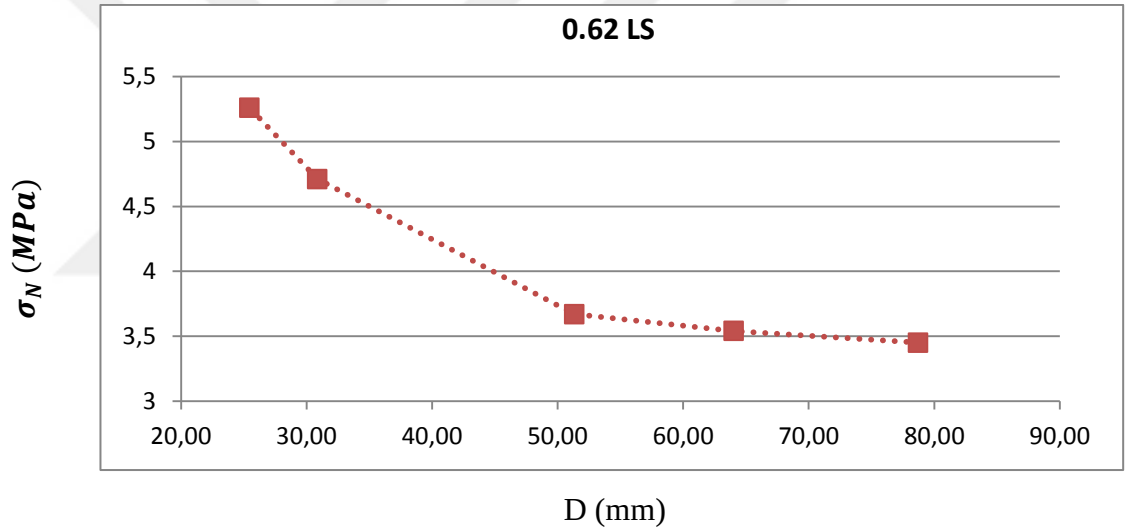
Çizelge 3.13. Su çimento oranı 0.62 lifsiz ÜP numunelerin ortalama göçme yük ve gerilmeleri

Numuneler		Boyutlar		Pu(kN)	Ortalama Pu(Kn)	Gerilme (Mpa)	Ortalama Gerilme (Mpa)
		L (mm)	t (mm)				
R1	R11	1050	78,62	17,199	18,537	3,2130	3,451
	R12	1050	78,70				
	R13	1050	78,87	19,874		3,6892	
R2	R21	8750	64,25	12,052	12,451	3,3712	3,534
	R22	8750	63,35	12,850		3,6973	
	R23	8750	64,54				
R3	R31	700	51,55	7,144	8,372	3,1042	3,670
	R32	700	51,33	8,910		3,9049	
	R33	700	51,13	9,061		4,0022	
R4	R41	700	30,25		2,980		3,469
	R42	700	31,45	3,018		3,5233	
	R43	700	31,54	2,941		3,4138	
R5	R51	420	52,33	8,520	7,904	3,5926	3,333
	R52	420	51,25	7,593		3,3381	
	R53	420	53,47	7,598		3,0687	
R6	R61	420	31,25	4,045	3,888	4,7829	4,711
	R62	420	30,24	3,758		4,7453	
	R63	420	31,11	3,860		4,6053	
R7	R71	350	25,11	2,557	2,958	4,6828	5,268
	R72	350	25,12	3,141		5,7478	
	R73	350	26,13	3,177		5,3729	

Çizelge 3.13’te su çimento oranı 0.62 lifsiz karışım için düzeltilmiş göçme yük ve gerilmeleri vermektedir. Ayrıca çizelge 3,9’dan anlaşıldığı üzere üçgen plaka numunelerde t/r oranı sabit olan üçgen seri numunelerde boyut etkisi incelenmiştir. Bu sebeple çizelge 3.13’te verilen R4 ve R5 seri üçgen numuneler boyut etkisi incelemesinde dikkata alınmamıştır.



Şekil 3.21. Su Çimento oranı 0.62 lifsiz ÜP elemanlarda karakteristik boyuta bağlı maksimum yük kapasiteleri



Şekil 3.22. Su Çimento oranı 0.62 lifsiz ÜP elemanlarda boyut etkisi

Su çimento oranı 0.62 lifsiz üçgen plaka numunelerde Şekil 3.21'ten anlaşıldığı üzere kalınlıkları t ve buna bağlı da rijitlik arttığından dolayı göçme yüklerde artış meydana gelmektedir. Şekil 3.22'den anlaşıldığı gibi üçgen plakalar karakteristik boyut yani t 'ye bağlı olarak su çimento oranı 0.62 lifsiz üçgen plaka deney elemanlarda gerilmelerin azalması yani boyut etkisi görülmektedir.

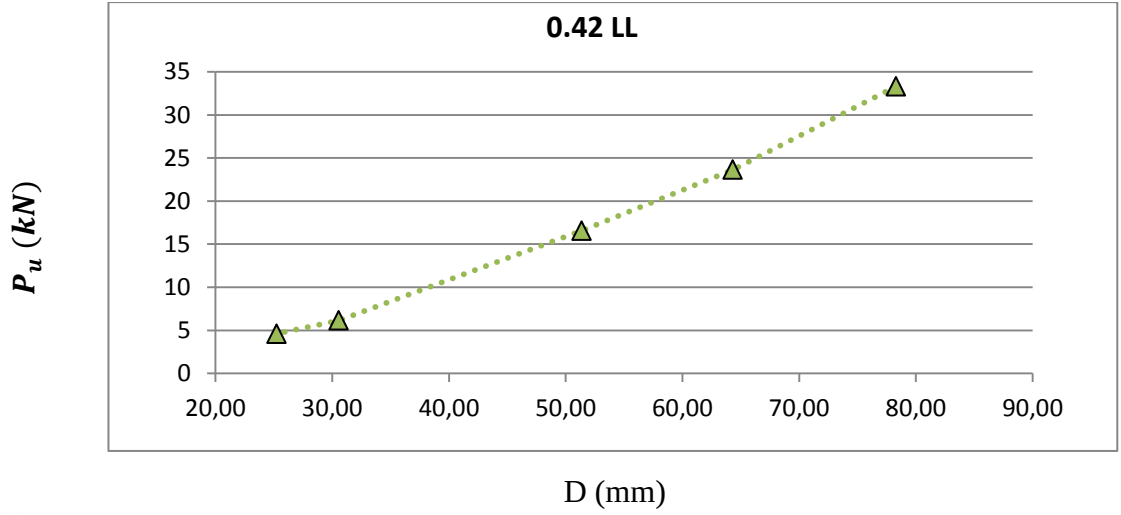
3.5.3. Su Çimento Oranı 0.42 LL ÜP Numunelerin Boyut Etkisi

Su çimento oranı 0.42 lifli üçgen plaka numunelerin göçme gerilmeleri için eşitlik 3.1 kullanılmıştır, elde edilen sonuçları çizelge 3.11’de verilip boyut etkisi incelenmiştir.

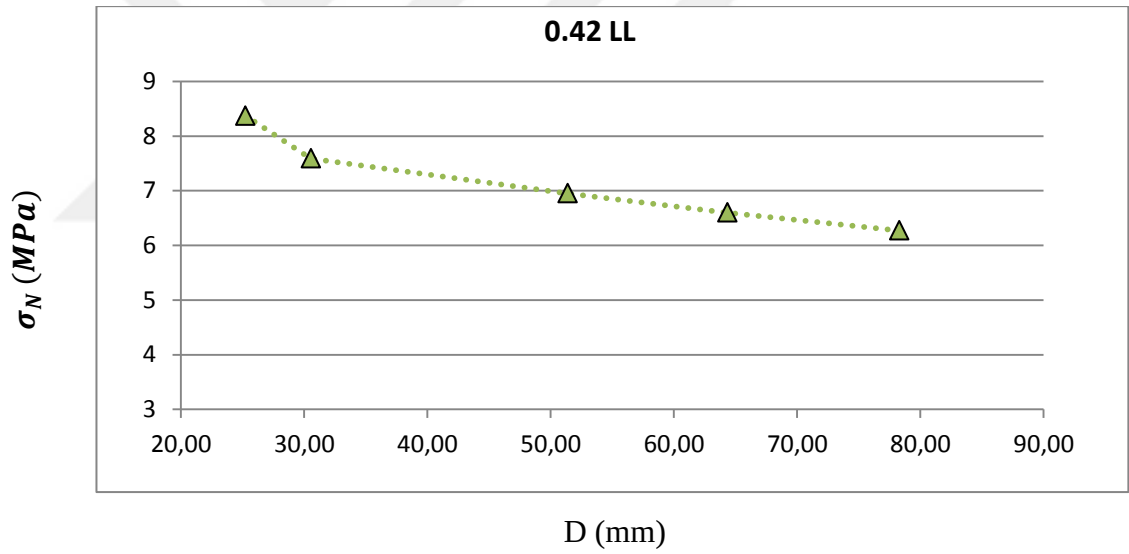
Çizelge 3.14. Su çimento oranı 0.42 lifli ÜP numunelerin ortalama göçme yük ve gerilmeleri

Numuneler		Boyutlar		Pu(kN)	Ortalama Pu(Kn)	Gerilme (Mpa)	Ortalama Gerilme (Mpa)
		L (mm)	t (mm)				
R1	R11	1050	78,50	30,711	33,292	5,7547	6,271
	R12	1050	78,10	33,877		6,4132	
	R13	1050	78,30	35,287		6,6460	
R2	R21	8750	65,45	23,481	23,636	6,3295	6,601
	R22	8750	63,21	24,163		6,9831	
	R23	8750	64,34	23,265		6,4895	
R3	R31	700	51,42		16,595		6,952
	R32	700	50,22				
	R33	700	52,50	16,595		6,9523	
R4	R41	700	31,25	6,439	6,440	7,6136	7,617
	R42	700	32,11				
	R43	700	31,24	6,440		7,6196	
R5	R51	420	51,13	14,971	15,714	6,6125	6,875
	R52	420	51,71	17,475		7,5464	
	R53	420	51,23	14,695		6,4653	
R6	R61	420	30,32	5,688	6,137	7,1445	7,596
	R62	420	31,11	6,261		7,4699	
	R63	420	30,21	6,461		8,1746	
R7	R71	350	25,23	4,412	4,609	8,0033	8,373
	R72	350	25,34	3,906		7,0241	
	R73	350	25,11	5,510		10,0908	

Çizelge 3.14’de su çimento oranı 0.42 lifli karışım için düzeltilmiş göçme yük ve gerilmeleri vermektedir. Ayrıca çizelge 3,9’den anlaşıldığı üzere üçgen plaka numunelerde t/r oranı sabit olan üçgen seri numunelerde boyut etkisi incelenmiştir. Bu sebeple çizelge 3.14’de verilen R4 ve R5 seri üçgen numuneler boyut etkisi incelemesinde dikkata alınmamıştır.



Şekil 3.23. Su Çimento oranı 0.42 lifli ÜP elemanlarda karakteristik boyuta bağlı maksimum yük kapasiteleri



Şekil 3.24. Su Çimento oranı 0.42 lifli ÜP elemanlarda boyut etkisi

Su çimento oranı 0.42 lifli üçgen plaka numunelerde Şekil 3.22'den anlaşıldığı üzere kalınlıkları t ve buna bağlı da rijitlik arttığından dolayı göçme yüklerde artış meydana gelmektedir. Şekil 3.24'den anlaşıldığı gibi üçgen plakalar karakteristik boyut yani t 'ye bağlı olarak su çimento oranı 0.42 lifli üçgen plaka deney elemanlarda gerilmelerin azalması yani net bir şekilde boyut etkisi görülmektedir. Üçgen plaka numunelerde en kuvvetli boyut etkisi 0.62 lifsiz oranda ve ne zayıf boyut etkisi ise 0.42 lifli oranda görülmektedir.

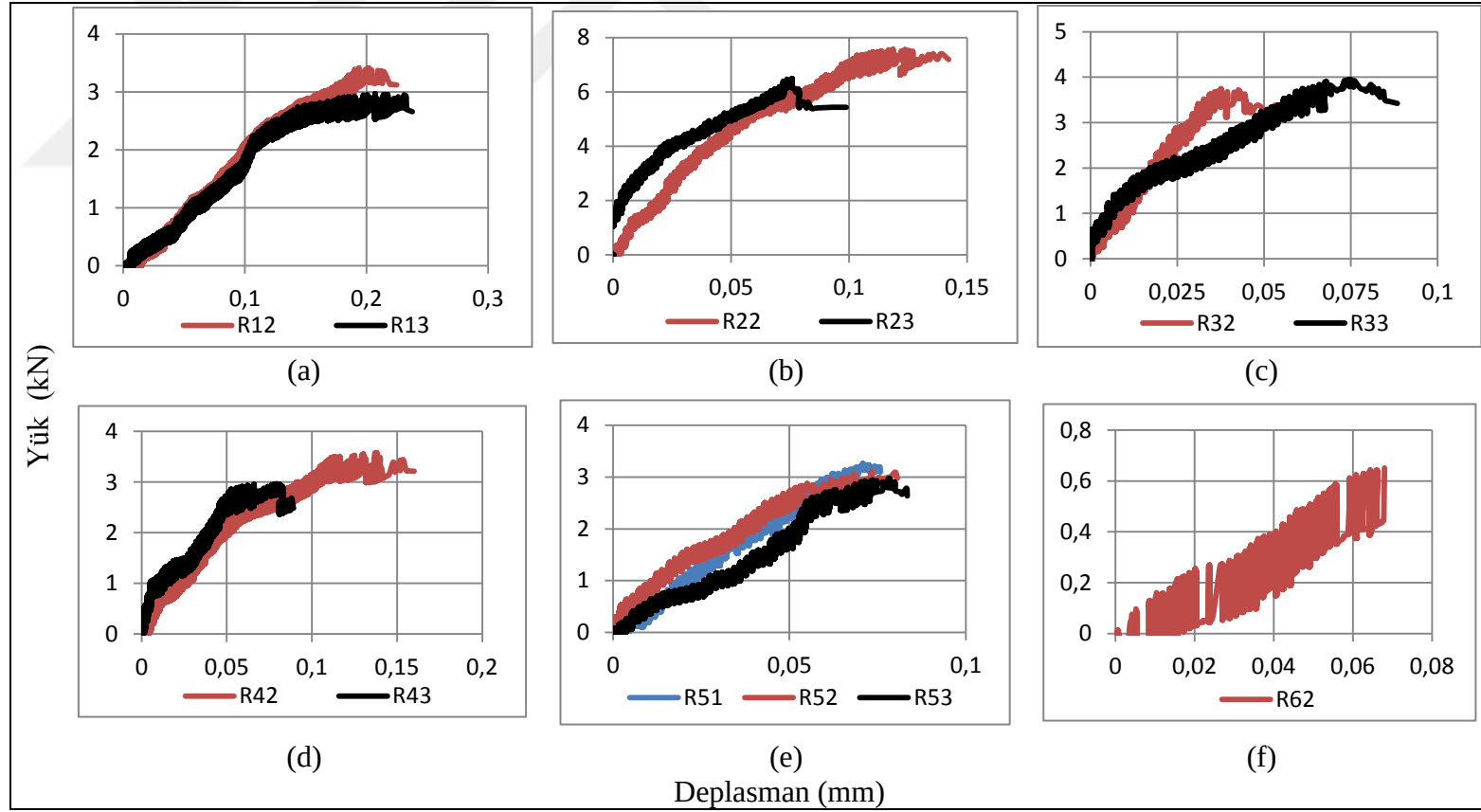
3.6. KE Numunelerin Deney Sonuçları

Her bir su çimento oranı için KE numunelerin deney sonuçları çizelge 3.15'te verilmiştir. Ayrıca her bir s/c oranı 0.42 LS, s/c oranı 0.62 LS, ve s/c oranı 0.42 LL için şekil 3.25-3.27'de yük-deplasman grafikeri verilmiştir.

Çizelge 3.15. Kiriş eleman numunelerin göçme yükleri

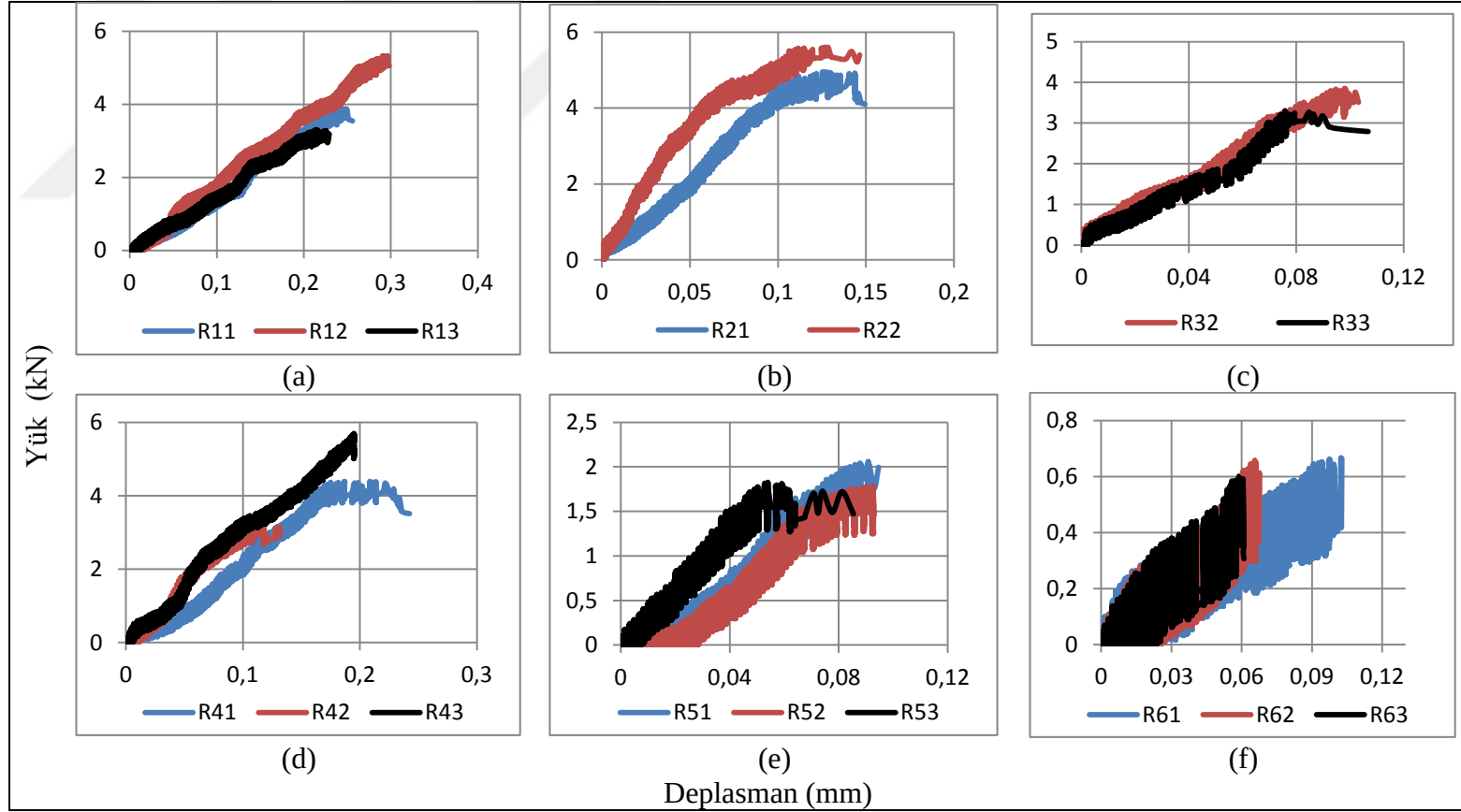
Numuneler		Boyutlar				Su çimento oranına göre göçme yükleri		
		L (mm)	Ls (mm)	D (mm)	B (mm)	0.42 LS	0.62 LS	0.42 LL
R1	R11	800	600	75	75	-	3,946	7,911
	R12	800	600	75	75	3,417	5,333	6,776
	R13	800	600	75	75	2,971	3,307	8,258
R2	R21	600	400	100	100	-	4,947	13,521
	R22	600	400	100	100	7,571	5,603	13,200
	R23	600	400	100	100	6,500	-	13,731
R3	R31	500	300	75	75	3,277	-	6,333
	R32	500	300	75	75	3,748	3,853	5,697
	R33	500	300	75	75	3,951	3,300	5,043
R4	R41	650	450	75	75	-	4,390	6,398
	R42	650	450	75	75	3,582	3,251	6,142
	R43	650	450	75	75	2,966	5,694	7,685
R5	R51	400	200	50	50	3,262	2,058	3,221
	R52	400	200	50	50	3,109	1,785	3,495
	R53	400	200	50	50	2,976	1,826	-
R6	R61	320	120	30	30	-	0,667	-
	R62	320	120	30	30	0,651	0,658	0,815
	R63	320	120	30	30	-	0,599	-

Yukarıdaki çizelgede su çimento oranı 0.42 lifsiz numunelerde R11, R21, R41, R61, R63 ve su çimento oranı 0.62 lifsiz numunelerde R23, R31 ve su çimento oranı 0.42 lifli numunelerde R53, R61, R63 nolu kiriş numuneler yanlış bir yükleme hızla kırıldığından ayrıca kırma sırasında veya döküm sırasında yapılan hatalardan ayrıca hava ve sağlam ortamda kürleneme nedenlerden dolayı çizelge 3.15'te bu numunenin taşıdığı maksimum yük verilmemiştir.



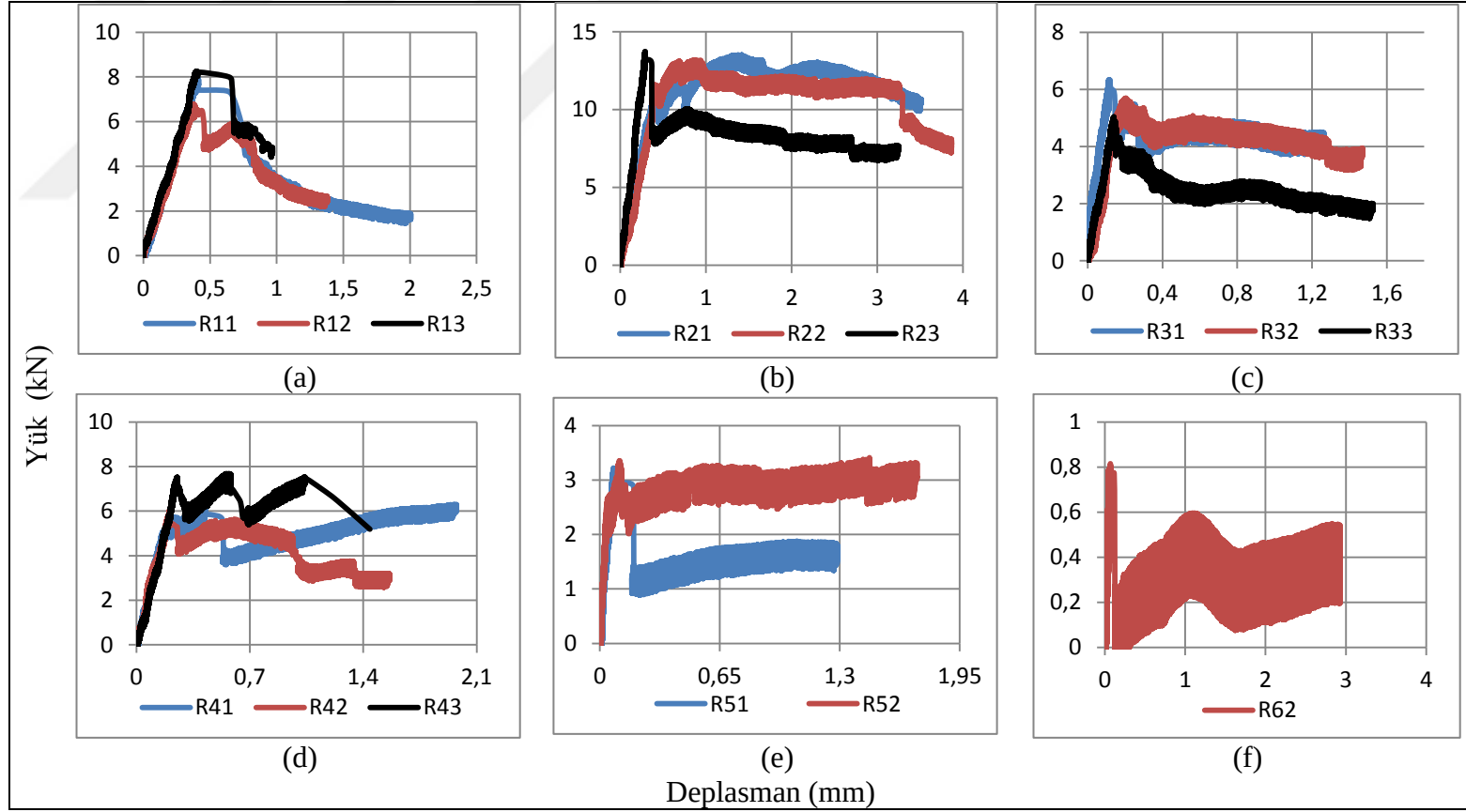
Şekil 3.25. Su çimento oranı 0.42 lifsiz KE numunelerin, a) R1, b) R2, c) R3, d) R4, e) R5 ve f) R6 nolu kiriş numunelerin yük-deplasman grafikleri

Yukarıdaki yük-deplasman grafikleri net anlaşılabilmek için bu çalışmanın EK'ler bölümünde tüm grafikleri ayrı ayrı verilmiştir.



Şekil 3.26. Su çimento oranı 0.62 lifsiz KE numunelerin, a) R1, b) R2, c) R3, d) R4, e) R5 ve f) R6 nolu kiriş numunelerin yük-deplasman grafikleri

Yukarıdaki yük-deplasman grafikleri net anlaşılabilmek için bu çalışmanın EK'ler bölümünde tüm grafikleri ayrı ayrı verilmiştir.



Şekil 3.27. Su çimento oranı 0.42 lifli KE numunelerin, a) R1, b) R2, c) R3, d) R4, e) R5 ve f) R6 nolu kiriş numunelerin yük-deplasman grafikleri

Yukarıdaki yük-deplasman grafikleri net anlaşılabilmek için bu çalışmanın EK'ler bölümünde tüm grafikleri ayrı ayrı verilmiştir.

Kiriş eleman numunelerimiz farklı geometriye sahip olduğundan dolayı nominal göçme gerilmeleri için eşitlik 4.3 kullanılmıştır. (Amin 2013)

$$\sigma_N = \frac{M}{I} (y) \quad 3.3$$

Eşitlik 4.3'te M yükleme sonucunda kirişte oluşan moment diğeri, I kirişteki atalet momenti, L_s kirişlerde mesnetler arası mesafe ve y ise kiriş yüksekliğın yarısıdır. Kirişlerde moment eşitlik 4.4'te atalet momenti eşitlik 4.5'te ve y değeri eşitlik 3.6'da verilmektedir.

$$M = \frac{P_u L_s}{4} \quad 3.4$$

$$I = \frac{BD^3}{12} \quad 3.5$$

$$y = \frac{D}{2} \quad 3.6$$

Kiriş numunelerimiz çentiksiz olduğundan dolayı boyut etkisi analizleri için Bazant'ın Type I boyut etkisi yasası kullanılmıştır tip 1 boyut etkisi yasası çentiksiz elemanlar için geçerli olup eşitlik 4.7'de verilmiştir.

$$\sigma_N = f_r^\infty \left[1 + \frac{D_b}{D} \right] \quad 3.7$$

Kiriş numuneler farklı geometriye sahip olduğundan ve tüm kiriş numunelerde tüm kiriş numunelerde sabit bir boyut olmadığından dolayı her bir boyuttaki kiriş numunelerin kirişlerin yükseklikleri karakteristik boyut D olarak seçilmiştir.

Döküm işçiliğı, hava koşulları, kürlleme durumları, mikser kapasitesi, ayrıca kırma sırasında yapılan hataları dikkate alınarak yukarıdaki göçme yüklerinde her bir seri numunelerde ortalama göçme yüklerin hesabında gereken düzeltmeler yapılacaktır. Dolayısıyla beklenen bir şekilde kırılmayan kiriş numunelerin sonuçları iptal edip çıkartılmıştır daha sonra ortalama göçme yüklerine göre gerilmeler elde edilip boyut etkisi incelenmiştir.

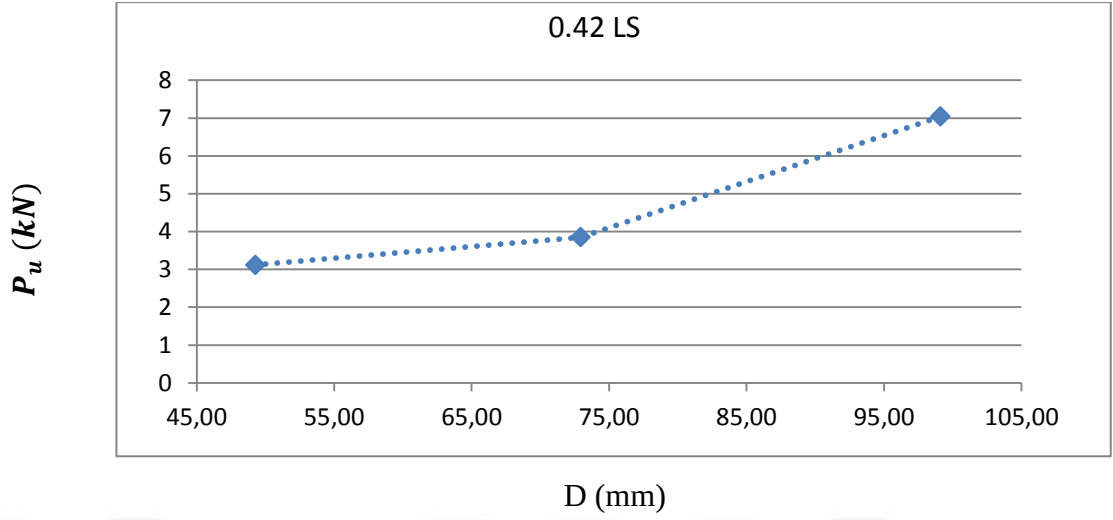
3.6.1. Su Çimento Oranı 0.42 LS KE Numunelerin Boyut Etkisi

Su çimento oranı 0.42 lifsiz KE numunelerin göçme gerilmeleri için eşitlik 3.3 kullanılmıştır, elde edilen sonuçları çizelge 3.16’de verilip boyut etkisi incelenmiştir.

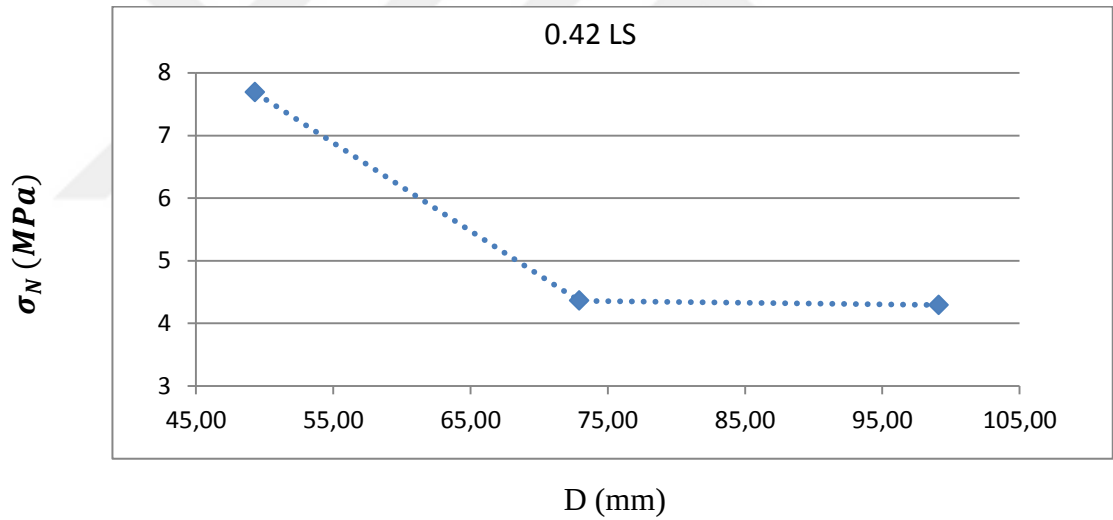
Çizelge 3.16. Su çimento oranı 0.42 lifsiz KE numunelerin ortalama göçme yük ve gerilmeleri

Numuneler		Boyutlar				Pu(kN)	Ortalama Pu(kN)	Gerilme (Mpa)	Ortalama Gerilme (MPa)
		L (mm)	Ls (mm)	h (mm)	b (mm)				
R1	R11	800	600	73.45	75		3.19		6.98
	R12	800	600	74.10	75	3.417		7.468	
	R13	800	600	74.11	75	2.971		6.491	
R2	R21	600	400	98.84	100		7.04		4.29
	R22	600	400	99.35	100	7.571		4.602	
	R23	600	400	99.12	100	6.500		3.970	
R3	R31	500	300	73.22	75		3.85		4.36
	R32	500	300	73.47	75	3.748		4.166	
	R33	500	300	72.10	75	3.951		4.560	
R4	R41	650	450	73.75	75		3.27		5.35
	R42	650	450	74.23	75	3.582		5.851	
	R43	650	450	74.16	75	2.966		4.854	
R5	R51	400	200	49.31	50	3.262	3.12	8.049	7.69
	R52	400	200	49.44	50	3.109		7.632	
	R53	400	200	49.12	50	2.976		7.401	
R6	R61	320	120	28.33	30		0.65		4.61
	R62	320	120	29.10	30	0.651		4.613	
	R63	320	120	28.22	30				

Çizelge 3.16’de su çimento oranı 0.42 lifsiz karışım için düzeltilmiş göçme yük ve gerilmeleri vermektedir. Ayrıca çizelge 3,10’den anlaşıldığı üzere kiriş eleman numunelerde h/Ls oranı sabit olan seri kiriş numunelerde boyut etkisi incelenmiştir. Bu sebeple çizelge 3,16’de verilen R1 ve R4 seri kiriş numuneler boyut etkisi incelemesinde dikkata alınmamıştır. R6 nolu kiriş eleman numuneleri çok küçük boyuta sahip olduğundan dolayı kırma platformuna yerleştirilemediğinden yükleme çizgiller doğrultusunda kırılmamıştır bu sebeple kiriş numunelerin boyut etkisi incelenmesinde dikkata alınmamıştır.



Şekil 3.28. Su Çimento oranı 0.42 lifsiz KE elemanlarda karakteristik boyuta bağlı maksimum yük kapasiteleri



Şekil 3.29. Su Çimento oranı 0.42 lifsiz KE elemanlarda boyut etkisi

Su çimento oranı 0.42 lifsiz KE numunelerde Şekil 3.28'den anlaşıldığı üzere bu grup kiriş numunelerde kirişlerin yüksekliği ve rijitlik arttığından dolayı göçme yüklerde artış meydana gelmiştir. Şekil 3.29'ta görüldüğü üzere kiriş elemanlarda karakteristik boyut yani kiriş yüksekliğine bağlı olarak bu grup deney elemanlarda gerilmelerin azalması yani boyut etkisi görülmekte.

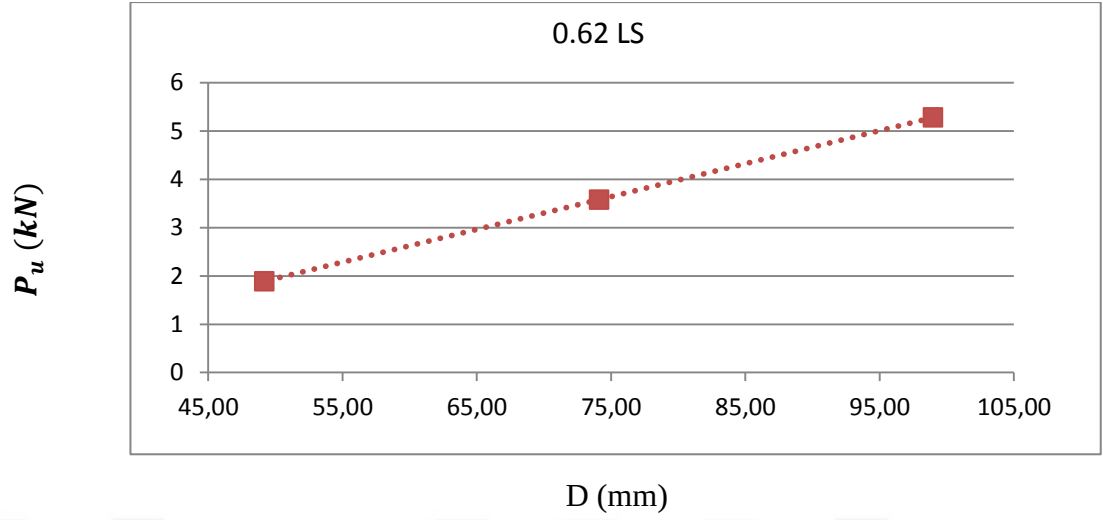
3.6.2. Su Çimento Oranı 0.62 LS KE Numunelerde Boyut Etkisi

Su çimento oranı 0.62 lifsiz KE numunelerin göçme gerilmeleri için eşitlik 3.3 kullanılmıştır, elde edilen sonuçları çizelge 3.17’de verilip boyut etkisi incelenmiştir.

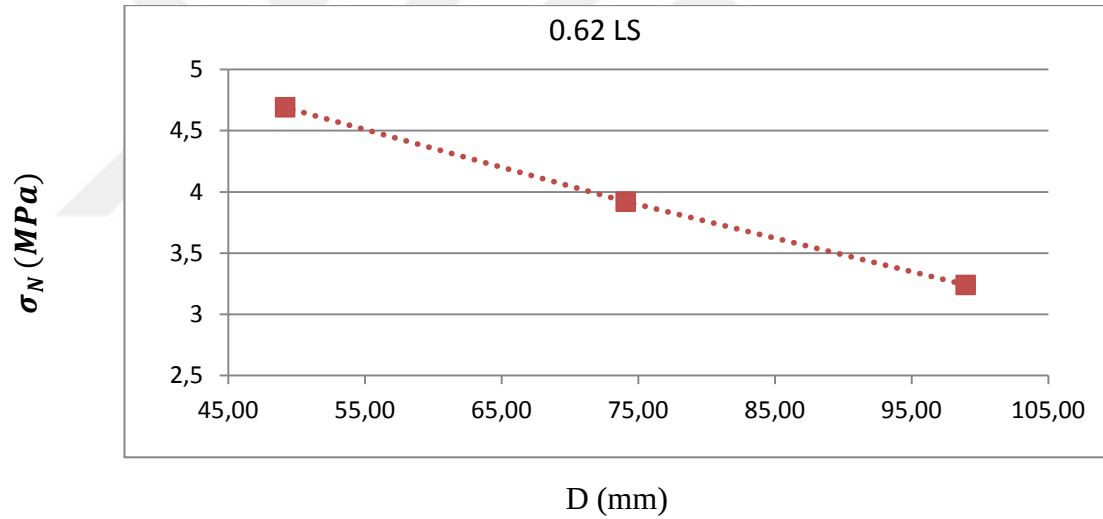
Çizelge 3.17. Su çimento oranı 0.62 lifsiz KE numunelerin ortalama göçme yük ve gerilmeleri

Numuneler		Boyutlar				Pu(kN)	Ortalama Pu(kN)	Gerilme (Mpa)	Ortalama Gerilme (Mpa)
		L (mm)	Ls (mm)	h (mm)	b (mm)				
R1	R11	800	600	73.85	75	3.946	4.20	8.682	9.23
	R12	800	600	73.66	75	5.333		11.795	
	R13	800	600	74.10	75	3.307		7.227	
R2	R21	600	400	99.22	100	4.947	5.28	3.015	3.24
	R22	600	400	98.54	100	5.603		3.462	
	R23	600	400	99.15	100				
R3	R31	500	300	74.22	75		3.58		3.92
	R32	500	300	73.67	75	3.853		4.260	
	R33	500	300	74.44	75	3.300		3.573	
R4	R41	650	450	74.43	75	4.390	4.45	7.132	7.23
	R42	650	450	73.65	75	3.251		5.394	
	R43	650	450	74.75	75	5.694		9.171	
R5	R51	400	200	49.34	50	2.058	1.89	5.072	4.69
	R52	400	200	48.76	50	1.785		4.505	
	R53	400	200	49.44	50	1.826		4.482	
R6	R61	320	120	28.50	29	0.667	0.64	5.097	4.89
	R62	320	120	28.45	29	0.658		5.046	
	R63	320	120	28.65	29	0.599		4.530	

Çizelge 3.17’de su çimento oranı 0.62 lifsiz karışım için düzeltilmiş göçme yük ve gerilmeleri vermektedir. Ayrıca çizelge 3,10’den anlaşıldığı üzere kiriş eleman numunelerde h/Ls oranı sabit olan seri kiriş numunelerde boyut etkisi incelenmiştir. Bu sebeple çizelge 3,17’de verilen R1 ve R4 seri kiriş numuneler boyut etkisi incelemesinde dikkata alınmamıştır. R6 nolu kiriş eleman numuneleri çok küçük boyuta sahip olduğundan dolayı kırma platformuna yerleştirilemediğinden yükleme çizgiller doğrultusunda kırılmamıştır bu sebeple kiriş numunelerin boyut etkisi incelenmesinde dikkata alınmamıştır.



Şekil 3.30. Su Çimento oranı 0.62 lifsiz KE elemanlarda karakteristik boyuta bağlı maksimum yük kapasiteleri



Şekil 3.31. Su Çimento oranı 0.62 lifsiz KE elemanlarda boyut etkisi

Su çimento oranı 0.62 lifsiz KE numunelerde Şekil 3.30'ten anlaşıldığı üzere bu grup kiriş numunelerde kirişlerin yüksekliği ve rijitlik arttığından dolayı göçme yüklerde artış meydana gelmiştir. Şekil 3.31'te görüldüğü üzere kiriş elemanlarda karakteristik boyut yani kiriş yüksekliğine bağlı olarak bu grup deney elemanlarda gerilmelerin azalması yani net boyut etkisi görülmektedir.

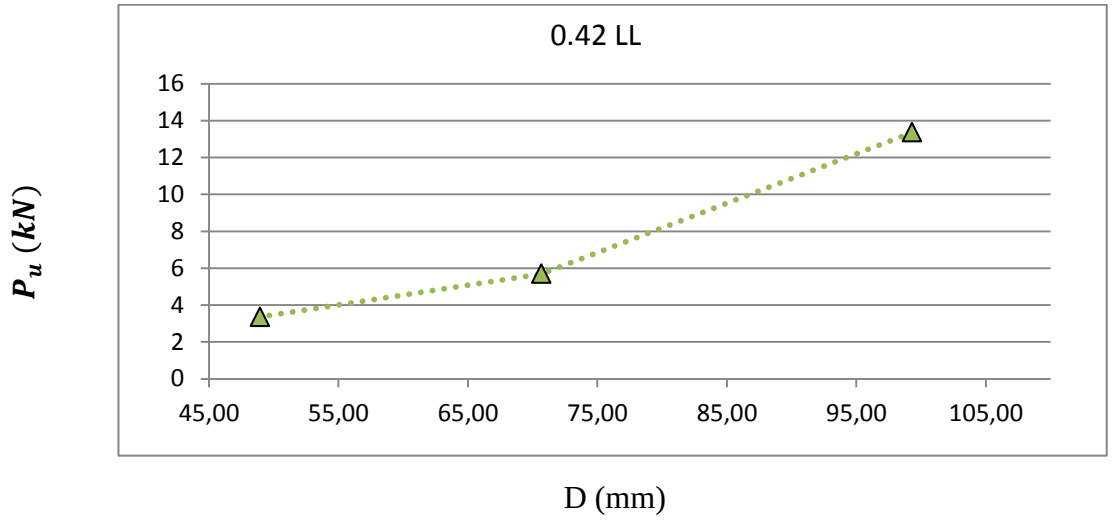
3.6.3. Su Çimento Oranı 0.42 LL KE Numunelerde Boyut Etkisi

Su çimento oranı 0.42 lifli KE numunelerin göçme gerilmeleri için eşitlik 3.3 kullanılmıştır, elde edilen sonuçları çizelge 3.18’de verilip boyut etkisi incelenmiştir.

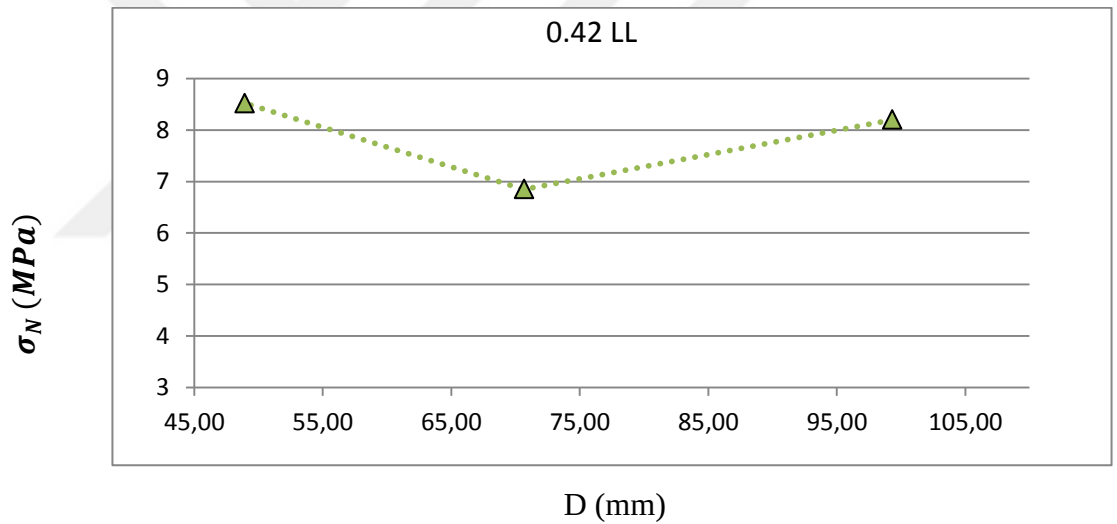
Çizelge 3.18. Su çimento oranı 0.42 lifli KE numunelerin ortalama göçme yük ve gerilmeleri

Numuneler		Boyutlar				Pu(kN)	Ortalama Pu(kN)	Gerilme (Mpa)	Ortalama Gerilme (MPa)
		L (mm)	Ls (mm)	h (mm)	b (mm)				
R1	R11	800	600	74.72	75	7.911	7.65	17.004	16.71
	R12	800	600	74.65	75	6.776		14.591	
	R13	800	600	73.10	75	8.258		18.545	
R2	R21	600	400	98.85	100	13.521	13.48	8.302	8.20
	R22	600	400	99.63	100	13.200		7.979	
	R23	600	400	99.45	100	13.731		8.330	
R3	R31	500	300	70.00	75	6.333	5.69	7.755	6.85
	R32	500	300	71.00	75	5.697		6.781	
	R33	500	300	71.00	75	5.043		6.002	
R4	R41	650	450	74.23	75	6.398	6.74	10.450	11.08
	R42	650	450	74.20	75	6.142		10.040	
	R43	650	450	73.65	75	7.685		12.751	
R5	R51	400	200	49.11	50	3.221	3.36	8.013	8.52
	R52	400	200	48.20	50	3.495		9.026	
	R53	400	200	49.50	50				
R6	R61	320	120	29.00	30		0.82		6.02
	R62	320	120	28.50	30	0.815		6.020	
	R63	320	120	29.22	30				

Çizelge 3.18’de su çimento oranı 0.42 lifli karışım için düzeltilmiş göçme yük ve gerilmeleri vermektedir. Ayrıca çizelge 3,10’den anlaşıldığı üzere kiriş eleman numunelerde h/Ls oranı sabit olan seri kiriş numunelerde boyut etkisi incelenmiştir. Bu sebeple çizelge 3,18’de verilen R1 ve R4 seri kiriş numuneler boyut etkisi incelemesinde dikkata alınmamıştır. R6 nolu kiriş eleman numuneleri çok küçük boyuta sahip olduğundan dolayı kırma platformuna yerleştirilemediğinden yükleme çizgiller doğrultusunda kırılmamıştır bu sebeple kiriş numunelerin boyut etkisi incelenmesinde dikkata alınmamıştır.



Şekil 3.32. Su Çimento oranı 0.42 lifli KE elemanlarda karakteristik boyuta bağlı maksimum yük kapasiteleri



Şekil 3.33. Su Çimento oranı 0.42 lifli KE elemanlarda boyut etkisi

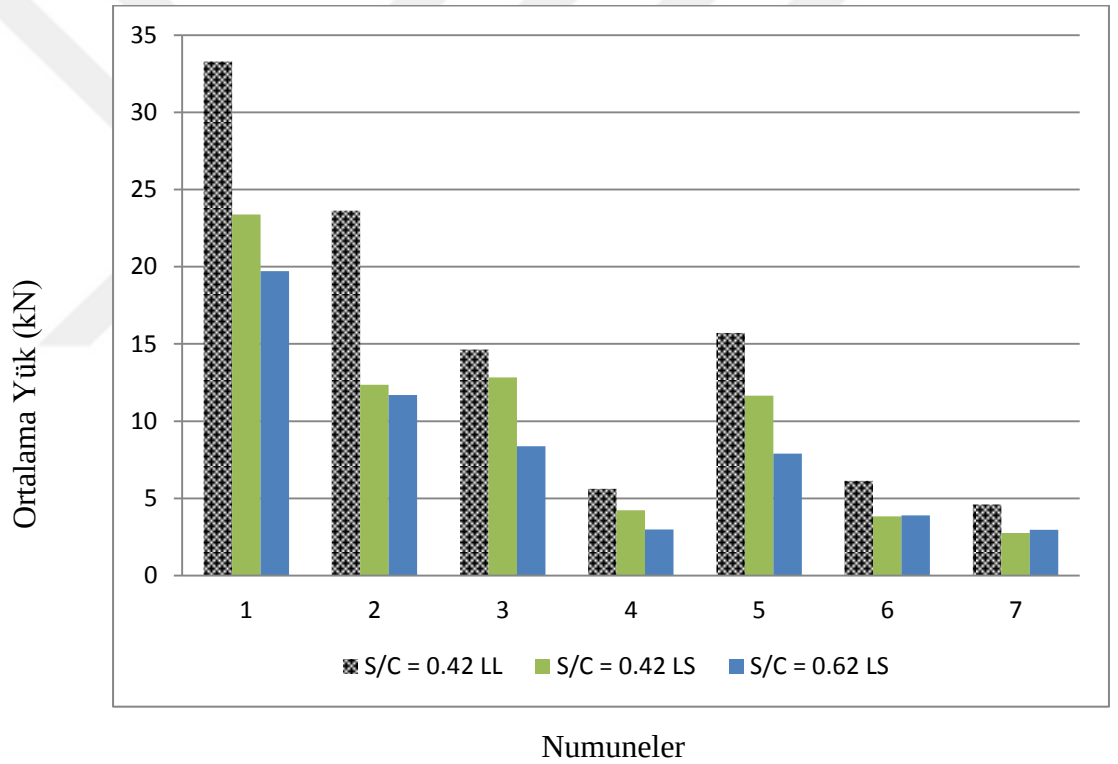
Su çimento oranı 0.42 lifli KE numunelerde Şekil 3.32’den anlaşıldığı üzere bu grup kiriş numunelerde kirişlerin yüksekliği ve rijitlik arttığından dolayı göçme yüklerde artış meydana gelmiştir. Şekil 3.33’da görüldüğü üzere lifli kiriş eleman numunelerde net bir boyut etkisi görülmemektedir. Bunun sebebi kiriş numunelerin boyutları kullanılan lif boyutuna göre küçük oranında olduğunu düşünülmektedir. Kiriş numunelerde 0.42 ile 0.62 lifsiz su çimento oranlarında 0.42 lifsiz oranda daha kuvvetli boyut etkisi görülmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

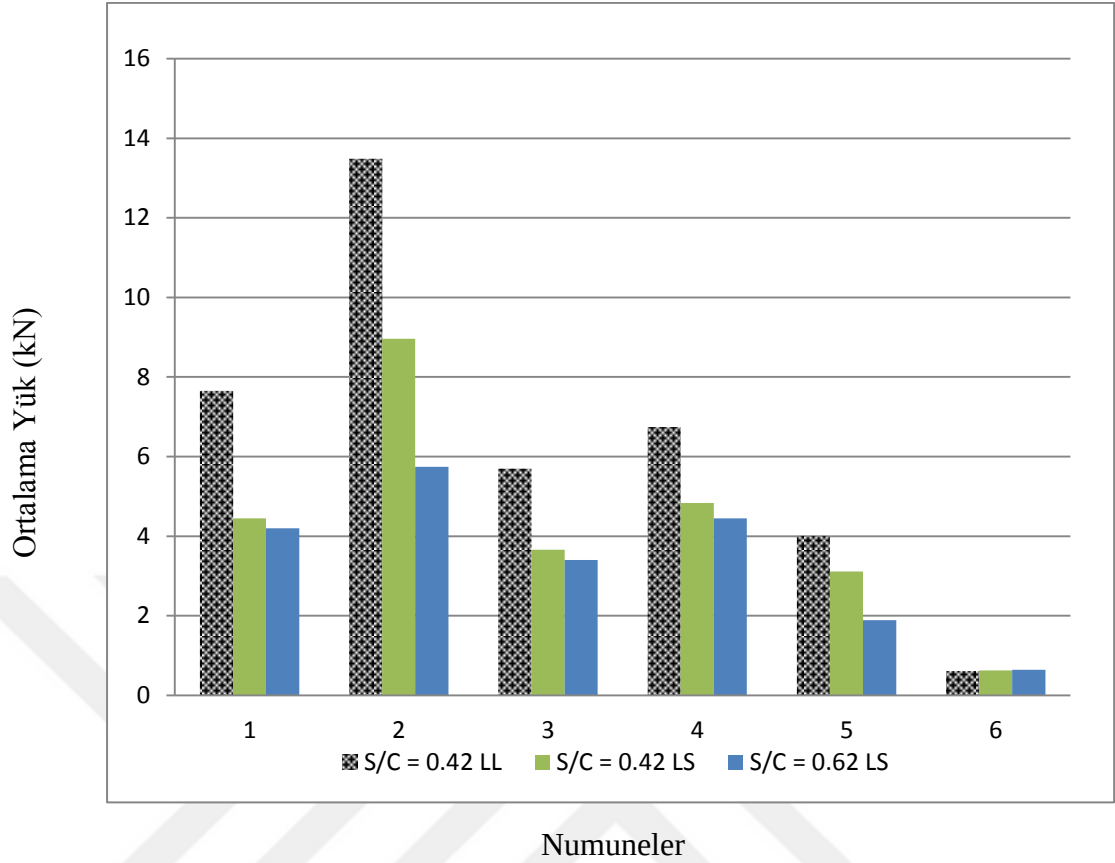
Bu bölümde boyut etkisi analizlerin lineer regresyonlar, KE ve ÜP numunelerin boyut etkisi karşılaştırması ve her bir karışıma ait hem ÜP hem de KE numunelerde göçme yüklerde artış ve azalmalar değerlendirilmiştir.

4.1. LS ile LL Numunelerde Göçme Yüklerin Karşılaştırması

Lifli ile lifsiz numunelerde göçme yüklerinde beklenen artış miktarları elde edilmiştir numunelerin lifsiz ile lifli göçme yüklerdeki artış miktarları şekil 4.1’de ÜP ve şekil 4.2’de KE için verilmektedir.



Şekil 4.1. ÜP numunelerde LS ile LL ortalama göçme yüklerdeki artış grafiği



Şekil 4.2. KE numunelerde LS ile LL ortalama göçme yüklerdeki artış grafiği

Şekil 4.1-4.2'den anlaşılmak üzere ÜP ve KE numunelerde lifsiz ile lifli arasında artış miktarları mevcut bunun yanında su çimento oranı 0.42 lifsiz numunelerden su çimento oranı 0.62 lifsiz numunelere göre göçme yüklerde artış beklenmektedir bu artış R6 seri kiriş numunelerden ve R6 ve R7 seri üçgen numunelerden elde edilmemiştir bunun sebebi ise döküm sırasında yapılan hatalar düşünülmektedir diğer tüm numunelerde numuneler boyutlar ve şekillere göre beklenen artış elde edilmiştir. Konuyu daha iyi anlaşılması üzere çizelge 4.1-4.3'te ÜP numunelerin ortalama göçme yüklerde artış yüzdeleri ve çizelge 4.4-4.6'da KE numunelerin ortalama göçme yüklerde artış yüzdeleri her bir su çimento oran, lifli ve lifsiz karışımlar için verilmektedir.

Çizelge 4.1. ÜP Numunelerde su çimento oranı 042LS ile 042LL ortalama göçme yüklerdeki artış yüzdeleri

Numuneler	Ortalama Yük (kN)		Artış (kN)	Artış (%)
	Su Çimento Oranı			
	0.42 LS	0.42 LL		
R1	23.39	33.29	9.90	42.33
R2	12.35	23.64	11.29	91.39
R3	12.83	14.64	1.81	14.07
R4	4.22	5.62	1.40	33.05
R5	11.66	15.71	4.06	34.80
R6	3.84	6.14	2.30	59.91
R7	2.76	4.61	1.85	67.31

Çizelge 4.2. ÜP Numunelerde su çimento oranı 062LS ile 042LL ortalama göçme yüklerdeki artış yüzdeleri

Numuneler	Ortalama Yük (kN)		Artış (kN)	Artış (%)
	Su Çimento Oranı			
	0.62 LS	0.42 LL		
R1	19.72	33.29	13.57	68.82
R2	11.69	23.64	11.95	102.18
R3	8.37	14.64	6.27	74.84
R4	2.98	5.62	2.64	88.53
R5	7.90	15.71	7.81	98.81
R6	3.89	6.14	2.25	57.85
R7	2.96	4.61	1.65	55.81

Çizelge 4.3. ÜP Numunelerde su çimento oranı 062LS ile 042LL ortalama göçme yüklerdeki artış yüzdeleri

Numuneler	Ortalama Yük (kN)		Artış (kN)	Artış (%)
	Su Çimento Oranı			
	0.62 LS	0.42 LS		
R1	19.72	23.39	3.67	18.61
R2	11.69	12.35	0.66	5.64
R3	8.37	12.83	4.46	53.27
R4	2.98	4.22	1.24	41.70
R5	7.90	11.66	3.75	47.49
R6	3.89	3.84	-0.05	-1.29
R7	2.96	2.76	-0.20	-6.87

Çizelge 4.4. KE Numunelerde su çimento oranı 042LS ile 042LL ortalama göçme yüklerdeki artış yüzdeleri

Numuneler	Ortalama Yük (kN)		Artış (kN)	Artış (%)
	Su Çimento Oranı			
	0.42 LS	0.42 LL		
R1	4.45	7.65	3.20	71.95
R2	8.96	13.48	4.52	50.46
R3	3.66	5.69	2.03	55.55
R4	4.84	6.74	1.91	39.43
R5	3.12	4.01	0.89	28.57
R6	0.62	0.61	-0.01	-1.52

Çizelge 4.5. KE Numunelerde su çimento oranı 062LS ile 042LL ortalama göçme yüklerdeki artış yüzdeleri

Numuneler	Ortalama Yük (kN)		Artış (kN)	Artış (%)
	Su Çimento Oranı			
	0.62 LS	0.42 LL		
R1	4.20	7.65	3.45	82.31
R2	5.74	13.48	7.74	134.93
R3	3.40	5.69	2.29	67.38
R4	4.45	6.74	2.30	51.67
R5	1.89	4.01	2.12	111.98
R6	0.64	0.61	-0.03	-4.26

Çizelge 4.6. KE Numunelerde su çimento oranı 062LS ile 042LS ortalama göçme yüklerdeki artış yüzdeleri

Numuneler	Ortalama Yük (kN)		Artış (kN)	Artış (%)
	Su Çimento Oranı			
	0.62 LS	0.42 LS		
R1	4.20	4.45	0.25	6.02
R2	5.74	8.96	3.22	56.14
R3	3.40	3.66	0.26	7.61
R4	4.45	4.84	0.39	8.78
R5	1.89	3.12	1.23	64.88
R6	0.64	0.62	-0.02	-2.78

4.2. Numunelerin Boyut Etkisinde Lineer Regresyonlar

Bu çalışmada boyut etkisi için literatürü tarama sonucunda boyut etkisi sonuçlar ve sonuçların analizleri için Tip 1 boyut etkisi denklemleri kullanılmıştır. Boyut etkisi denklemleri lineer regresyon ile düzenledikten sonra daha önce bulunan sonuçların $Y = AX + C$ şekline getirilmiştir. Tip 1 boyut etkisi denklemleri hesabında X ekseninde ÜP ve KE numunelerin karakteristik boyut D ve Y ekseninde $\frac{1}{\sigma_n}$ denklemleri yerleştirilerek lineer regresyonlar yapılmıştır. Lineer regresyonlarda $Y = AX + C$ doğru denklemlerde C 'nin pozitif ve sıfırdan farklı olması lazım. Daha sonra Bazant'ın logaritmik eğri boyut etkisi daha iyi anlaşılabilmek için kullanılmıştır. Tip 1 boyut etkisi denklemleri ile lineer regresyonlar yapılarak ve Bazant'ın logaritmik eğrileri için X eksini için $\log\left(\frac{D}{D_b}\right)$ ve Y eksini için $\log\left(\frac{\sigma_N}{\sigma_0}\right)$ ifadeleri kullanılmıştır. Tip 1 boyut etkisi yasası hakkında 3. Bölümde literatürden yararlanılan bilgi verilmiştir bu bilgileri kullanarak lineer regresyonlar ve daha sonra lineer regresyonlardan elde edilen Tip 1 boyut etkisi sabitleri kullanarak Bazant'ın logaritmik eğrileri çizilmiştir. Logaritmik eğrilerinde kullanılan denklemleri lineer regresyon sonucunda bulduğumuz $Y = AX + C$ doğru denklemlerinden yararlanarak bulunmuştur.

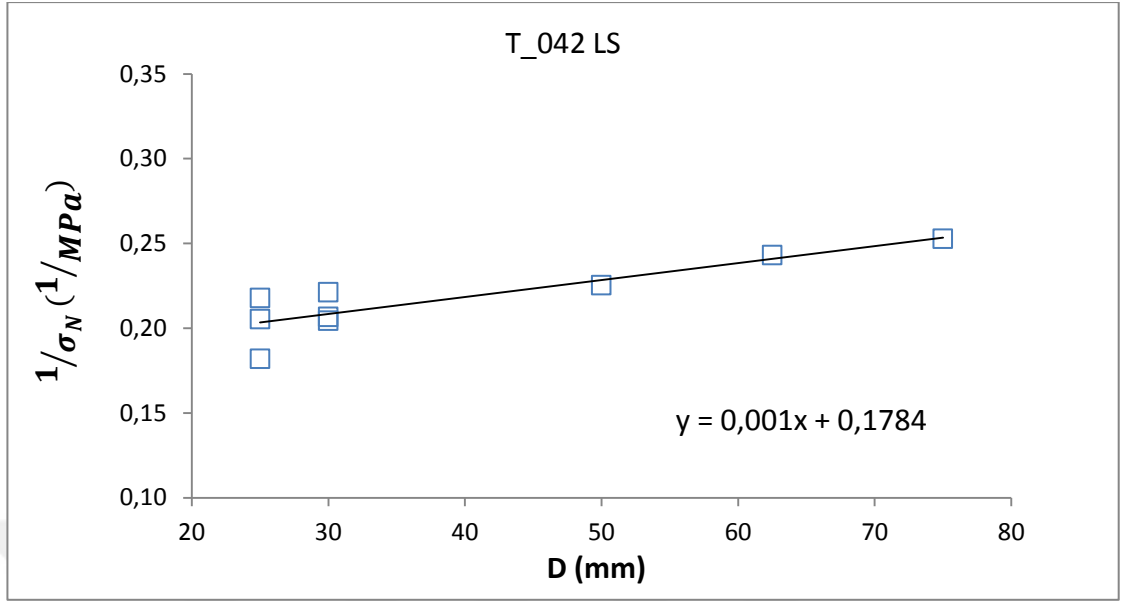
$$D_b = \frac{C}{A} \quad 4.1$$

$$\sigma_0 = \frac{1}{C} \quad 4.2$$

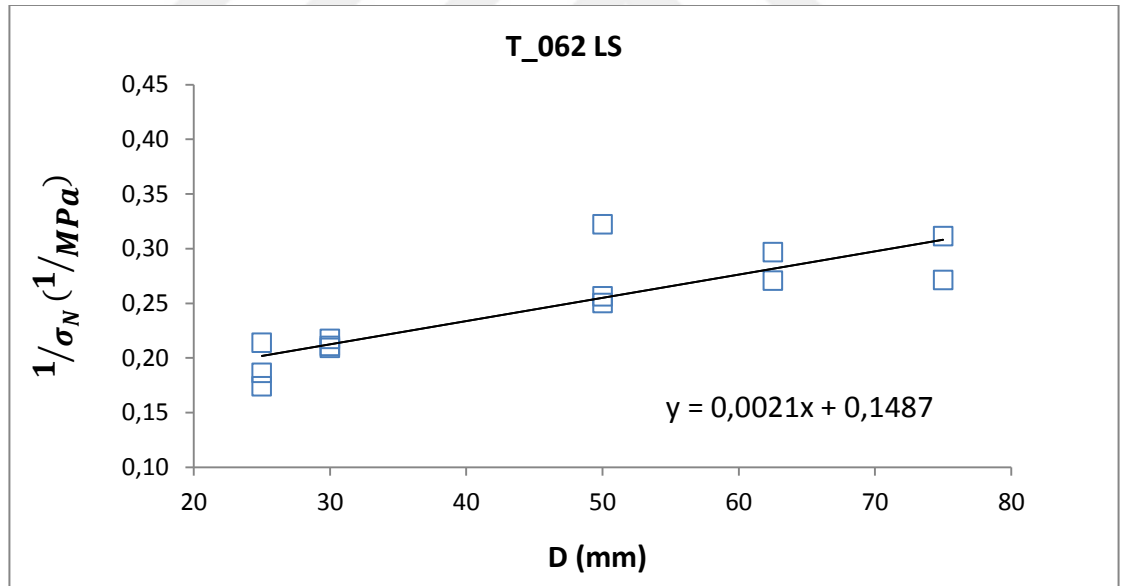
Yukarıdaki bilgiler ve denklemleri kullanılarak ÜP numuneler ve KE numuneleri ayrı ayrı başlıklar altında incelenmiştir.

4.2.1. ÜP Numunelerin Boyut Etkisinde Lineer Regresyonlar

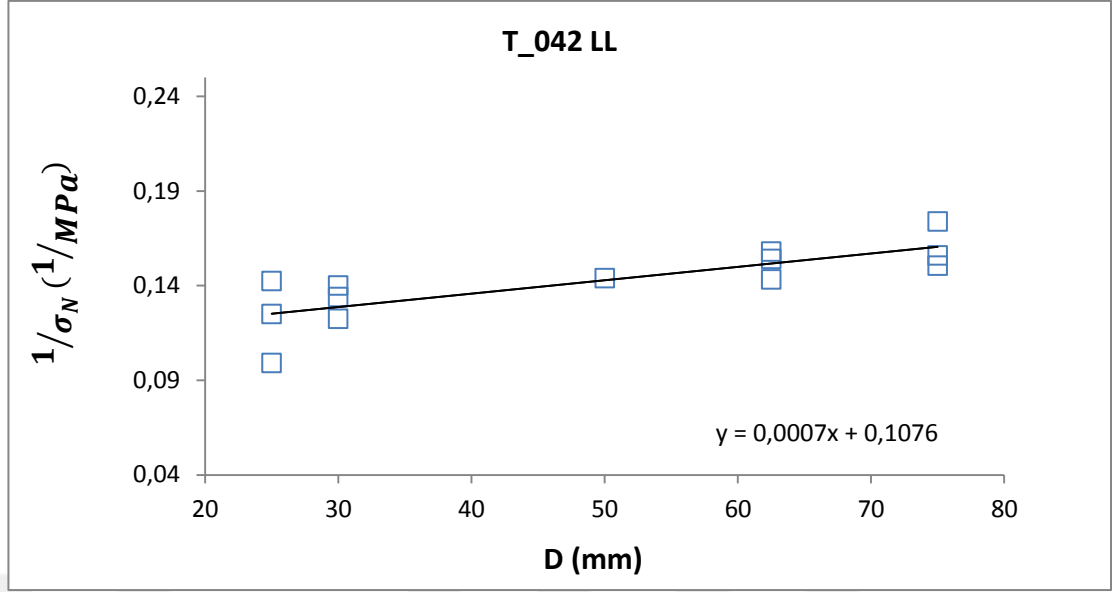
Daha önce bilgi verildiği üzere her bir su çimento orana sahip ÜP numuneler için lineer regresyonların sonuçları şekil 4.3-4.5'te ve lineer regresyonlardan elde edilen sonuçlar çizelge 4.7'da verilmiştir.



Şekil 4.3. Su çimento oranı 0.42 lifsiz ÜP numunelerin lineer Regresyonu



Şekil 4.4. Su çimento oranı 0.62 lifsiz ÜP numunelerin lineer Regresyonu



Şekil 4.5. Su çimento oranı 0.42 lifli ÜP numunelerin lineer Regresyonu

Çizelge 4.7. ÜP numunelerin lineer regerasyonlar sonuçları

S/C	A	C	D _b	σ ₀
0.42 LS	0.0009	0.1800	200,000	5,556
0.62 LS	0.0020	0.1509	75,450	6,627
0.42 LL	0.0007	0.1082	154,571	9,242

4.2.2. ÜP Numunelerin Logaritmik Eğrileri

Tip 1 boyut etkisi lineer regresyonlardan logaritmik eğrileri için çizelge 4.7'deki sabitleri kullanılarak her bir su çimento oranına ÜP numuneler logaritmik eğrileri için çizelge 4.8-4.10'de verilen sonuçlar bulunmuştur. Daha sonra çizelge 4.8-4.10'deki sonuçları kullanılarak logaritmik eğrileri için X ekseninde $\log\left(\frac{D}{D_b}\right)$ mm cinsinden ve Y eksini için $\log\left(\frac{\sigma_N}{\sigma_0}\right)$ ifadeleri kullanılarak şekil 4.6-4.8'de ÜP numuneler için Tip 1 boyut etkisi logaritmik eğrileri çizilmiştir.

Çizelge 4.8. Su çimento oranı 0.42 lifsiz ÜP numunelerde lineer regrasyondan elde edilen sonuçlar

R.NO		Boyutlar		Pu(kN)	σ_N (MPa)	$1/\sigma_N$ (1/MPa)	D_b	σ_0	$\log\left(\frac{D}{D_b}\right)$ (mm)	$\log \sigma_N / \sigma_N$
		L (mm)	t (mm)							
R1	R11	1050	79,55	21,681	3,956	0,253	200,000	5,556	-0.400	-0.147
	R12	1050	79,00				200,000	5,556	-0.403	
	R13	1050	79,00				200,000	5,556	-0.403	
R2	R21	875	62,75	14,025	4,113	0,243	200,000	5,556	-0.503	-0.131
	R22	875	63,20				200,000	5,556	-0.500	
	R23	875	63,40				200,000	5,556	-0.499	
R3	R31	700	55,34	11,770	4,438	0,225	200,000	5,556	-0.558	-0.098
	R32	700	53,14				200,000	5,556	-0.576	
	R33	700	54,25				200,000	5,556	-0.567	
R6	R61	420	31,10	3,787	4,521	0,221	200,000	5,556	-0.808	-0.089
	R62	420	30,25	3,877	4,892	0,204	200,000	5,556	-0.820	-0.055
	R63	420	30,31	3,849	4,838	0,207	200,000	5,556	-0.819	-0.060
R7	R71	350	25,22	3,028	5,497	0,182	200,000	5,556	-0.899	-0.005
	R72	350	25,11	2,507	4,591	0,218	200,000	5,556	-0.901	-0.083
	R73	350	25,44	2,730	4,871	0,205	200,000	5,556	-0.896	-0.057

Çizelge 4.8’de R12, R13, R22, R23, R32 ve R33 nolu numuneler döküm işçiliği, hava koşulları, kürlleme durumları, mikser kapasitesi, ayrıca kırma sırasında yapılan hataları dikkate alınarak çizelge 4.8’de düzeltmeler yapılmıştır. Dolayısıyla beklenen bir şekilde kırılmayan bu numunelerin sonuçları iptal edip çıkartılmıştır.

Çizelge 4.9. Su çimento oranı 0.62 lifsiz ÜP numunelerde lineer regrasyondan elde edilen sonuçlar

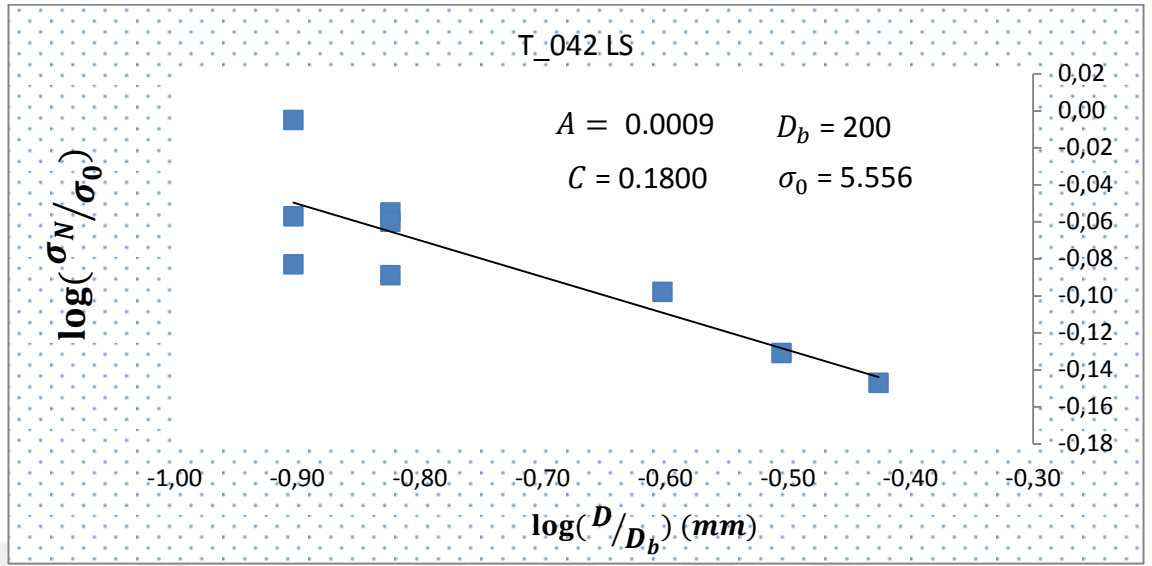
R.NO		Boyutlar		Pu(kN)	σ_N (MPa)	$1/\sigma_N$ (1/MPa)	D_b	σ_0	$\log\left(\frac{D}{D_b}\right)$ (mm)	$\log \sigma_N / \sigma_N$
		L (mm)	t (mm)							
R1	R11	1050	78,62	17,199	3,213	0,311	75,450	6,627	0.018	-0.314
	R12	1050	78,70				75,450	6,627	0.018	
	R13	1050	78,87	19,874	3,689	0,271	75,450	6,627	0.019	-0.254
R2	R21	8750	64,25	12,052	3,371	0,297	75,450	6,627	-0.070	-0.294
	R22	8750	63,35	12,850	3,697	0,270	75,450	6,627	-0.076	-0.253
	R23	8750	64,54				75,450	6,627	-0.068	
R3	R31	700	51,55	7,144	3,104	0,322	75,450	6,627	-0.165	-0.329
	R32	700	51,33	8,910	3,905	0,256	75,450	6,627	-0.167	-0.230
	R33	700	51,13	9,061	4,002	0,250	75,450	6,627	-0.169	-0.219
R6	R61	420	31,25	4,045	4,783	0,209	75,450	6,627	-0.383	-0.142
	R62	420	30,24	3,758	4,745	0,211	75,450	6,627	-0.397	-0.145
	R63	420	31,11	3,860	4,605	0,217	75,450	6,627	-0.385	-0.158
R7	R71	350	25,11	2,557	4,683	0,214	75,450	6,627	-0.478	-0.151
	R72	350	25,12	3,141	5,748	0,174	75,450	6,627	-0.478	-0.062
	R73	350	26,13	3,177	5,373	0,186	75,450	6,627	-0.461	-0.091

Çizelge 4.9’de R12 ve R23 nolu numuneler döküm işçiliği, hava koşulları, kütleme durumları, mikser kapasitesi, ayrıca kırma sırasında yapılan hataları dikkate alınarak çizelge 4.9’de düzeltmeler yapılmıştır. Dolayısıyla beklenen bir şekilde kırılmayan bu numunelerin sonuçları iptal edip çıkartılmıştır.

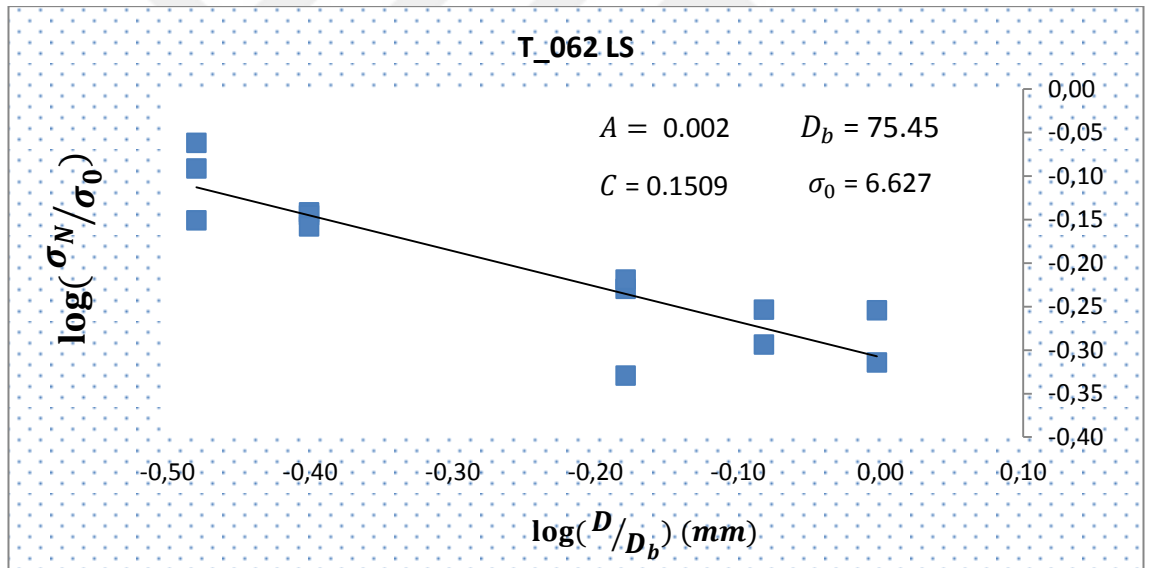
Çizelge 4.10. Su çimento oranı 0.42 lifli ÜP numunelerde lineer regresyondan elde edilen sonuçlar

R.NO		Boyutlar		Pu(kN)	σ_N (MPa)	$1/\sigma_N$ (1/MPa)	D_b	σ_0	$\log\left(\frac{D}{D_b}\right)$ (mm)	$\log \sigma_N/\sigma_N$
		L (mm)	t (mm)							
R1	R11	1050	78,50	30,711	5,755	0,174	154,571	9,242	-0.294	-0.206
	R12	1050	78,10	33,877	6,413	0,156	154,571	9,242	-0.296	-0.159
	R13	1050	78,30	35,287	6,646	0,150	154,571	9,242	-0.295	-0.143
R2	R21	8750	65,45	23,481	6,329	0,158	154,571	9,242	-0.373	-0.164
	R22	8750	63,21	24,163	6,983	0,143	154,571	9,242	-0.388	-0.122
	R23	8750	64,34	23,265	6,489	0,154	154,571	9,242	-0.381	-0.154
R3	R31	700	51,42				154,571	9,242	-0.478	
	R32	700	50,22				154,571	9,242	-0.488	
	R33	700	52,50	16,595	6,952	0,144	154,571	9,242	-0.469	-0.124
R6	R61	420	30,32	5,688	7,144	0,140	154,571	9,242	-0.707	-0.112
	R62	420	31,11	6,261	7,470	0,134	154,571	9,242	-0.696	-0.092
	R63	420	30,21	6,461	8,175	0,122	154,571	9,242	-0.709	-0.053
R7	R71	350	25,23	4,412	8,003	0,125	154,571	9,242	-0.787	-0.063
	R72	350	25,34	3,906	7,024	0,142	154,571	9,242	-0.785	-0.119
	R73	350	25,11	5,510	10,091	0,099	154,571	9,242	-0.789	0.038

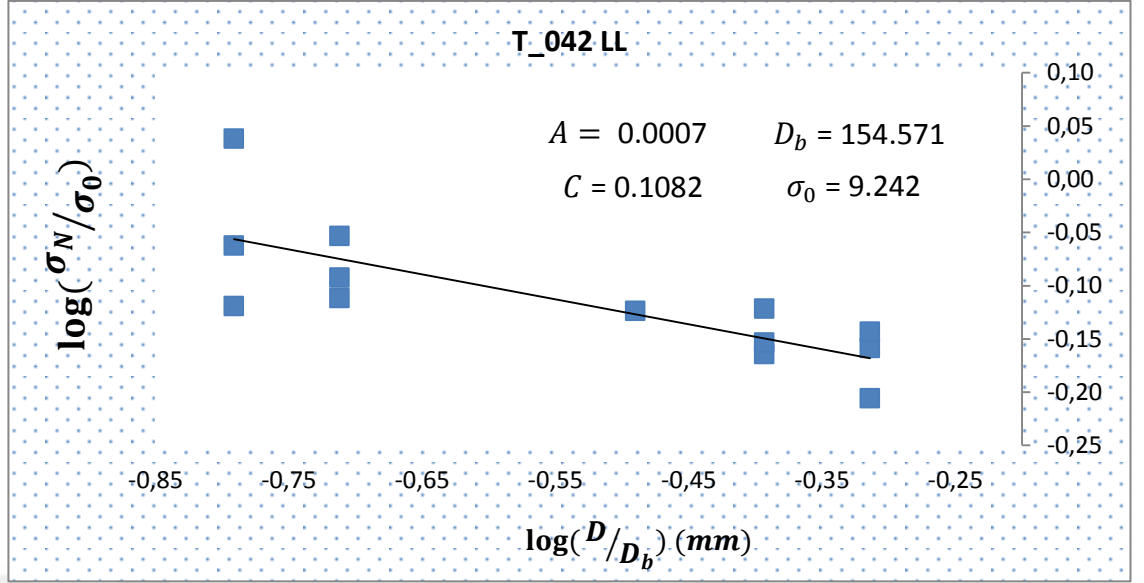
Çizelge 4.10’de R31 ve R32 nolu numuneler döküm işçiliği, hava koşulları, kürlleme durumları, mikser kapasitesi, ayrıca kırma sırasında yapılan hataları dikkate alınarak çizelge 4.10’de düzeltmeler yapılmıştır. Dolayısıyla beklenen bir şekilde kırılmayan bu numunelerin sonuçları iptal edip çıkartılmıştır.



Şekil 4.6. Su çimento oranı 0.42 lifsiz ÜP numunelerin logaritmik eğri



Şekil 4.7. Su çimento oranı 0.62 lifsiz ÜP numunelerin logaritmik eğri

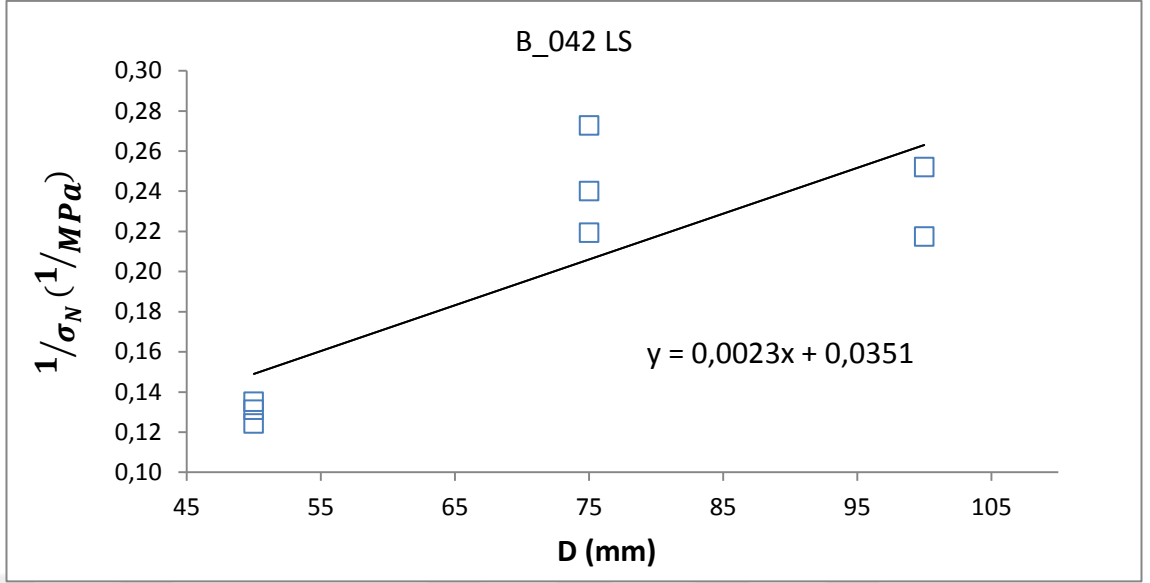


Şekil 4.8. Su çimento oranı 0.42 lifli ÜP numunelerin logaritmik eğri

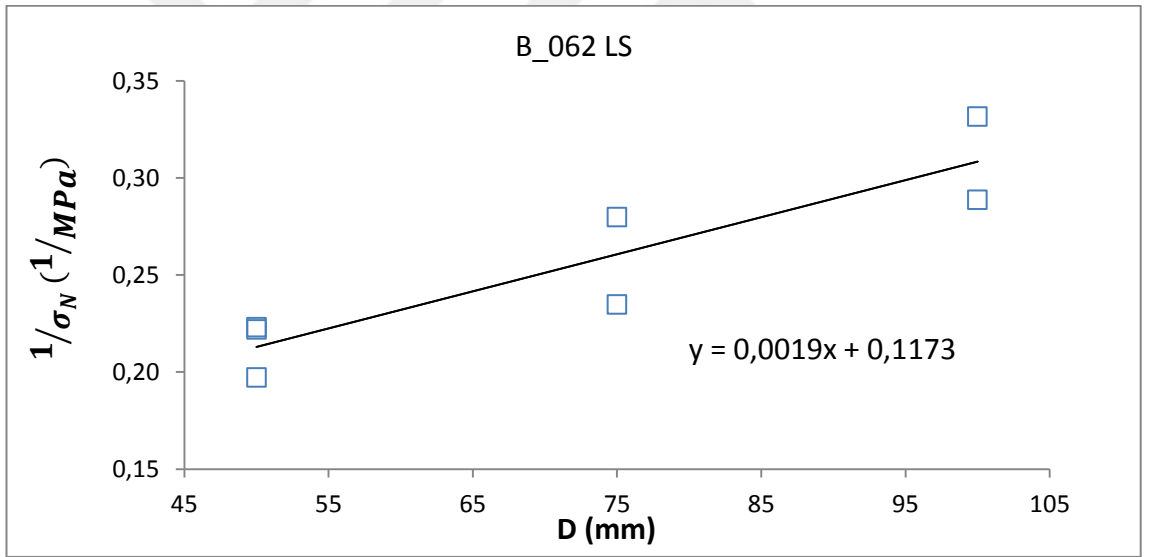
Bölüm 3'teki ÜP numunelerin deney sonuçlarından elde edilen boyut etkisi ve lineer regresyon ile logaritmik eğrilerin sonuçlarından ÜP her üç karışıma ait numunelerde boyut etkisi görülmektedir ÜP numunelerin üç karışımdan en kuvvetli boyut etkisi ise 0.42 lifli karışımdan ve en zayıf boyut etkisi ise 0.42 lifsiz karışımdan elde edilmiştir.

4.2.3. KE Numunelerin Boyut Etkisinde Lineer Regresyonlar

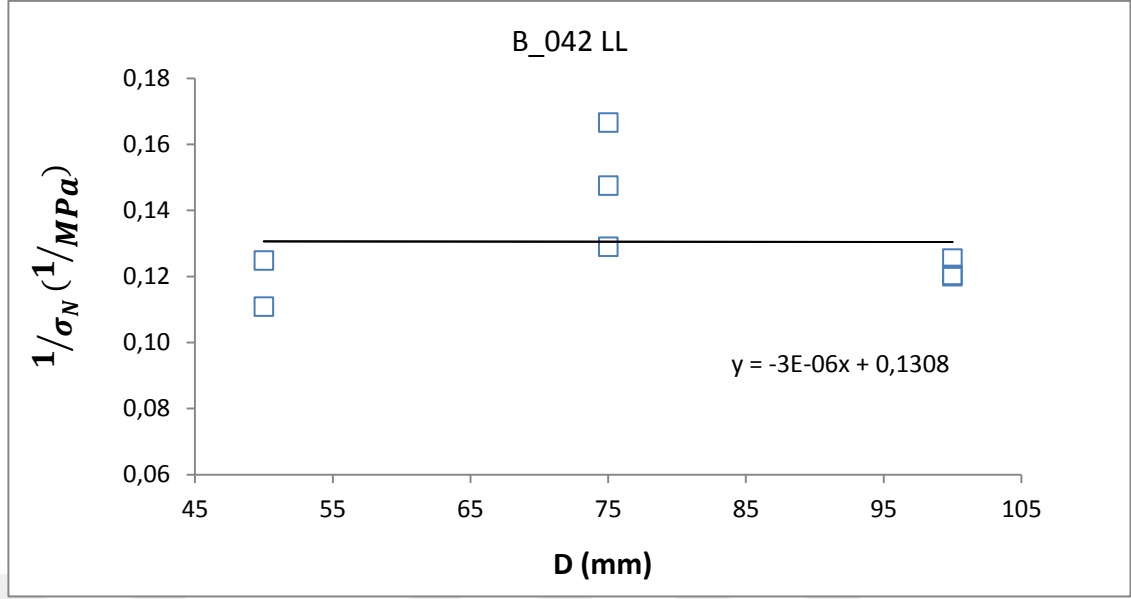
Üçgen plaka numunelerdeki gibi kiriş elemanlarda da her bir su çimento orana sahip KE numuneler için lineer regresyonların şekil 4.9-4.11'de verilmektedir. Lineer regresyonlardan elde edilen sonuçlar çizelge 4.11'de verilmiştir sonuçlar incelenip değerlendirilmiştir.



Şekil 4.9. Su çimento oranı 0.42 lifsiz KE numunelerin lineer regresyonu



Şekil 4.10. Su çimento oranı 0.62 lifsiz KE numunelerin lineer regresyonu



Şekil 4.11. Su çimento oranı 0.42 lifli KE numunelerin lineer regresyonu.

Çizelge 4.11. KE numunelerin lineer regerasyonlar sonuçları

S/C	A	C	D_b	σ_0
0.42 LS	0,00220	0,0404	18,364	24,752
0.62 LS	0,0019	0,1177	61,947	8,496
0.42 LL	-0,00005	0,1341	-2682,000	7,457

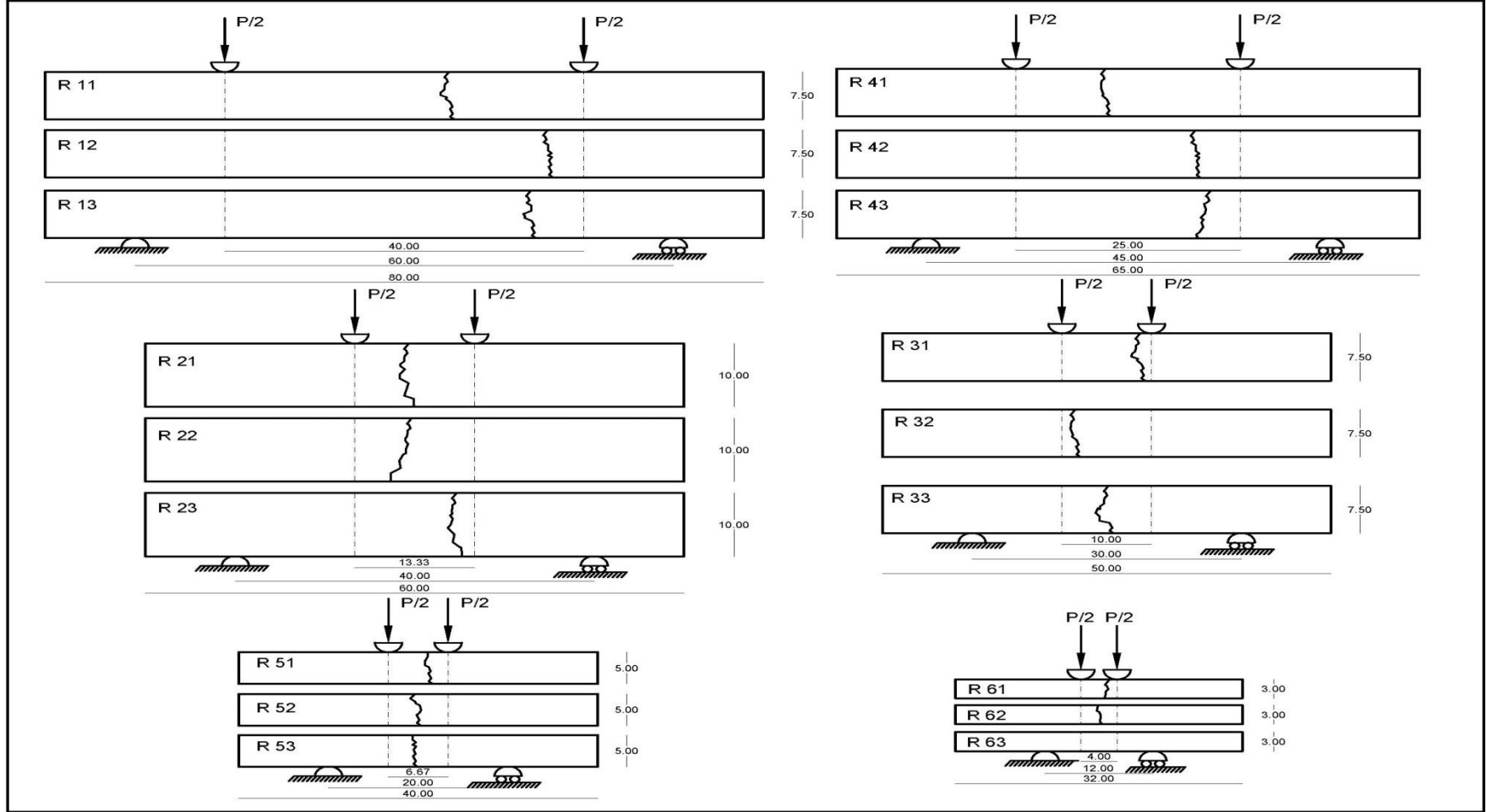
KE numunelerde lineer regresyonlardan elde edilen sonuçları incelendiğinde su çimento oranı 0.42 lifsiz ve 0.62 lifsiz karışımlarda A doğru eğimi pozitif çıkmıştır bu nedenle D_b değeri de pozitif bir sonuç verildiğinden dolayı su çimento oranı 0.42 lifsiz ve 0.62 lifsiz karışımlarda Bazant'ın logaritmik eğrileri çizilebilir. Bu iki karışımda boyut etkisi görülmektedir.

Su çimento oranı 0.42 lifli karışımdan üretilen kiriş numunelerde boyut etkisi görülmemektedir bunun en büyük sebebi ise kiriş numunelerin boyutları kullanılan lif boyuta göre küçük oranında olduğunu düşünülmektedir.

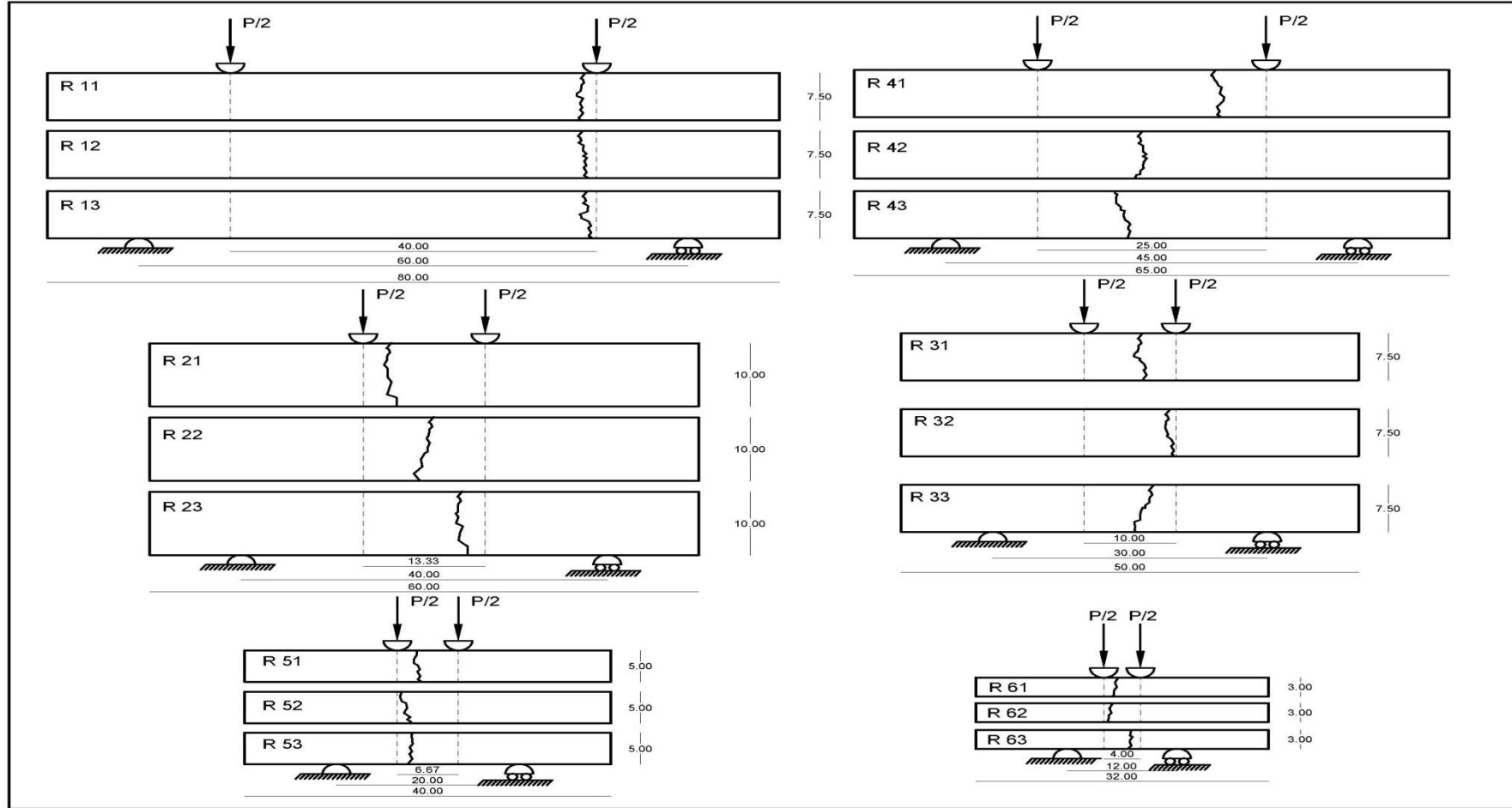
4.3. Numunelerin Çatlak Haritaları

Tüm kiriş numuneler beklenen şekilde iki nokta yükleme arasında kırılmıştır. Su çimento oranı 0.42 lifsiz ile su çimento oranı 0.62 lifsiz kiriş elemanlar gevrek bir şekilde iki parça şeklinde kırılmıştır. Su çimento oranı 0.42 lifli kiriş numuneler daha sünek bir şekilde ilk mikro çatlaklar başlayıp daha sonra bir makro çatlak olarak kırılmıştır.

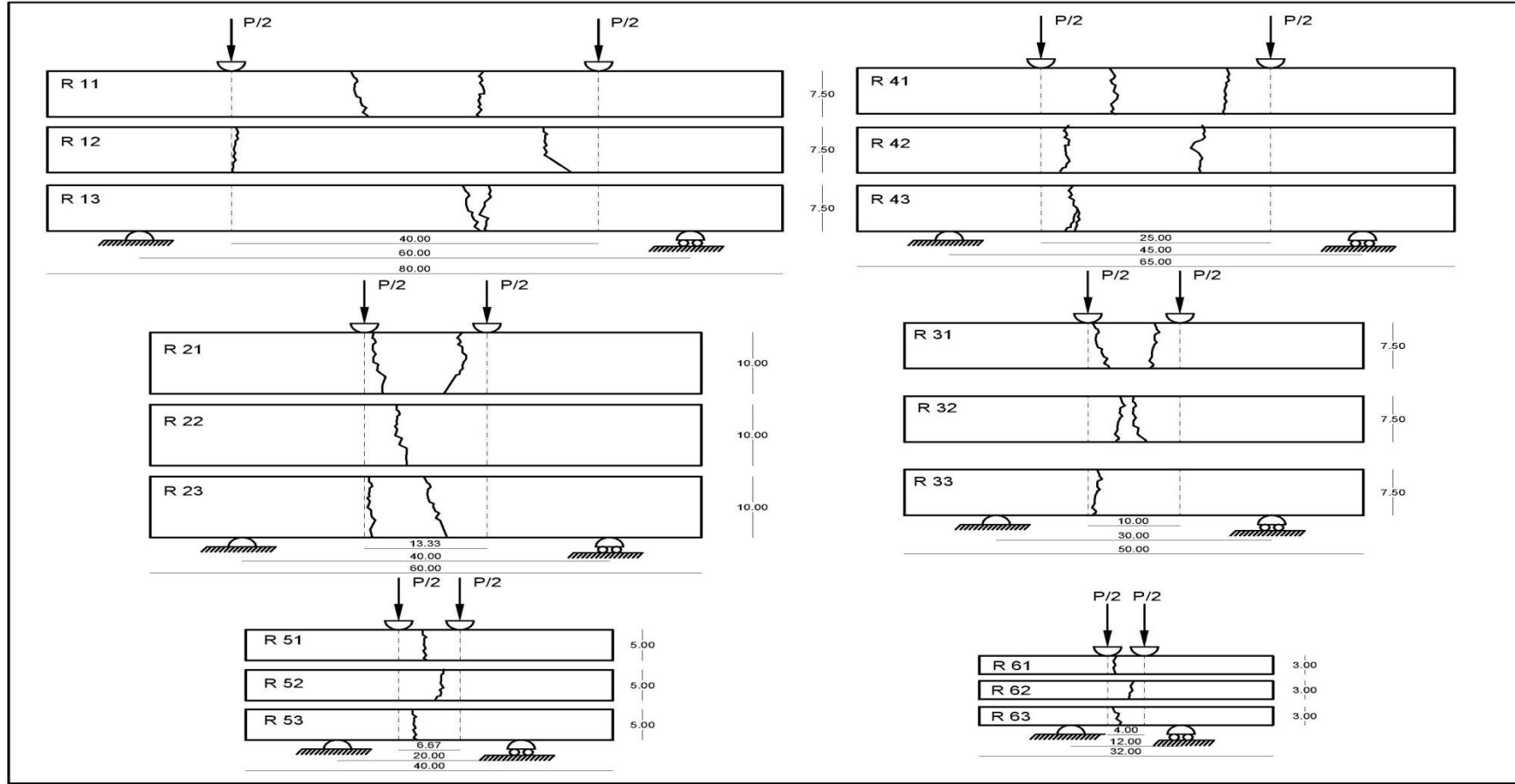
Üçgen plaka numuneler de kirişler gibi lifsiz numuneler akma çizgiler üzerinde gevrek bir şekilde kırılmıştır. Lifli üçgen numuneler ise sünek bir şekilde çatlayarak kırılmıştır. Tüm lifli numuneler liflerden dolayı parçalar yarılmamıştır. Numunelerde döküm ve kırma sırasında bazı hatalardan dolayı bazı üçgen plakalar beklendiği gibi akma çizgiler doğrultusunda kırılmamıştır. Sırasıyla şekil 4.12-4.17’de kiriş ve üçgen plakaların çatlak haritaları verilmiştir.



Şekil 4.12. Su çimento oranı 0.42 lifsiz KE numunelerin çatlak ve kırma haritaları



Şekil 4.13. Su çimento oranı 0.62 lifsiz KE numunelerin çatlak ve kırma haritaları



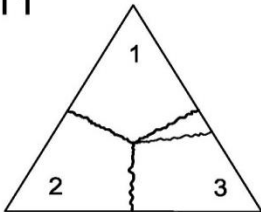
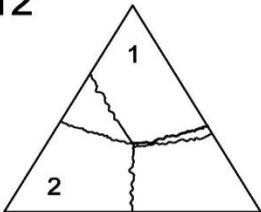
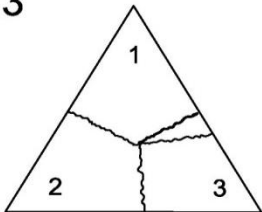
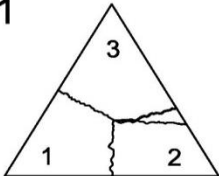
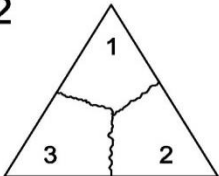
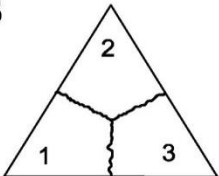
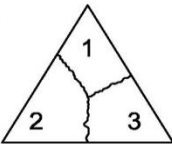
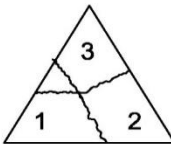
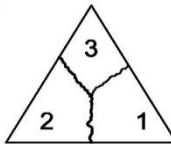
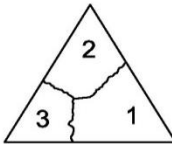
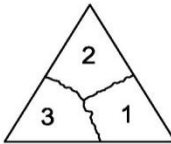
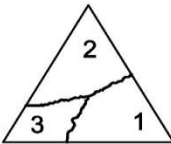
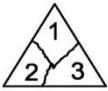
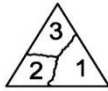
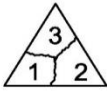
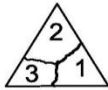
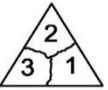
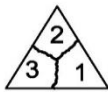
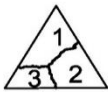
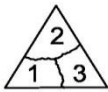
Şekil 4.14. Su çimento oranı 0.42 lifli KE numunelerin çatlak ve kırma haritaları

R11		R12		R13	
R21		R22		R23	
R31		R32		R33	
R41		R42		R43	
R51		R52		R53	
R61		R62		R63	
R71		R72		R73	

Şekil 4.15. S/C oranı 0.42LS ÜP'ların çatlak haritaları

R11		R12		R13	
R21		R22		R23	
R31		R32		R33	
R41		R42		R43	
R51		R52		R53	
R61		R62		R63	
R71		R72		R73	

Şekil 4.16. S/C oranı 0.62LS ÜP'ların çatlak haritaları

R11		R12		R13	
R21		R22		R23	
R31		R32		R33	
R41		R42		R43	
R51		R52		R53	
R61		R62		R63	
R71		R72		R73	

Şekil 4.17. S/C oranı 0.42LL ÜP'ların çatlak haritaları

5. SONUÇ

Değişik boyut ve kesitlerde, iki farklı su-çimento oranlara sahip çelik lifli ve lifsiz toplamda 63 adet üçgen plaka ve 54 adet kiriş test edilmiştir. Yük altındaki göçme yükleri ile yer değiştirme sonuçlarından aşağıdakiler çıkarılabilir.

- KE numunelere göre ÜP numunelerde daha net boyut etkisi sonucu görülmüştür.
- Üçgen plaka numunelerde en kuvvetli boyut etkisi su çimento oranı 0.62 olan lifsiz harçlarda ve en zayıf boyut etkisi ise su çimento oranı 0.42 olan lifli harçlarda görülmektedir.
- Kullanılan çelik lif kirişlerin boyutlarına oranınca uyumlu değildir, daha küçük boyutlu çelik lif kullanılmalıdır.
- Deney sonuçları Bazant'ın Type 1 boyut etkisi yasası kullanılmasının uygun olduğunu göstermiştir.
- ÜP numunelerde her üç karışımdan üretilen numunelerde boyut etkisi görülmüştür.
- Üçgen plakalarda numunelerin kalınlığı t artığında plakalarda gerilmelerin azalması meydana gelmiştir.
- Tüm lifsiz numuneler hem ÜP hem de KE gevrek bir şekilde kırılmışlardır.
- Su çimento oranı 0.42 lifli üçgen plakalar ve kiriş elemanlarda sünek kırılma meydana gelmiştir.
- Tüm dört noktalı eğilme deneyindeki kiriş elemanlarda kırma iki yükleme arasında meydana gelmiştir.
- Lifli numunelerin eğilme dayanımında lifsiz numunelere göre bazı numunelerde gerçekten yüz civarında artış meydana gelmiş.

Bu çalışmanın deneysel kısmında karşımıza bazı problemler çıkmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda özellikle ÜP numuneler boyut etkisi ve beton yapıların boyut etkisi konusunda dikkat gerekmektedir.

- Deney numuneleri fazla ağır tasarlanmaması önerilir. Eğer ağır veya büyük boyutlarda tasarlanırsa da önceden taşıma ve yerleştirme aparatları hazırlanması önerilir.

- Deney numunelerin kalıpları hem üçgen hem de kiriş için sehim ve deplasman yapılmayan sert ve rijit bir malzemeden yapılmasını önerilir.
- Her bir karışım oranına sahip deney numuneleri hepsini bir günde ve bir mikserden dökülmesini önerilir.
- Deney numuneleri dökümden sonra hepsini aynı ortam ve hava şartlarında kür yapılmasını önerilir.
- Deney numunelerin kırmaları için önceden kırma platformları ve sağlam eğilme test makinaların hazırlanması önerilir.



KAYNAKLAR

- Altun, F. 2006.** Çelik Lifli hafif betonun deneysel Araştırılması. *Mühendislik bilimleri dergisi*, 12(3): 333-339.
- Aran, A. 1981.** Kırılma Mekaniğine Giriş, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Gebze. Seminer Notları, 26 s.
- Anonim, 2015.** Lifli Betonların Araştırılması Üzerine Bir Çalışma. <https://vdocuments.site/lifli-beton-arastirmasi.html-teknolojisi-5-lifli-beton.html>. (Erişim Tarihi: 25.04.2018).
- Anonim, 2016.** İleri Beton Teknolojisi-5 Lifli Beton. [http://docplayer.biz.tr/10891307İleri-beton notları, İzmir, 56 s.](http://docplayer.biz.tr/10891307İleri-beton-notları_İzmir_56_s) (Erişim Tarihi: 01.05.2018).
- Aydın, H. 2010.** Farklı dayanımlı silindir ve küp beton numunelerde boyut etkisinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, On dokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun.
- Brühwiler, E., Wittmann, F.H. 1990.** Failure of dam concrete subjected to seismic loading conditions. *Engineering Fracture Mechanics*, Great Britain, Vol. 35, No 1/2/3, 565-571.
- Bazant, P.Z., Yu, Q. 2009.** Universal size effect law and effect of crack depth on quasi-brittle structure strength. *Journal of Engineering Mechanics*, ASCE, ISSN, Vol. 135 No 2, 78-84.
- Bazant, P.Z., Planas, J. 1998.** Fracture and Size Effect in Concrete and Other Quasibrittle Materials. CRC Press, London, 337 pp.
- Bazant, P.Z., Oh, B.H. 1983.** Crack band theory for fracture of concrete. *Materials and Structures*, 16: 155-177.
- Carpinteri, A., Chiaia, B., Giuseppe, F. 1995.** Size effect on nominal tensile strength concrete structures: multifractality of material ligaments and dimensional transition from order to disorder . *Italy*, V. 28, 311-317.
- Çetin, S.Y., İnce, R. 2016.** Küp numunelerin yarmada-çekme dayanımında agrega granülometrisinin boyut değişimi üzerine etkisi. *Mühendislik dergisi*, cilt 8, 444-451.
- Denneman, E., Kearsley, E.P., Visser, A.T. 2011.** Splitting Tensile Test For Fibre Reinforced Concrete. *Materials and Structures*, 44: 1441-1449.
- Danzer, R., Harrer, W., Supancic, P., Lubea, T., Wang, Z., Borger A. 2007.** The Ball On Three Balls Test Strength And Failure Analysis Of Different Materials. *Journal of the European Ceramic Society*, 27: 1481-1485.
- Eren, M.E. 2015.** Betonun küp yarmada çekme dayanımı üzerine malzeme ve boyut etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, Ferat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Elâzığ.
- Eser, Ö.F. 2002.** Betonun kırılma parametrelerinin değişik yöntemlere belirlenmesi. *Doktora Lisans Tezi*, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Hoover, G.C., Bazant, P.Z. 2013.** Comprehensive concrete fracture tests: size effects of Types 1 & 2, crack length effect and post peak. *Engineering Fracture Mechanics*, 110 (2013) 281-289.
- Hillerborg, A., Modeer, M., Petersson, P.E. 1976.** Analysis of crack formation and crack growth in concrete by means of fracture mechanics and finite elements. *Cement and concrete research*, Vol. 6, No. 6, 773-781.

- İnce, R. 2010.** Determination of concrete fracture parameters based on two-parameter and size effect models using split-tension cubes. *Engineering Fracture Mechanics*, 77 (2010) 2233-2250.
- İnce, R. 2012.** Determination of concrete fracture parameters based on peak-load method with diagonal split-tension cubes. *Engineering Fracture Mechanics*, 80 (2012) 100-114.
- İnce, R. 2012.** Determination of the fracture parameters of the double-k model using weight functions of split-tension specimens. *Engineering Fracture Mechanics*, 96 (2012) 416-432.
- Kupfer, H., Hubert, K.H., Hubert, R. 1969.** Behavior of Concrete Under Biaxial Stresses. *ACI J*, 66, 8: 656– 66.
- Kotsovos, M. D. 2010.** Concrete A Brittle Fracturing Material. Civil Engineering Department. *Imperial College of Science and Technology*, London, 107-115pp.
- Kumar, S., Barai, V.S. 2010.** Concrete Fracture Models and Applications, Springer Heidelberg Dordrecht. *London New York*, 286pp.
- Kozak, M. 2013.** Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması. *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 3(5): 26-35.
- Kesler, S.E., Loon, J.C.V., Bateson, J.H. 1972.** Analysis of fluoride in rocks and an application to exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 2(1973), 11-17.
- Kankov, V. 2007.** Çelik kılıflı beton kolonlarda boyut etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üni Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Külcü, H. 2015.** İndentasyon Tekniği İle Temperli Ve Tempersiz Soda-Silika Cam Kırılma Tokluğunun Belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Katsaragakisi, E. S. 1987.** A New Tensile Test For Concrete. *Materials and Structures*, 20: 463-466.
- Kim, J., Kim, D. J., Zi, G. 2013.** Improvement of The Biaxial Flexure Test Method For Concrete. *Cement & Concrete Composites*, 37: 154–160.
- Kirane, K., Bazant, Z. P., and Zi, G. 2014.** Fracture and size effect on strength of plain concrete disks under biaxial flexure analyzed by microplane model M7. *Journal of Engineering Mechanics*, 140(3): 604-613.
- Kennedy, G., Goodchild, CH. 2004.** Practical Yield Line Design. *Concrete Centre*, Surrey, UK.
- Koç, V., Birinci, F. 2012.** Lifli betonda boyut etkisi tokluk ve kırılma enerjisi. *SDU International Technologic*, Vol. 4 No 3, 24-40.
- Li, D., Wong, L. N. Y. 2013.** The Brazilian Disc Test for Rock Mechanics Applications, Review and New Insights. *Rock Mech Rock Eng*, 46: 269–287.
- Lee, S. K., Song, Y. C., and Han, S. H. 2004.** Biaxial Behavior of Plain Concrete of Nuclear Containment Building. *Nuclear Engineering and Design*, 227, 2: 143-153.
- Mart, P. 1989.** Size Effect in Double-Punch test on concrete cylinders. *ACI Materials Journal*, V. 86, No 6.
- Mallat, A., and Alliche, A. 2011.** A Modified Tensile Test to Study the Behaviour of Cementitious Materials. *Strain An International Journal for Experimental Mechanics*, 47: 499–504.
- McGarry, F.J., Shah, S.P. 1971.** Griffith fracture criterion and concrete. *American Society of Civil Engineering*, Vol. 97, No. 6, 1663-1676.

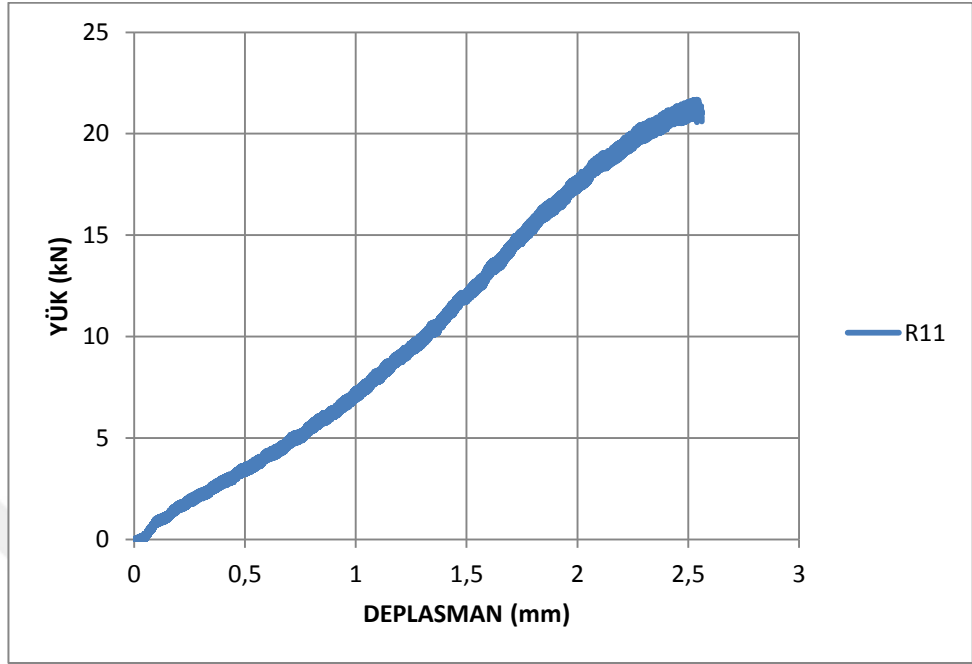
- Muzyka, N. R. 2002.** Equipment For Testing Sheet Structural Materials Under Biaxial Loading. Part 2. Testing by Biaxial Loading in the Plane of the Sheet. *Strength of Materials*, 34, 2: 206-212.
- Nallathambi, P., Karihaloo, B.L. 1986.** Determination of specimen-size independent fracture toughness of plain concrete. *Maganize of Concrete Research*, Vol. 38, No 135, 113-115.
- Neville, A. M. 2011.** Properties of Concrete 5th Edition. Pearson Education Limited. England, 2866 pp.
- Rocco, C., Gunia, G.V., Planas, J., Elices, M. 1995.** Two parameter fracture model for concrete. *Fracture Mechanics of Concrete Structures*, F.H. Wittmann Edition, Freiburg, Germany, No. 10, 75-84.
- Sarıbıyık, M. 2015.** Malzeme Bilimi Ve Laboratuvar Kırılma. *Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi*, Sakarya, 28s.
- Türkmenoğlu, F., Varol, O. 2016.** Lifli Beton Türleri ve Kullanım Alanları. *International Mediterranean Science and Engineering Congress*, Adana, 3792-3795.
- TS 10514, 1992.** Çelik Teller-Beton Takviyesinde Kullanılan, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- Türker, H.T. 2015.** Çimento Esaslı Malzemelerin Çekme Dayanımlarını Bulabilmek İçin Yeni Bir Yöntem Önerisi Üçgen Plaka Yöntemi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 30, No 4, 693-699.
- Tang, T., Shah, S.P., Ouyang, C. 1992.** Fracture mechanics and size effect of concrete in tension. *ASCE JOURNAL Structural Engineering*, Vol. 118, No. 11, 169-3185.
- Jeng, Y., Shah, S.P. 1985.** Two parameter fracture model for concrete. *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 111, No. 10, 1227-1241.
- Wang, E. Z., Shrive, N. G. 1995.** Brittle Fracture in Compression: Mechanisms, Models and Criteria. Civil Engineering Department, *The University of Calgary*, Canada, 1107-1120pp.
- Wu, S., Chen, X., Zhou, J. 2012.** Tensile Strength of Concrete Under Static and Intermediate Strain Rates: Correlated Results From Different Testing Methods. *Nuclear Engineering and Design*, 250: 173– 183.
- Wright, P.J.F. 1952.** The Effect Of The Method Of Test On The Flexural Strength Of Concrete. *Mag. Concrete Research*, 4, 11: 67–76.
- Xu, S., Reinhardt, H.W. 1999a.** Determination of double-K criterion for crack propagation in quasi-brittle fracture, Part I: Experimental investigation of crack propagation. *International Journal of Fracture*, 98, 111-149.
- Yazıcı, H. 2010.** Özel Betonlar, Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ders notları.
- Yazıcı, Ş. 2017.** Çelik lif boyu ve kullanım oranının çelik lifli betonun özelliklerine etkisi. *ISITES2017*, 29-30.
- Zi, G., Kim, J., Bazant, Z. P. 2014.** “Size Effect on Biaxial Flexural Strength of Concrete. *ACI Materials Journal*, 111: 3.
- Zi, G., Oh, H., Park, S-K. 2008.** A Novel Indirect Tensile Test Method to Measure The Biaxial Tensile Strength of Concretes and Other Quasibrittle Materials. *Cement and Concrete Research*, 38: 751–756.

EKLER

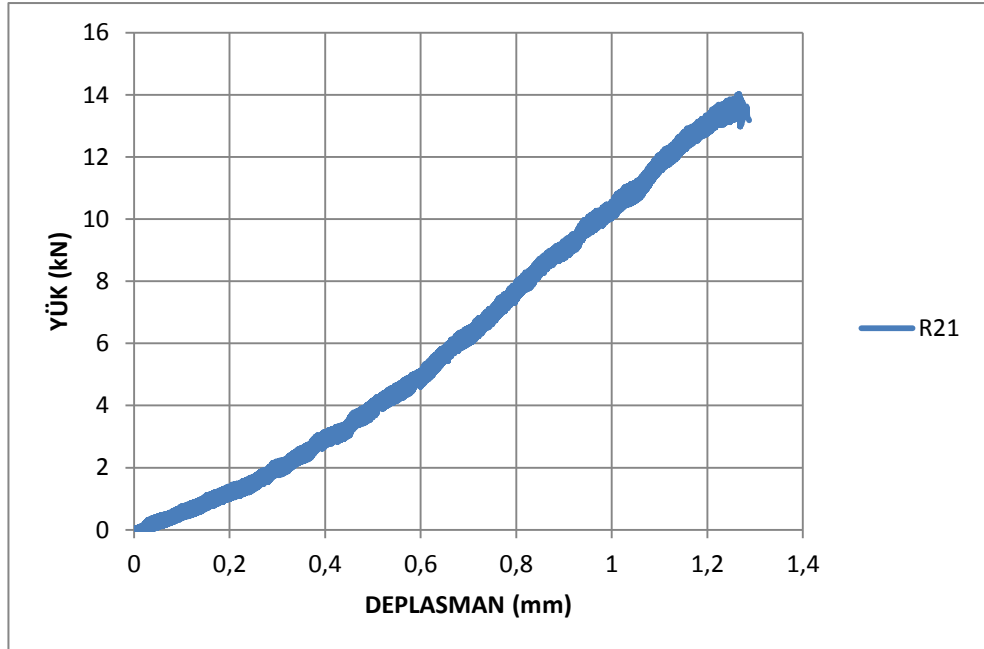
- EK 1. Üçgen Plaka Numunelerin Yük-Deplasman Grafikleri
- EK 2. Kiriş Eleman Numunelerin Yük-Deplasman Grafikleri
- EK 3. Deney numunelerin döküm, kürleme ve kırma aşamaları



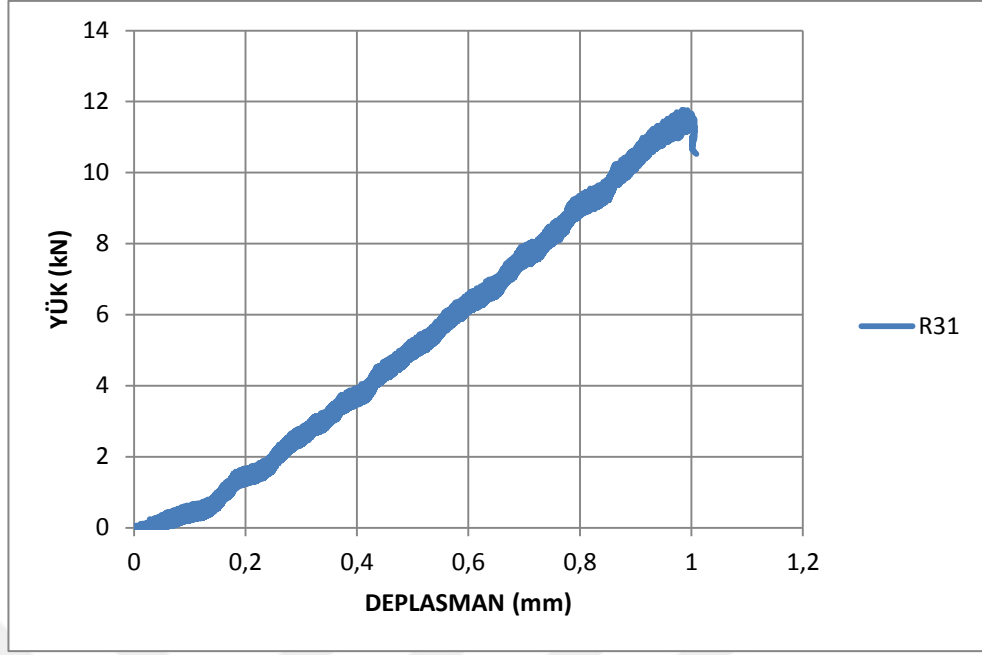
EK 1. Üçgen Plaka Numunelerin Yük-Deplasman Grafikleri



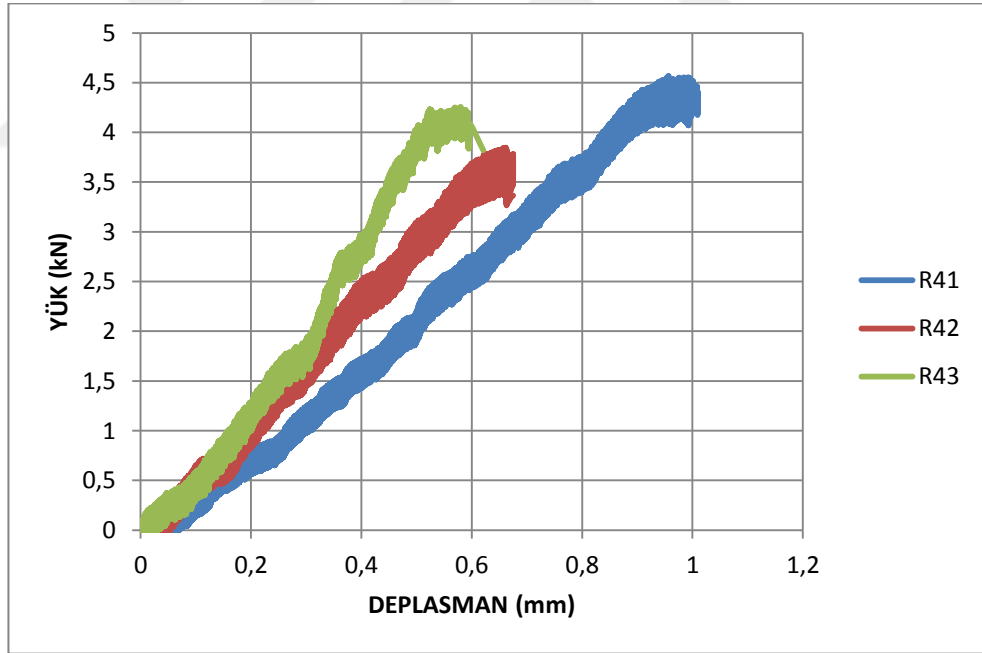
EK Şekil 1.1. T_042LS_R1 nolu üçgen plaka numunenin yük-deplasman grafiği



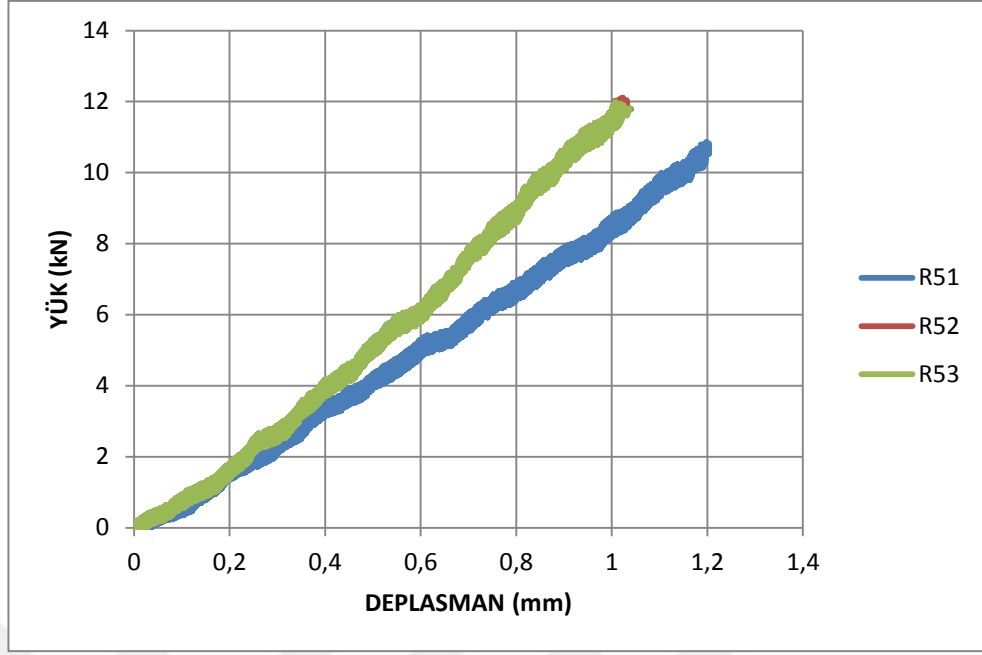
EK Şekil 1.2. T_042LS_R2 nolu üçgen plaka numunenin yük-deplasman grafiği



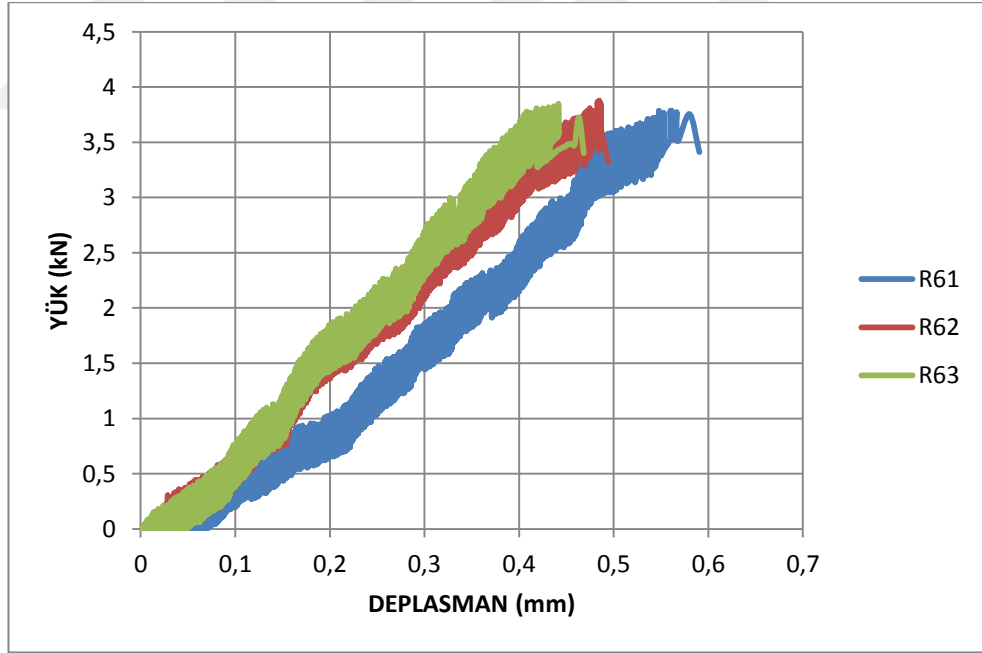
EK Şekil 1.3. T_042LS_R3 nolu üçgen plaka numunenin yük-deplasman grafiği



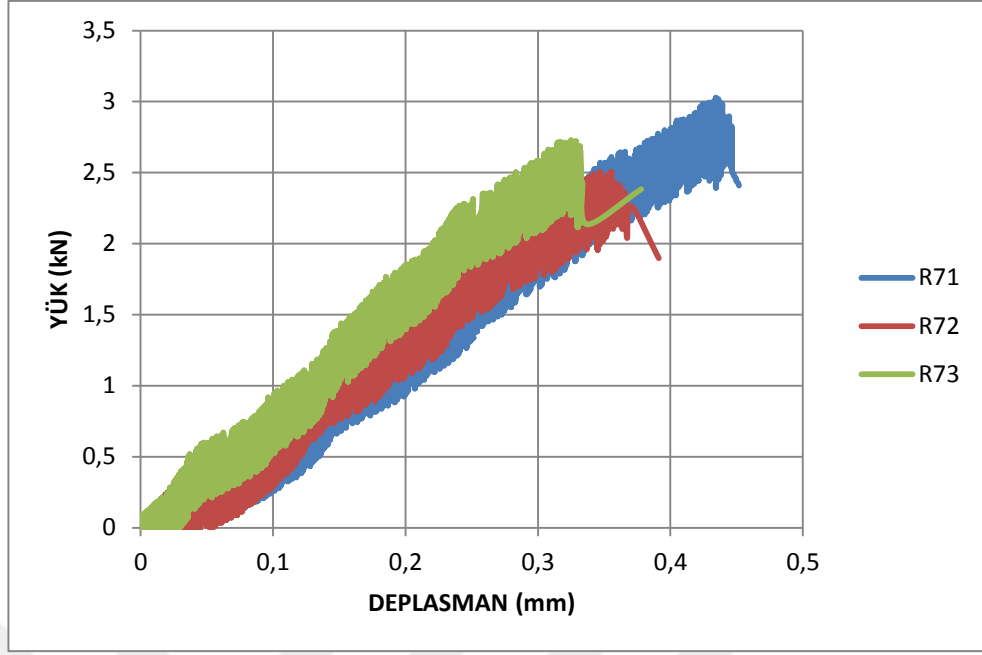
EK Şekil 1.4. T_042LS_R4 nolu üçgen plaka numunenin yük-deplasman grafiği



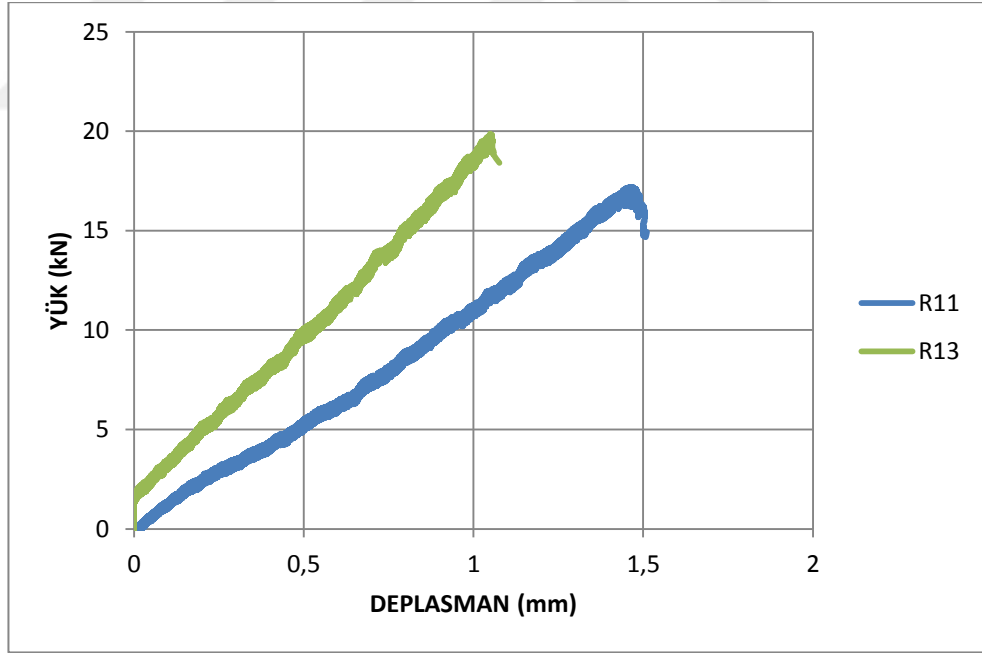
EK Şekil 1.5. T_042LS_R5 nolu üçgen plaka numunenin yük-deplasman grafiği



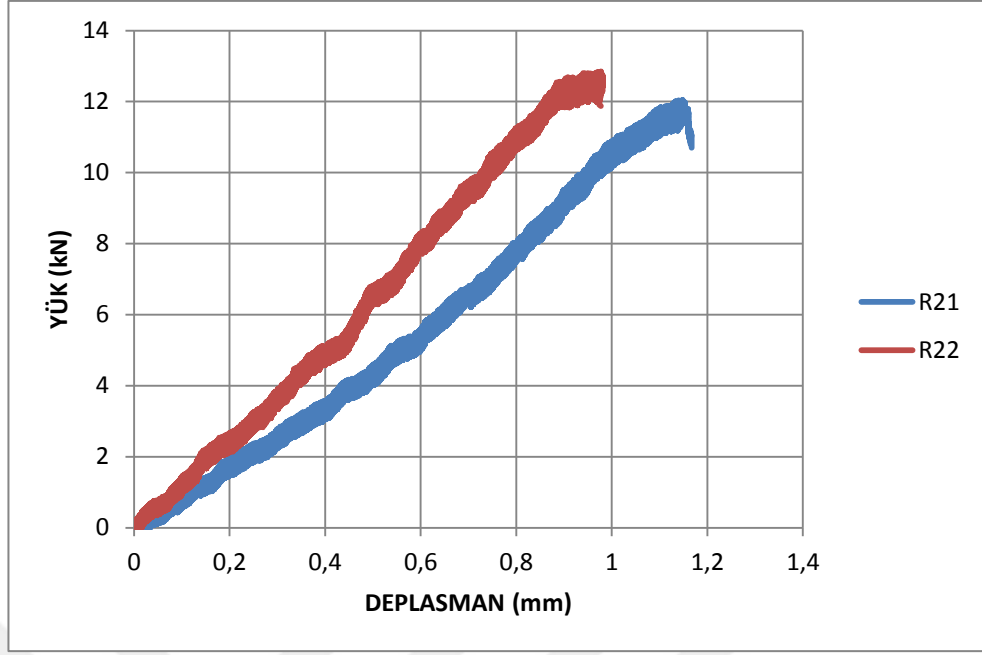
EK Şekil 1.6. T_042LS_R6 nolu üçgen plaka numunenin yük-deplasman grafiği



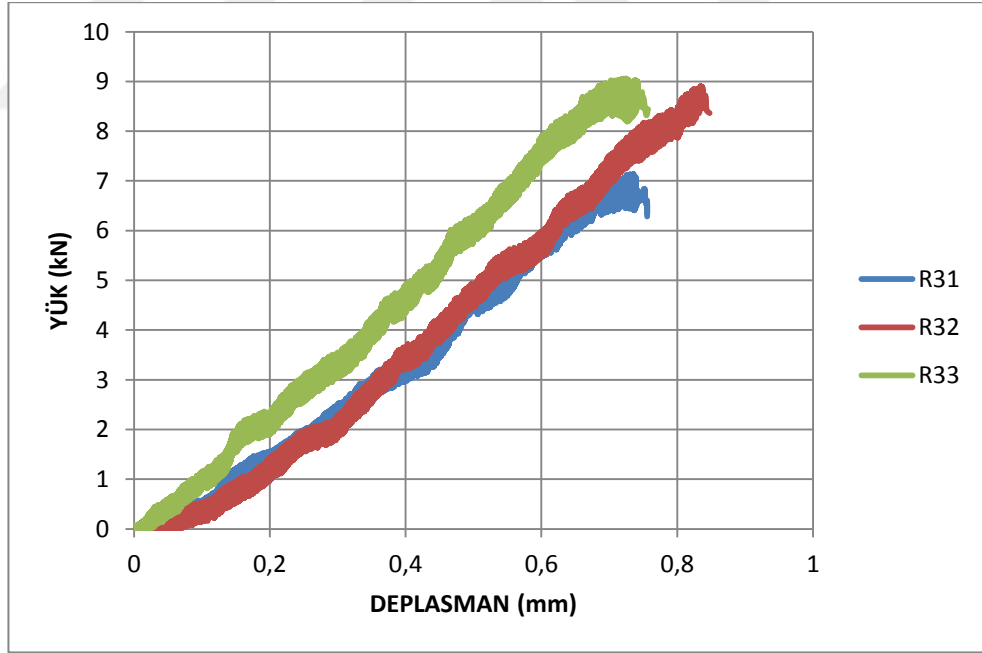
EK Şekil 1.7. T_042LS_R7 nolu üçgen plaka numunenin yük-deplasman grafiği



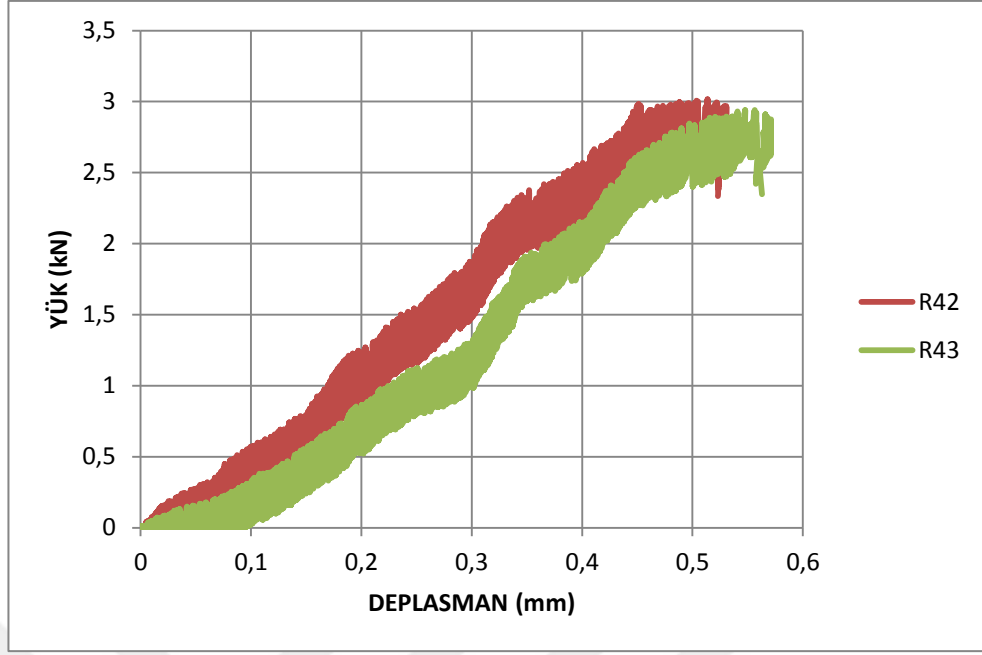
EK Şekil 1.8. T_062LS_R1 nolu üçgen plaka numunenin yük-deplasman grafiği



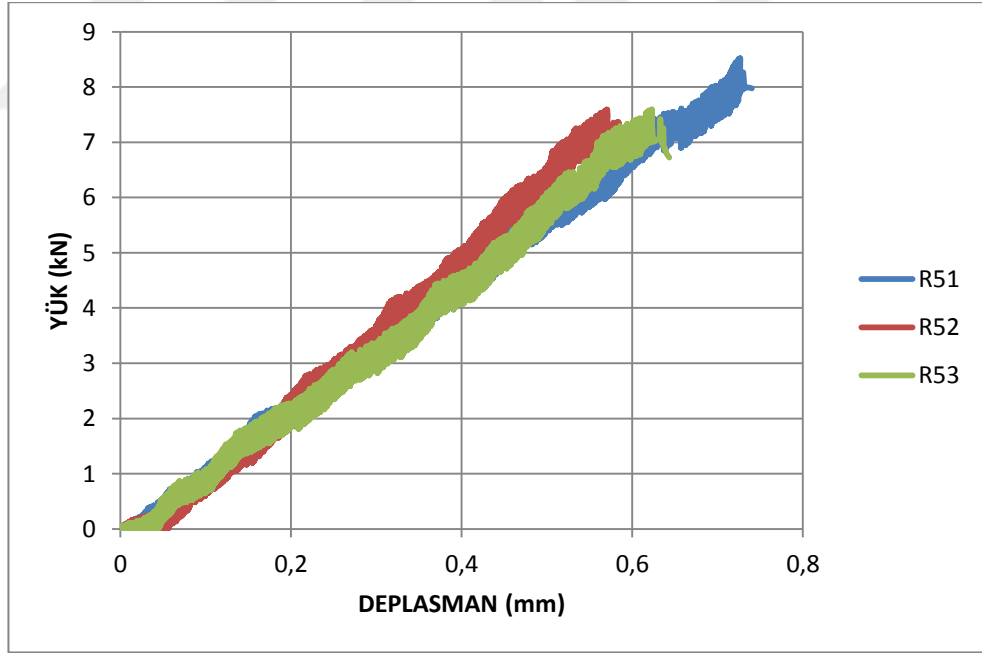
EK Şekil 1.9. T_062LS_R2 nolu üçgen plaka numunenin yük-deplasman grafiği



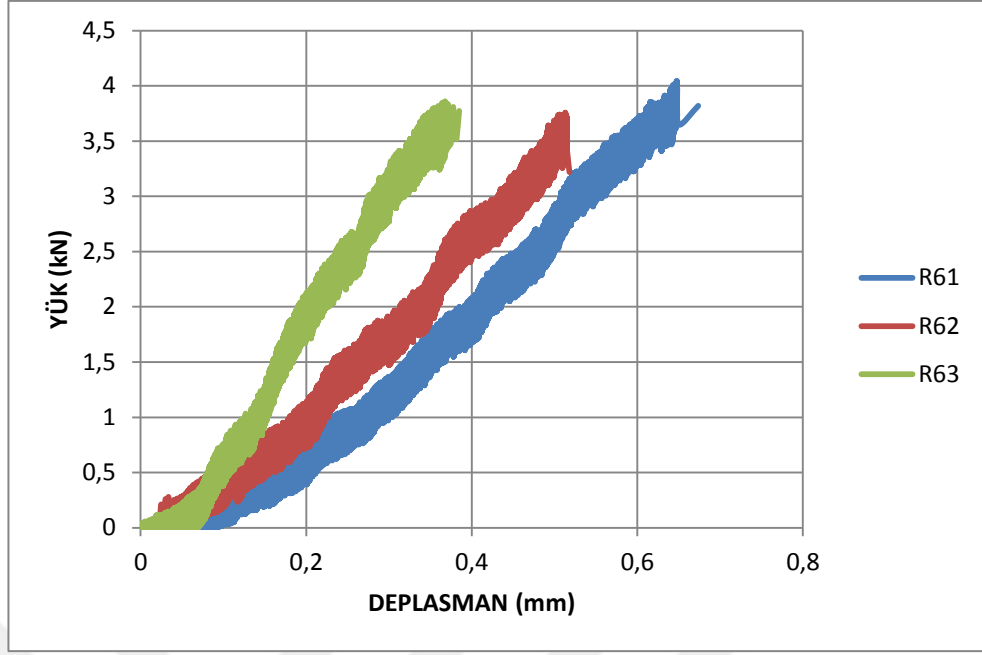
EK Şekil 1.10. T_062LS_R3 nolu üçgen plaka numunenin yük-deplasman grafiği



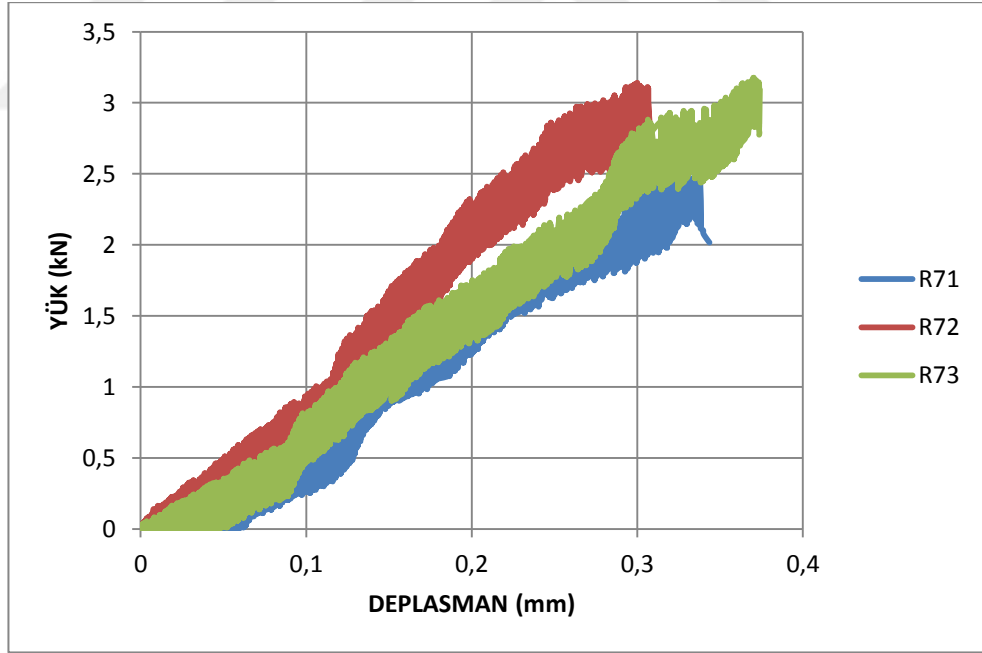
EK Şekil 1.11. T_062LS_R4 nolu üçgen plaka numunenin yük-deplasman grafiği



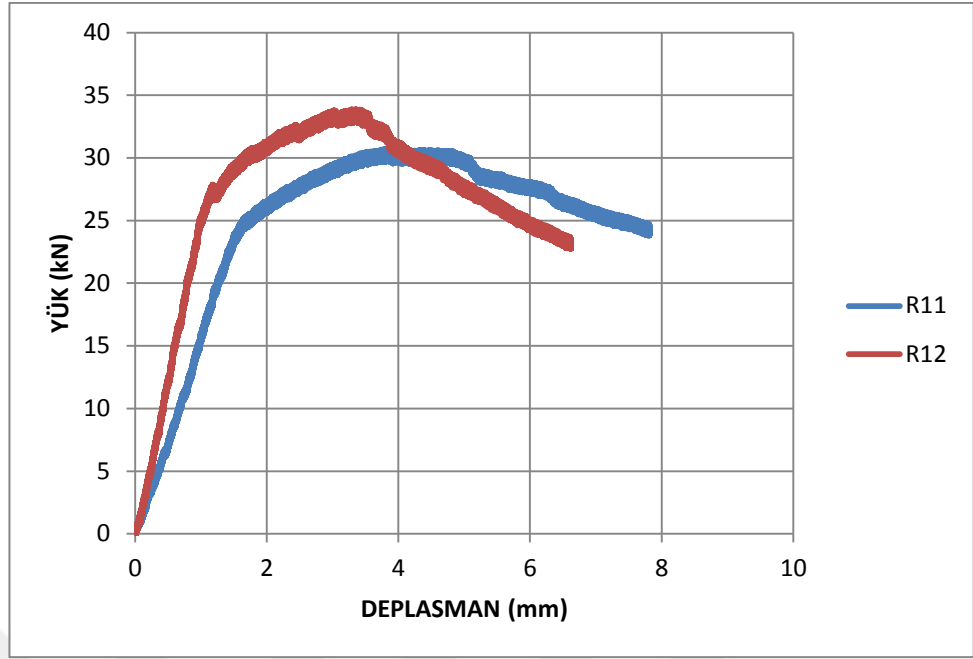
EK Şekil 1.12. T_062LS_R5 nolu üçgen plaka numunenin yük-deplasman grafiği



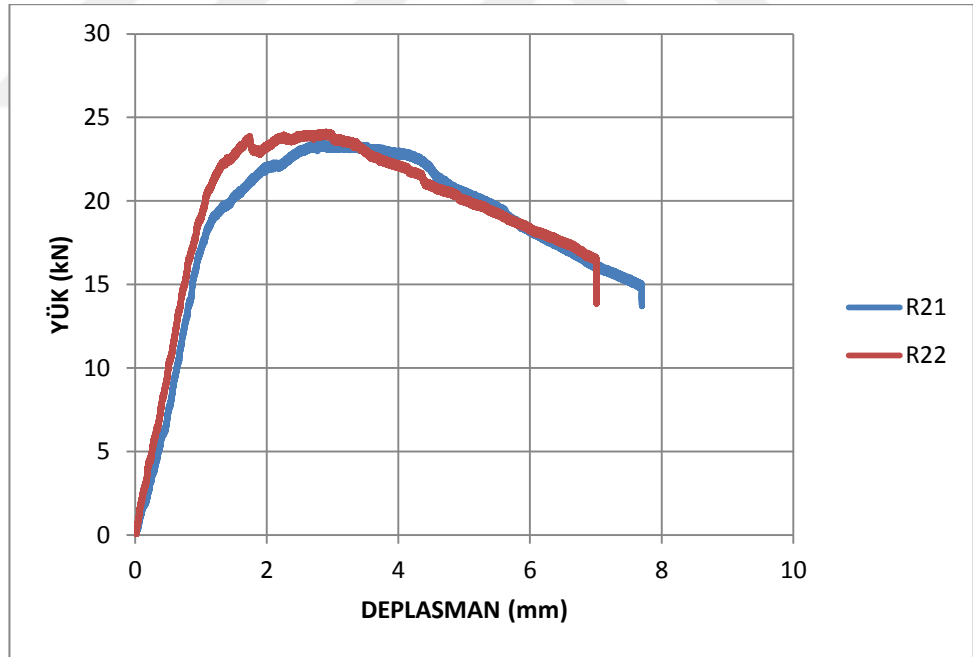
EK Şekil 1.13. T_062LS_R6 nolu üçgen plaka numunenin yük-deplasman grafiği



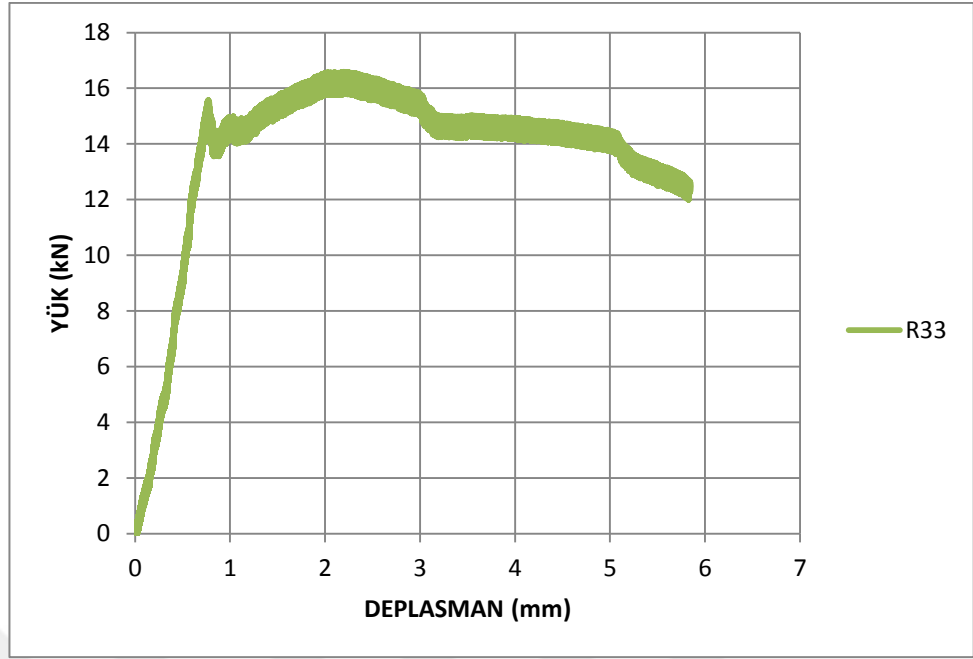
EK Şekil 1.14. T_062LS_R7 nolu üçgen plaka numunenin yük-deplasman grafiği



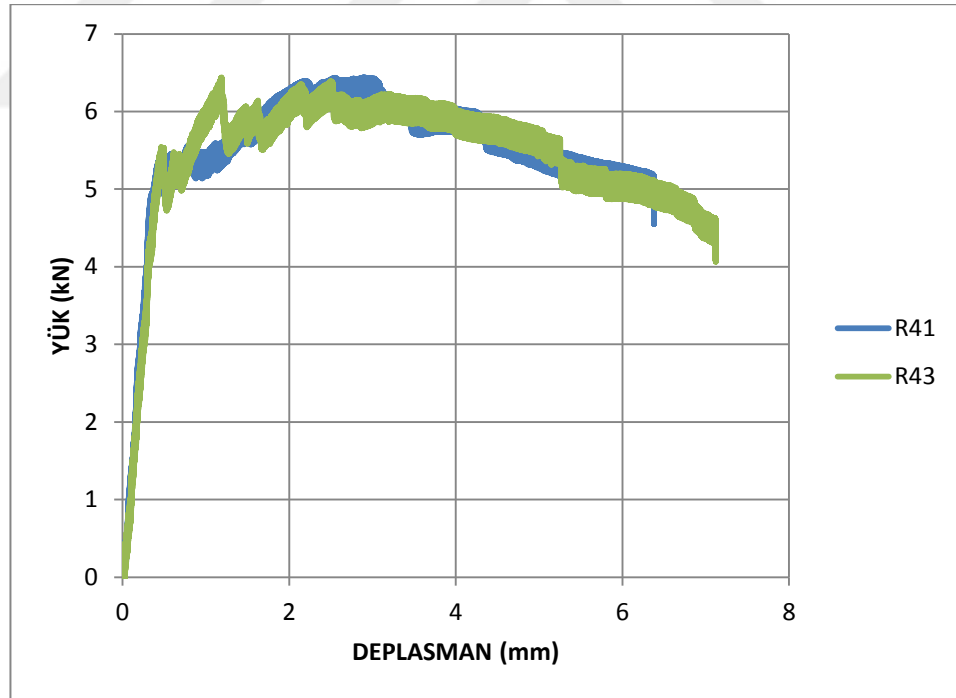
EK Şekil 1.15. T_042LL_R1 nolu üçgen plaka numunenin yük-deplasman grafiği



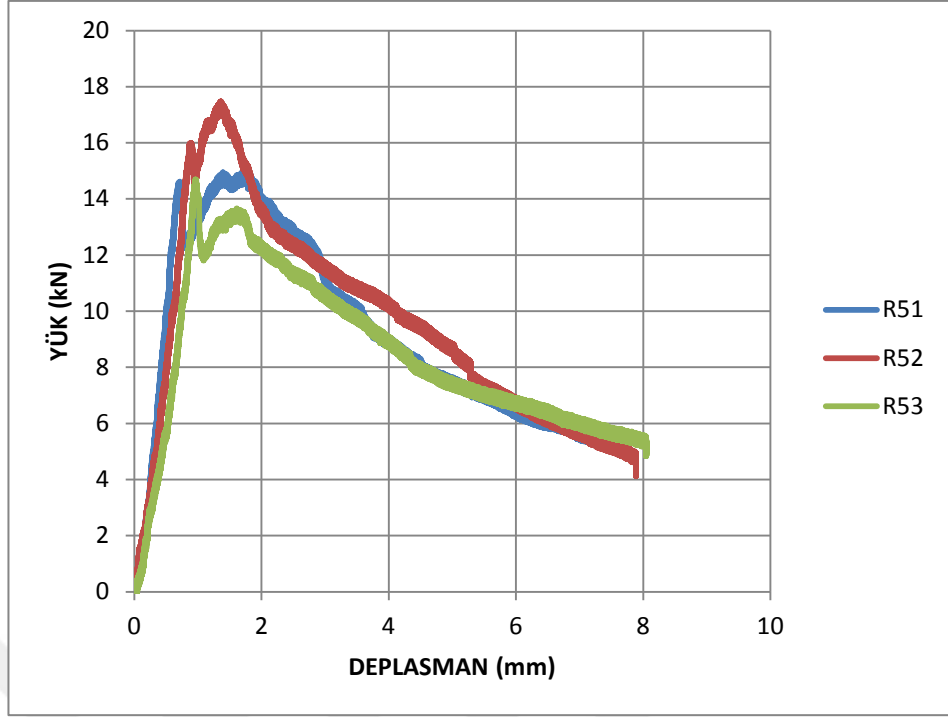
EK Şekil 1.16. T_042LL_R2 nolu üçgen plaka numunenin yük-deplasman grafiği



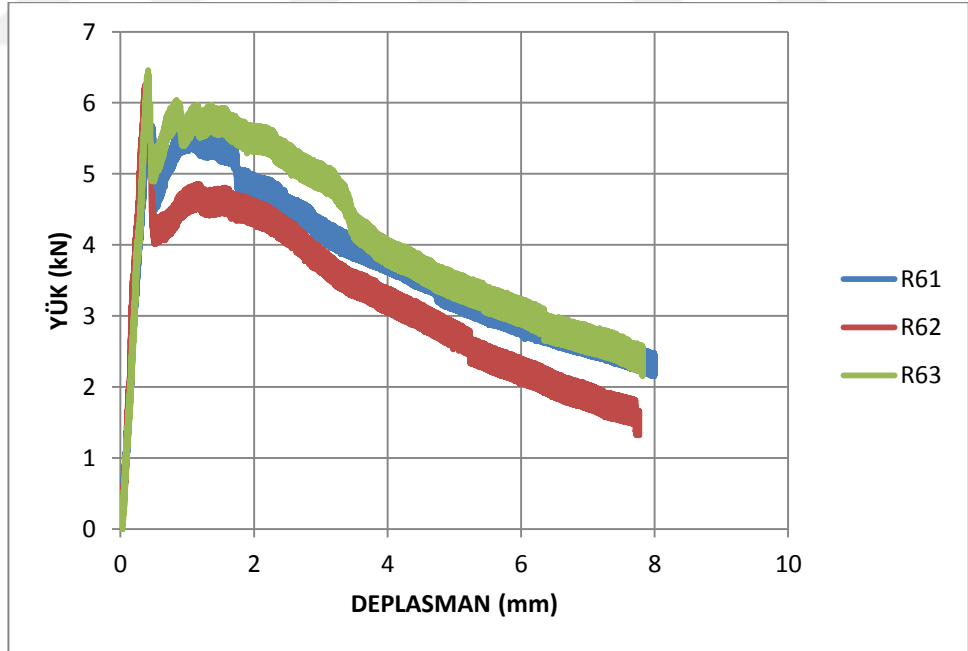
EK Şekil 1.17. T_042LL_R3 nolu üçgen plaka numunenin yük-deplasman grafiği



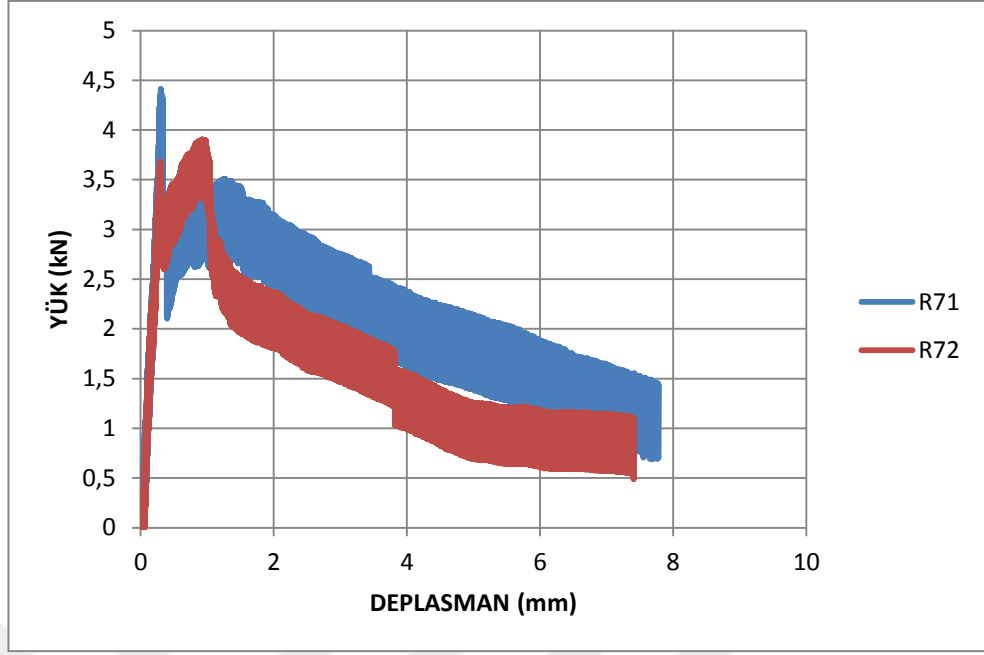
EK Şekil 1.18. T_042LL_R4 nolu üçgen plaka numunenin yük-deplasman grafiği



EK Şekil 1.19. T_042LL_R5 nolu üçgen plaka numunenin yük-deplasman grafiği

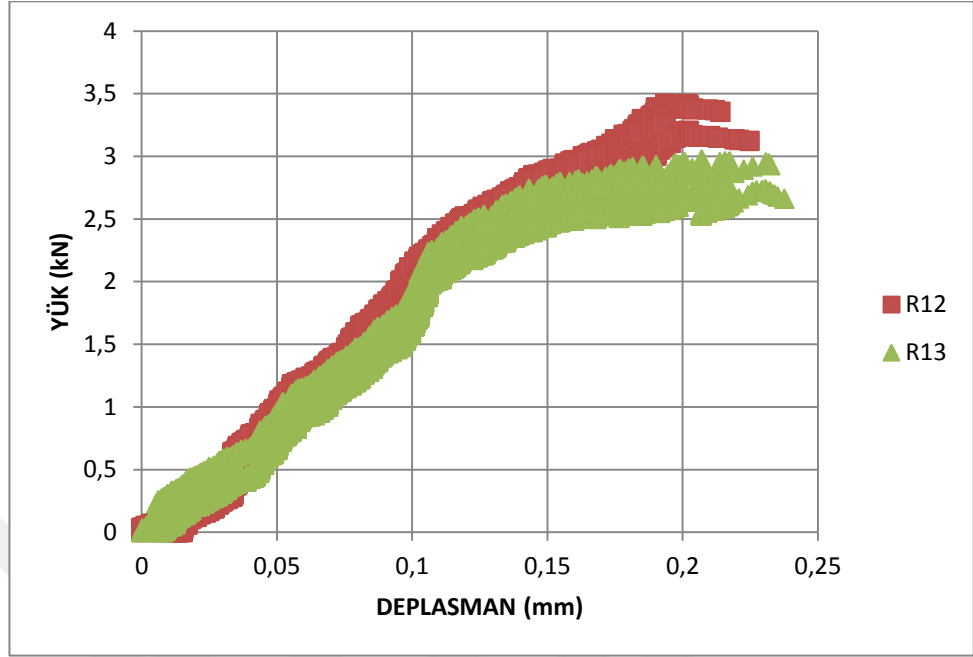


EK Şekil 1.20. T_042LL_R6 nolu üçgen plaka numunenin yük-deplasman grafiği

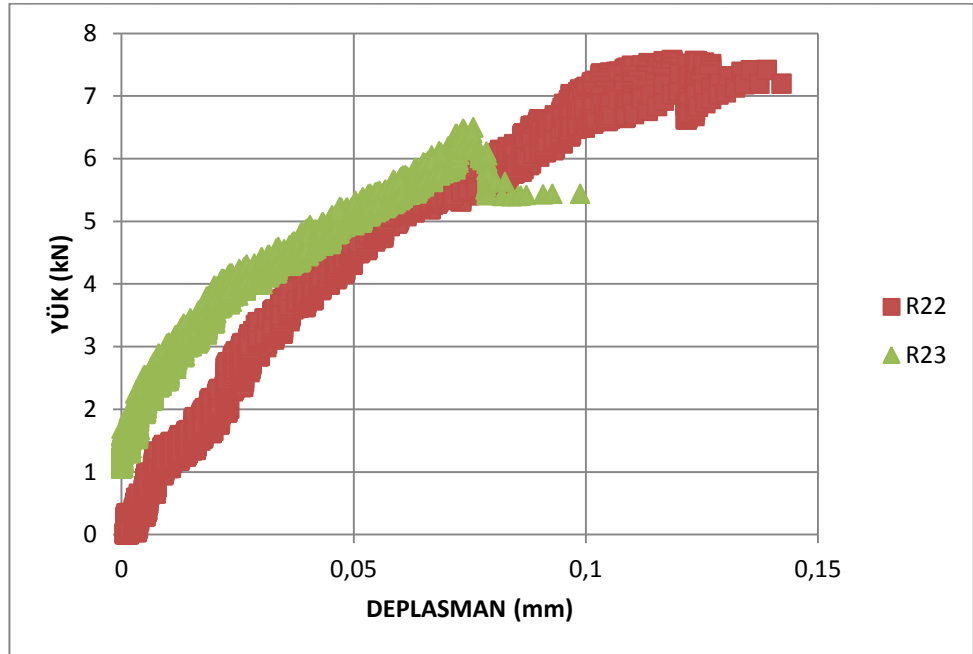


EK Şekil 1.21. T_042LL_R7 nolu üçgen plaka numunenin yük-deplasman grafiği

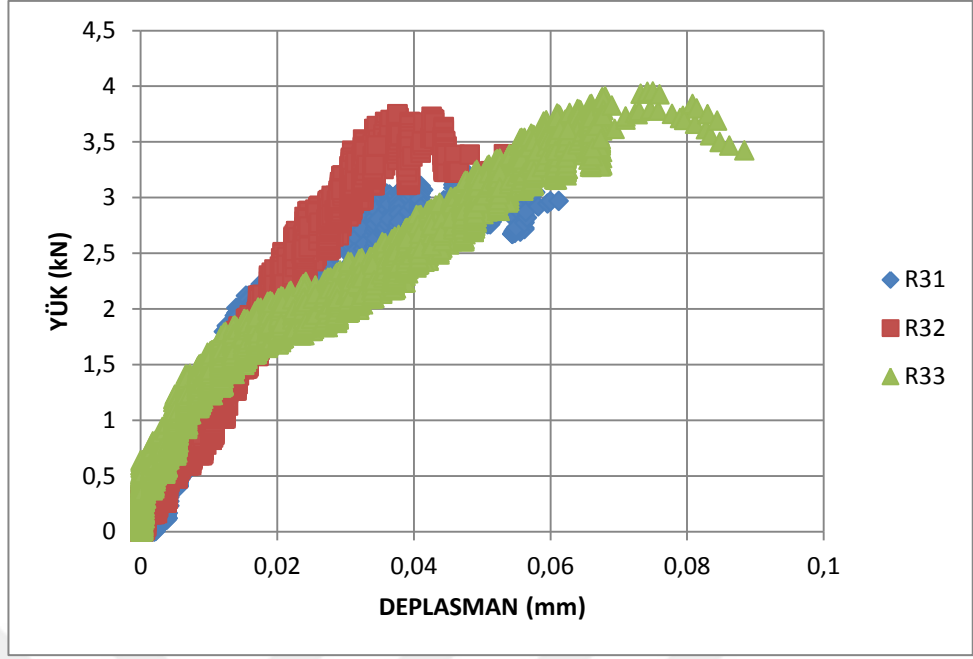
EK 2. Kiriş Eleman Numunelerinin Yük-Deplasman Grafikleri



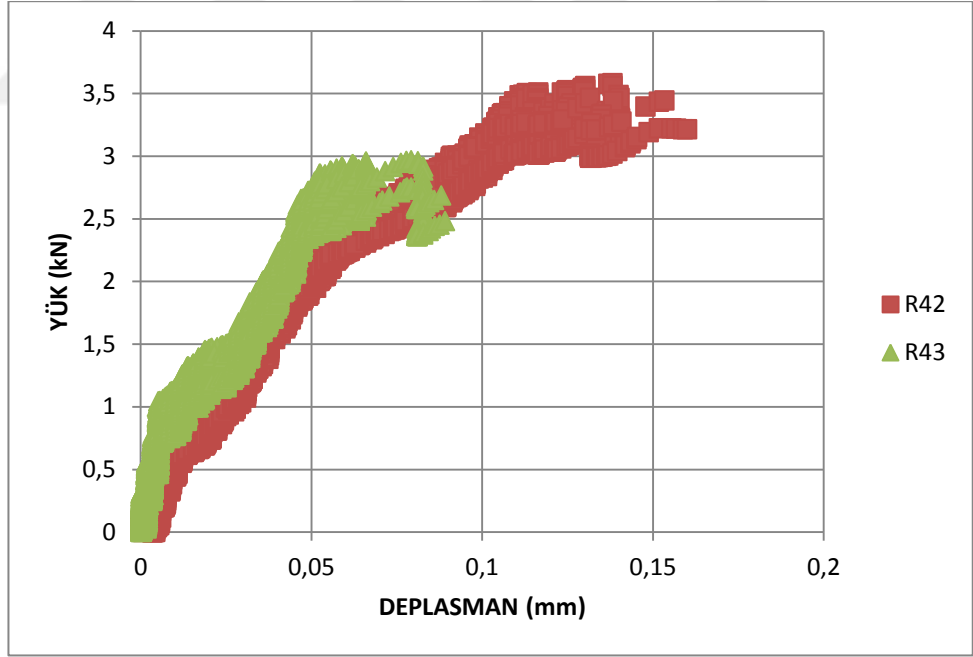
EK Şekil 2.1. B_042LS_R1 nolu kiriş elaman numunenin yük-deplasman grafiği



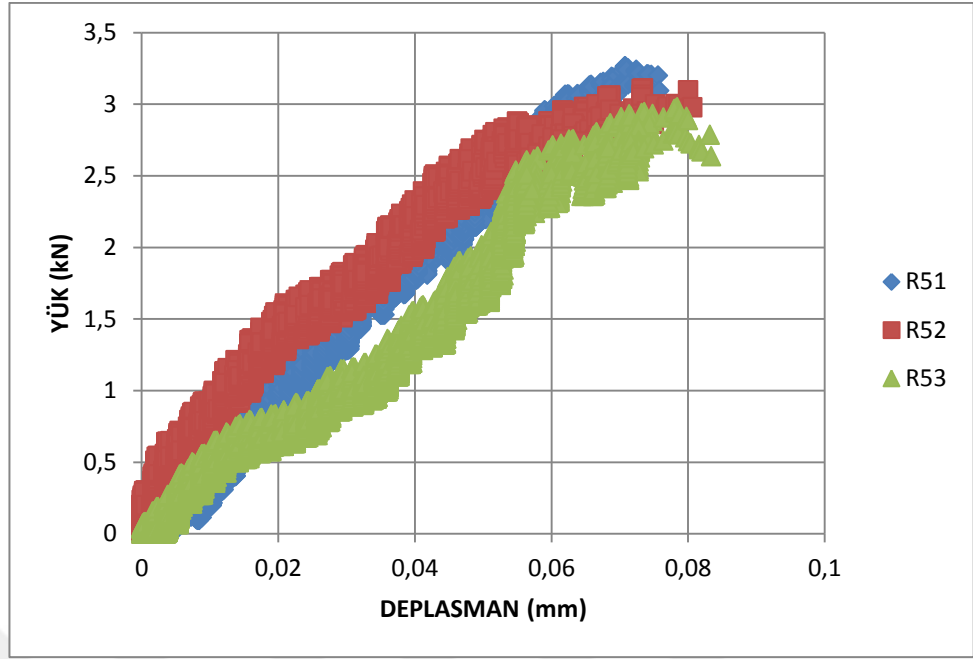
EK Şekil 2.2. B_042LS_R2 nolu kiriş elaman numunenin yük-deplasman grafiği



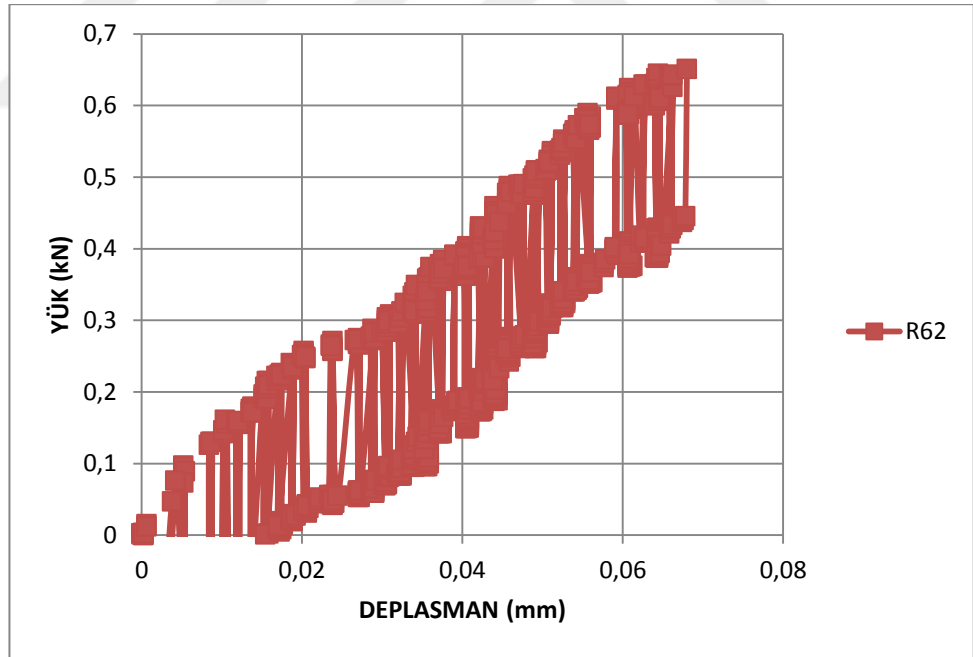
EK Şekil 2.3. B_042LS_R3 nolu kiriş elaman numunenin yük-deplasman grafiği



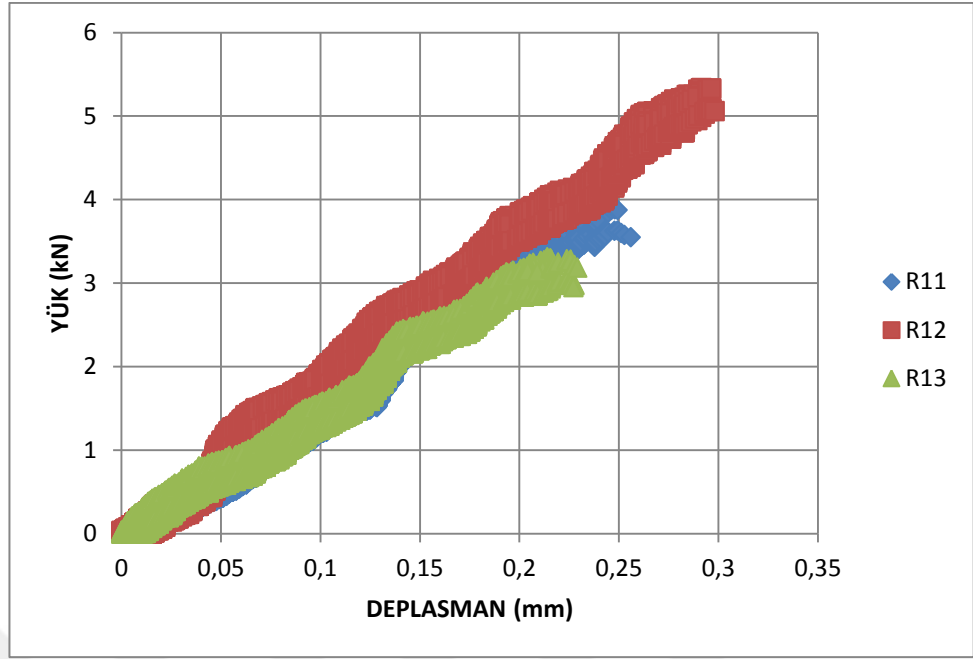
EK Şekil 2.4. B_042LS_R4 nolu kiriş elaman numunenin yük-deplasman grafiği



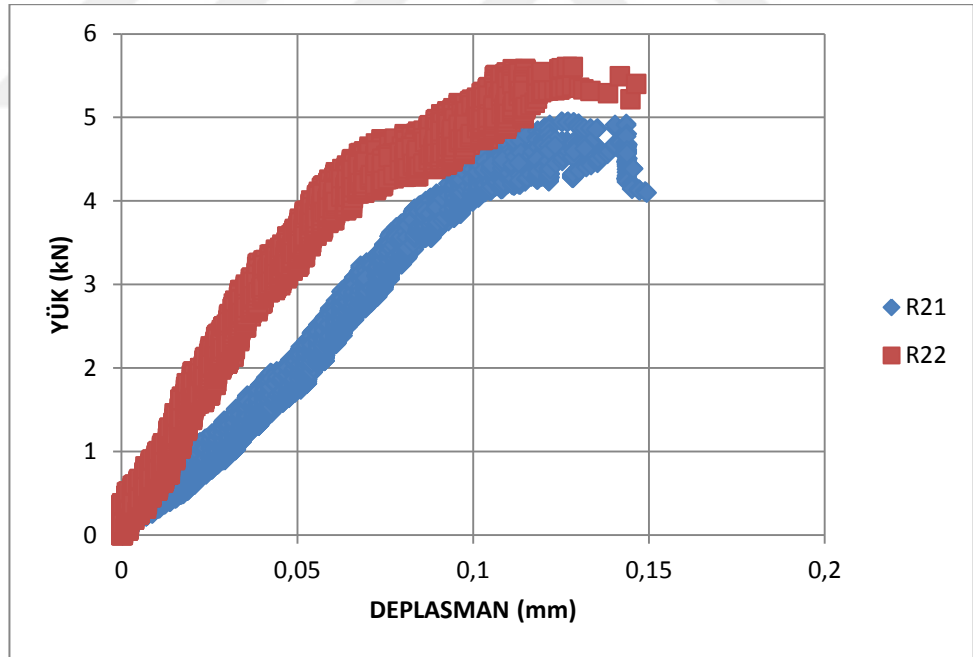
EK Şekil 2.5. B_042LS_R5 nolu kiriş elaman numunenin yük-deplasman grafiği



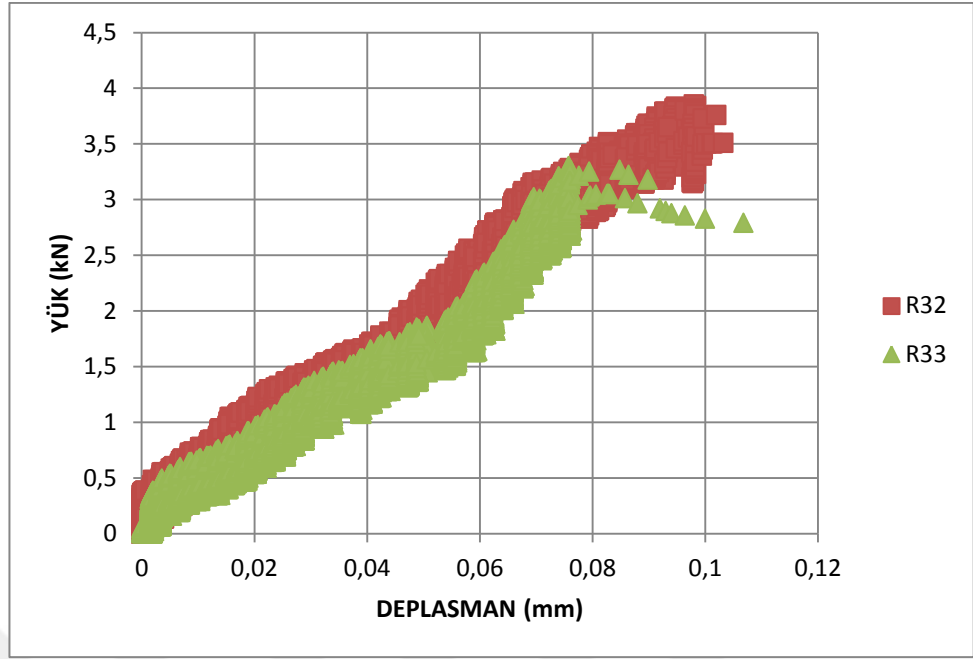
EK Şekil 2.6. B_042LS_R6 nolu kiriş elaman numunenin yük-deplasman grafiği



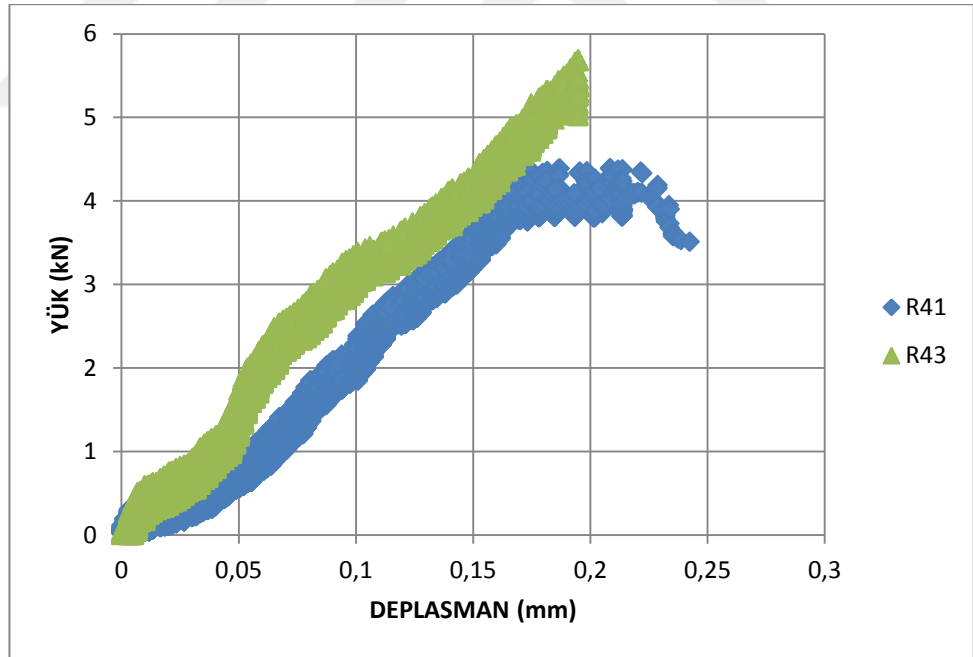
EK Şekil 2.7. B_062LS_R1 nolu kiriş elaman numunenin yük-deplasman grafiği



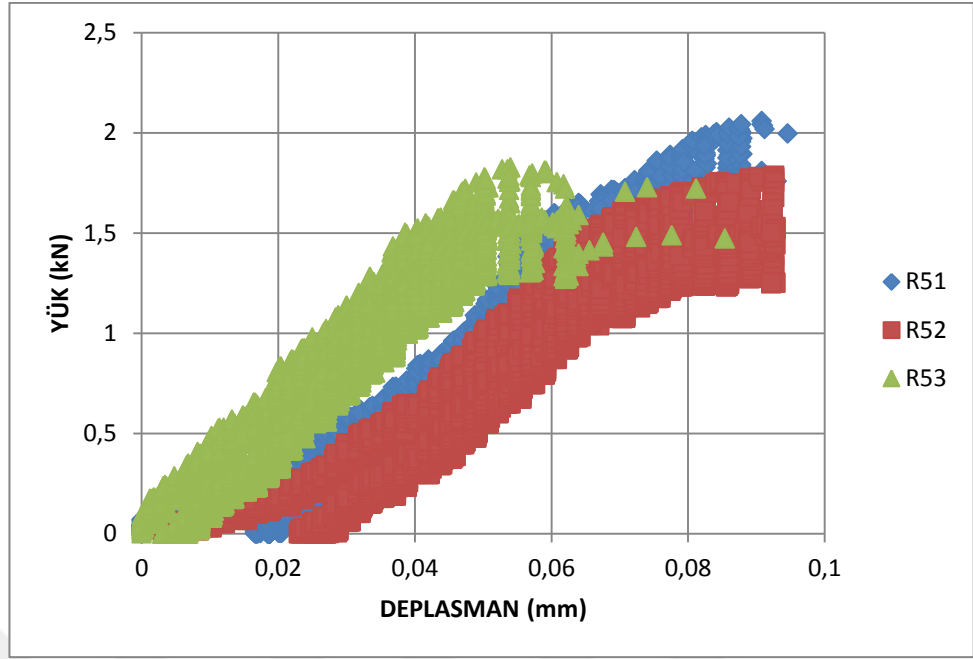
EK Şekil 2.8. B_062LS_R2 nolu kiriş elaman numunenin yük-deplasman grafiği



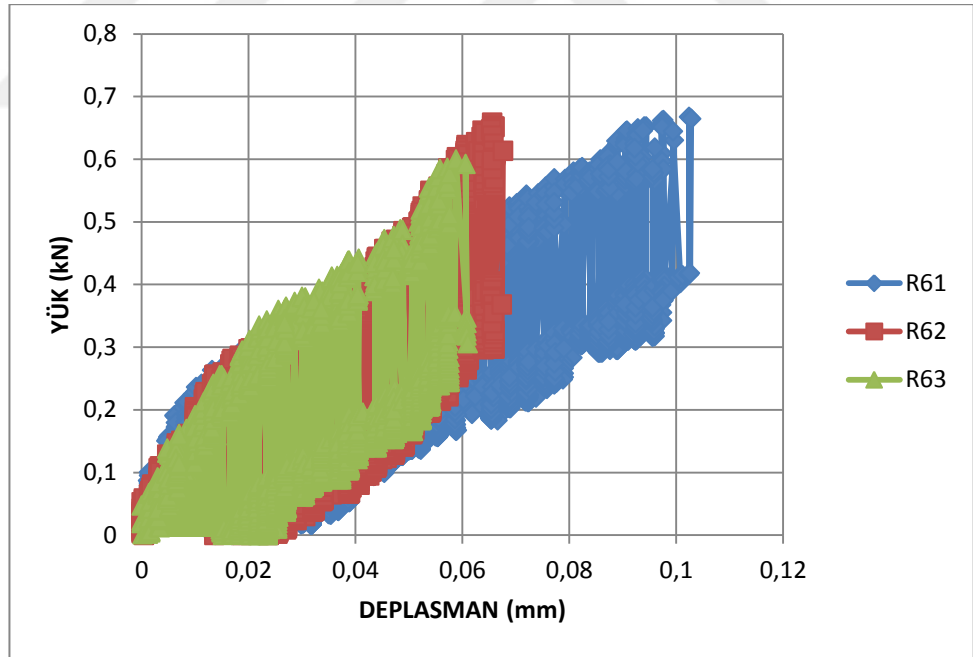
EK Şekil 2.9. B_062LS_R3 nolu kiriş elaman numunenin yük-deplasman grafiği



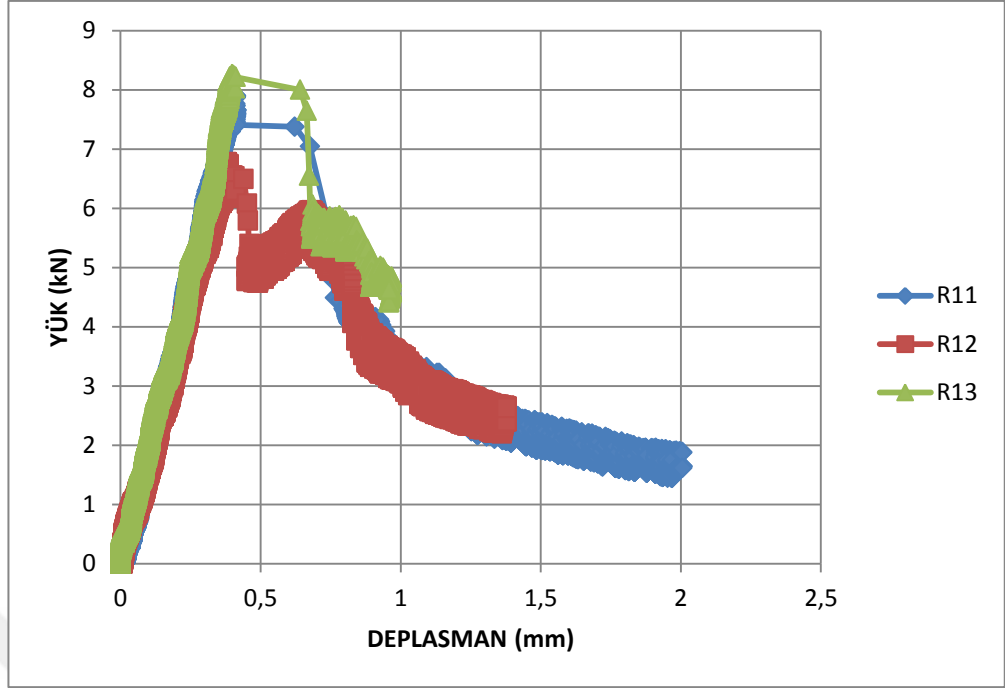
EK Şekil 2.10. B_062LS_R4 nolu kiriş elaman numunenin yük-deplasman grafiği



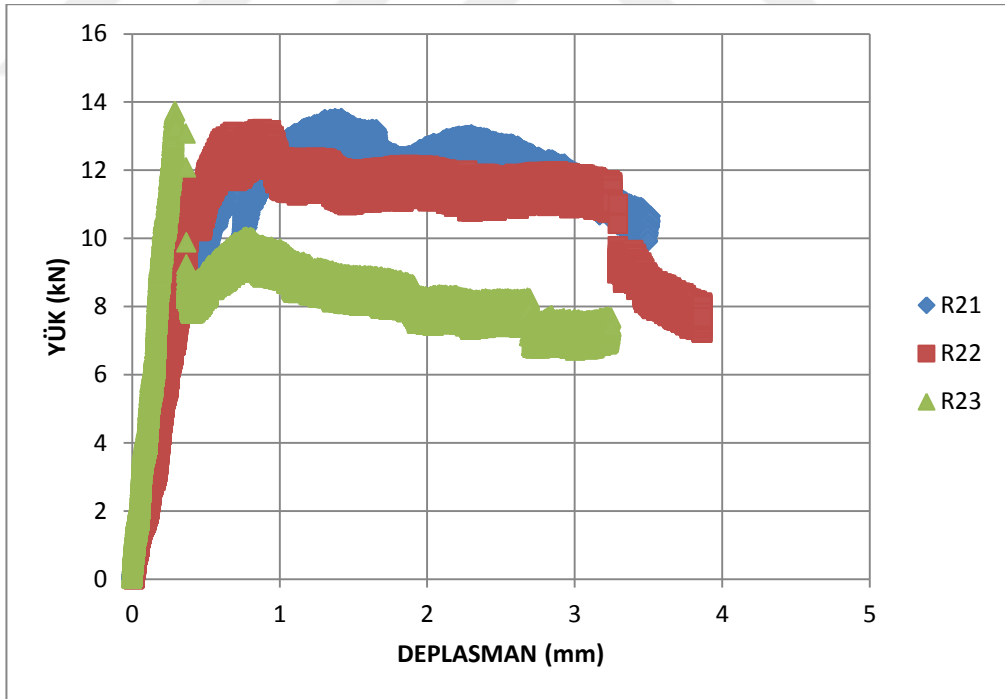
EK Şekil 2.11. B_062LS_R5 nolu kiriş elaman numunenin yük-deplasman grafiği



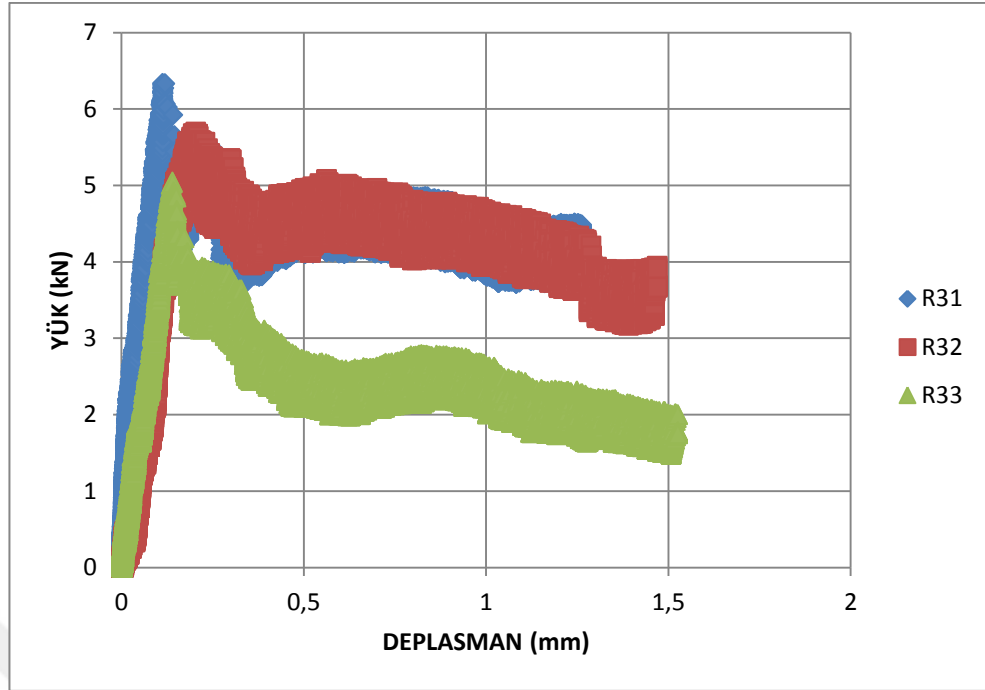
EK Şekil 2.12. B_062LS_R6 nolu kiriş elaman numunenin yük-deplasman grafiği



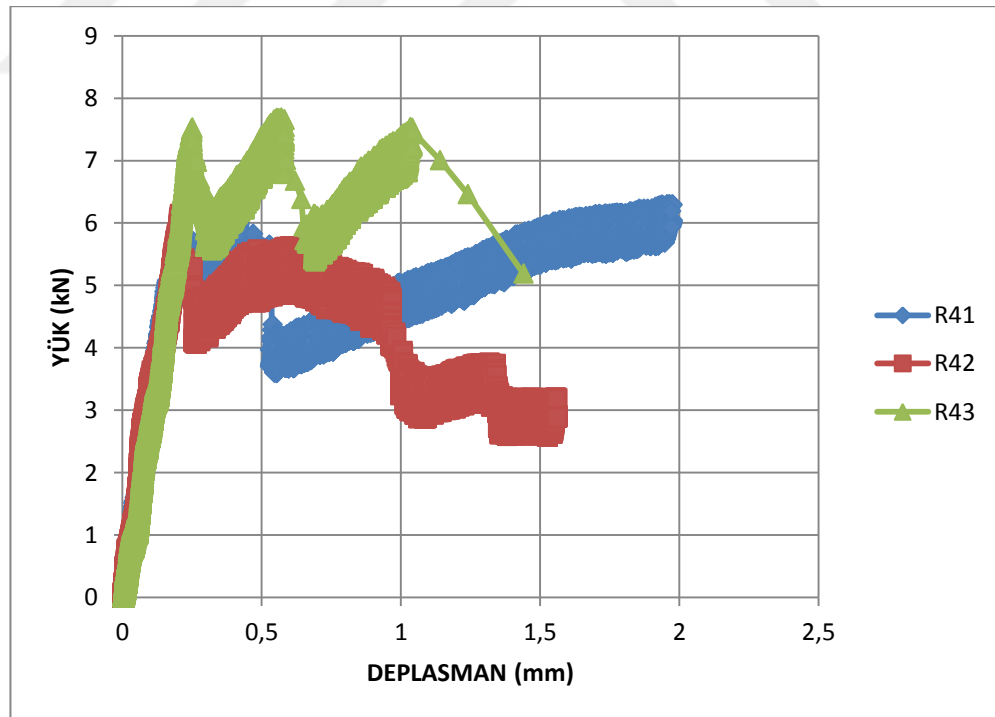
EK Şekil 2.13. B_042LL_R1 nolu kiriş elaman numunenin yük-deplasman grafiği



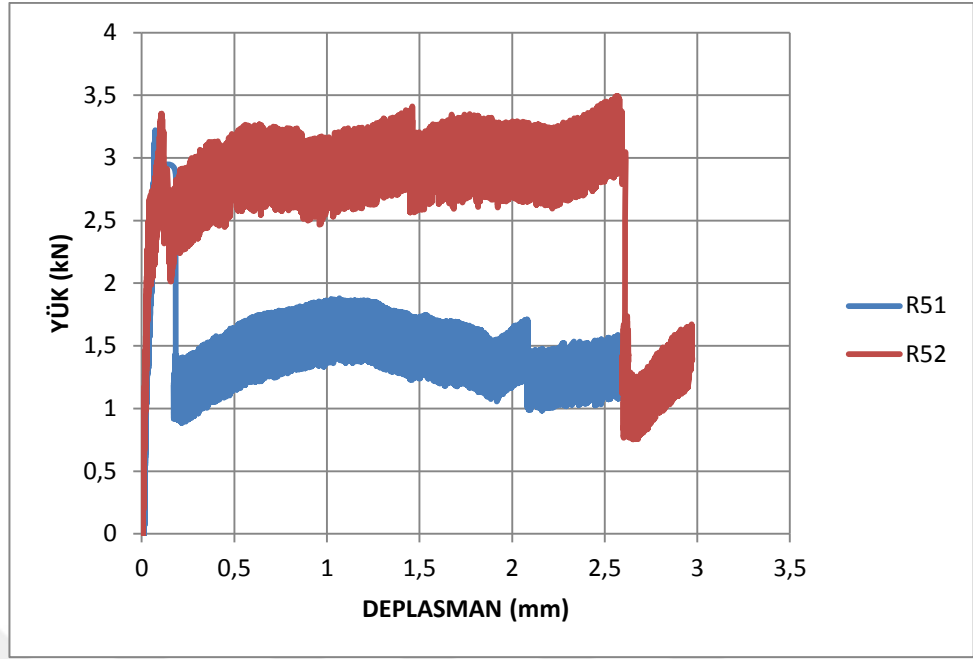
EK Şekil 2.14. B_042LL_R2 nolu kiriş elaman numunenin yük-deplasman grafiği



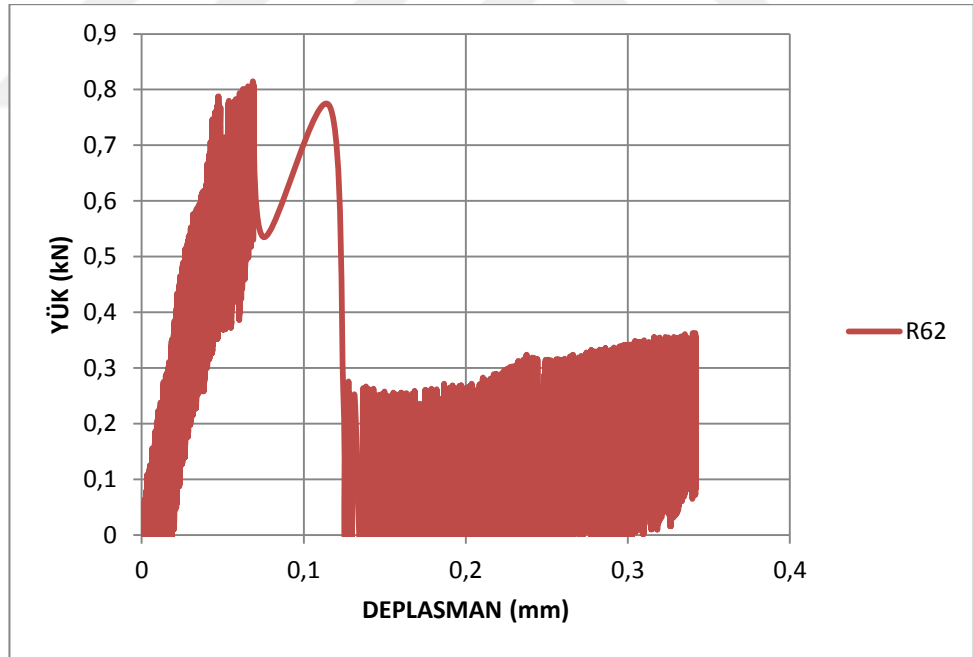
EK Şekil 2.15. B_042LL_R3 nolu kiriş elaman numunenin yük-deplasman grafiği



EK Şekil 2.16. B_042LL_R4 nolu kiriş elaman numunenin yük-deplasman grafiği



EK Şekil 2.17. B_042LL_R5 nolu kiriş elaman numunenin yük-deplasman grafiği



EK Şekil 2.18. B_042LL_R6 nolu kiriş elaman numunenin yük-deplasman grafiği

EK 3. Deney numunelerin döküm, kürleme ve kırma aşamaları



EK Şekil 3.1. kiriş numuneler için kalıpların hazırlanması.



EK Şekil 3.2. kiriş numunelerin dökümü



EK Şekil 3.3. Üçgen plaka numunelerin dökümü



EK Şekil 3.4. Üçgen plaka numuneleri üretim aşamasında



EK Şekil 3.5. Üçgen plaka numunelerin döküm sırasında hocanın kontrolü



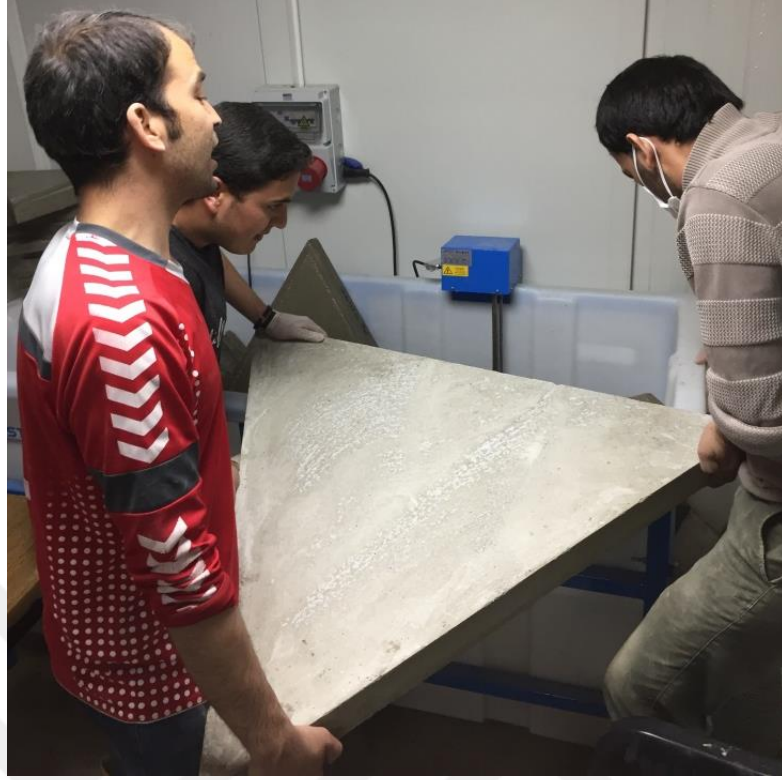
EK Şekil 3.5. Üçgen plaka numuneleri 12 saat sonra kürlenme durumu



EK Şekil 3.7. Numuneleri kalıplardan çıkartma aşamaları



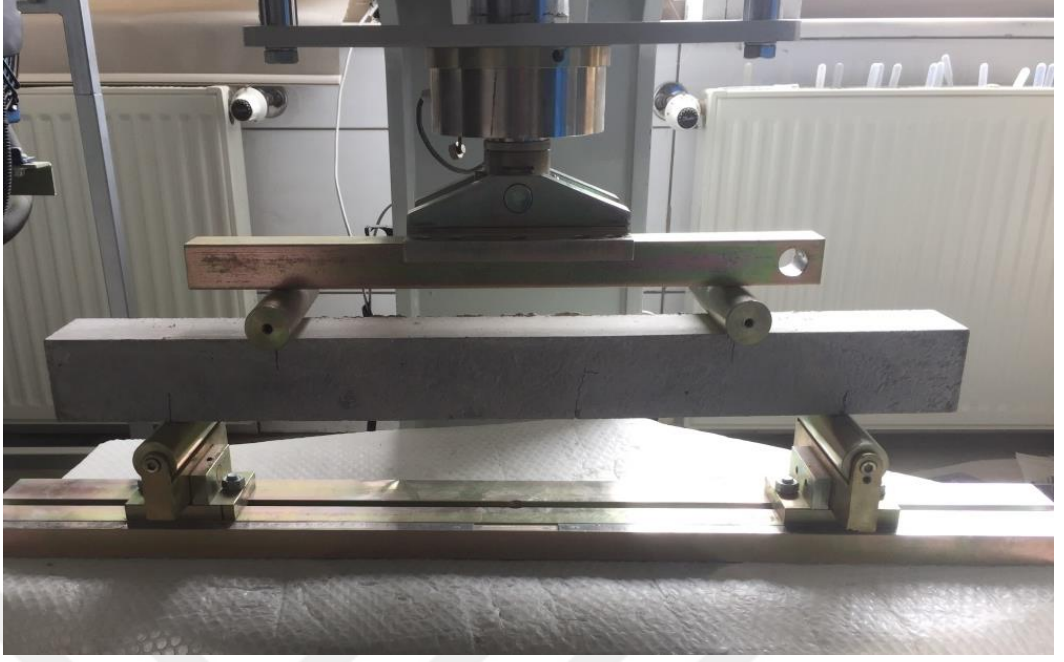
EK Şekil 3.8. Numuneleri kalıplardan çıkartma aşamaları



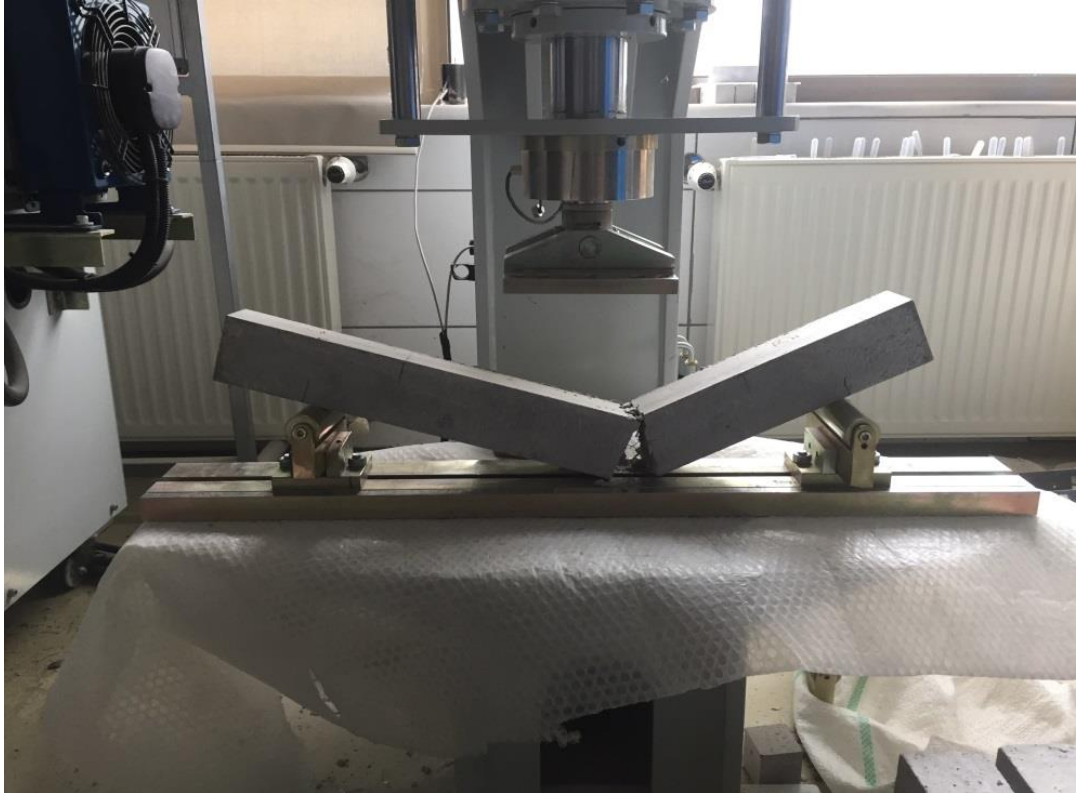
EK Şekil 3.9. Numuneleri kür havuzuna yerleştirilmesi



EK Şekil 3.10. Numuneler 28 gün kür havuzunda beklemede



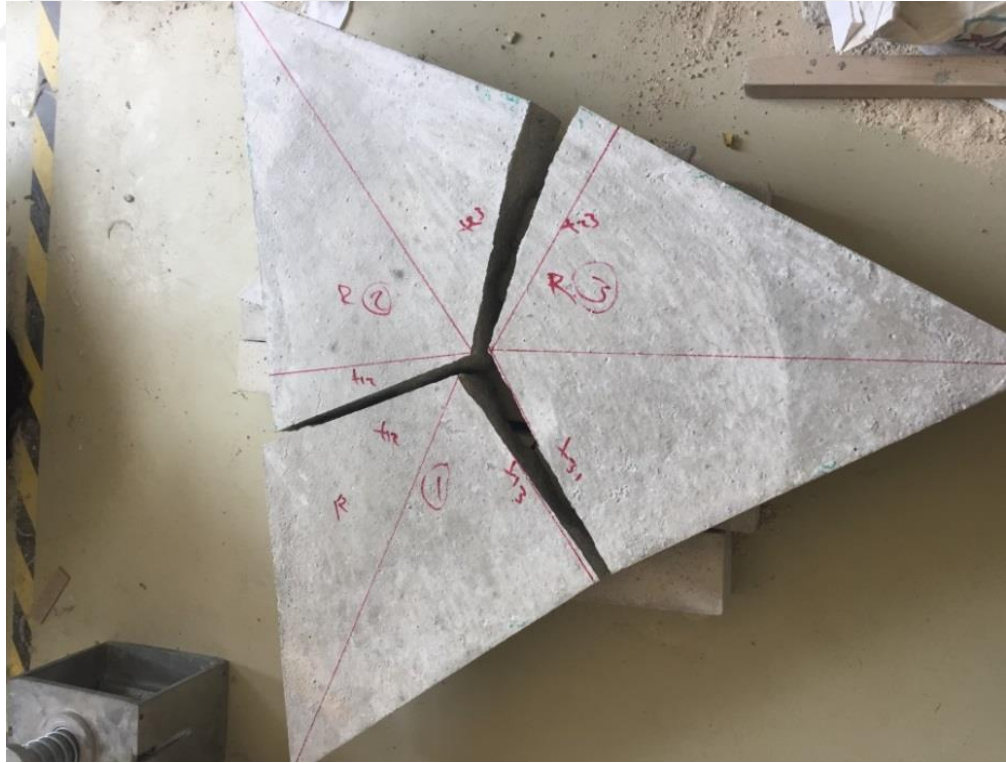
EK Şekil 3.11. B_042LS_R11 nolu kiriş numunenin yükleme aşaması



EKŞekil 3.12. B_042LS_R11 nolu kiriş numunenin kırılmış durumu



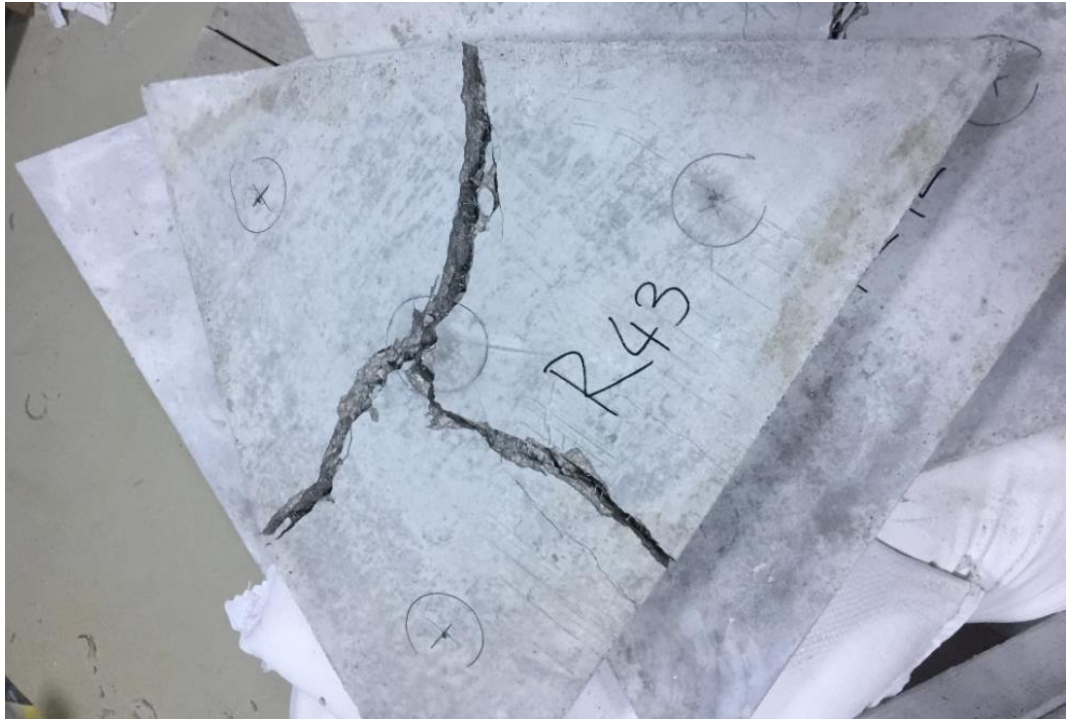
EK Şekil 3.13. T_042LS_R11 nolu üçgen numunenin yükleme aşaması



EK Şekil 3.14. T_042LS_R11 nolu üçgen numunenin kırılmış durumu



EK Şekil 3.15. T_042LL_R43 nolu üçgen numunenin yükleme aşaması



Ek Şekil 3.16. T_042LL_R43 nolu üçgen numunenin kırılmış durumu



Ek Şekil 3.16. Test edilen kiriş ve üçgen numuneler

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hamidullah MİRKHEEL
Doğum Yeri ve Tarihi : Afganistan 1989
Yabancı Dili : İngilizce, Türkçe, Farsça

Eğitim Durumu

Lise : İbrahim Khalillulah Lisesi / Kabil
Lisans : Akdeniz Üniversitesi / Antalya

Çalıştığı Kurum / Kurumlar ve Yıl : DynCorp International (Kabil, 2009)
Ertas İnşaat (Bursa, 2015-2016)
İletişim (e-posta) : mir.1648@gmail.com