

**LİFLİ BETONUN ÇEKME DAYANIMINI BELİRLEMEK
İÇİN ÖNERİLEN ÜÇGEN PLAKA DENEYİNİ SAYISAL
MODELLEME VE ANALİZLERİ**

Faiz Agha SHAREEF



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LİFLİ BETONUN ÇEKME DAYANIMINI BELİRLEMEK İÇİN ÖNERİLEN
ÜÇGEN PLAKA DENEYİNİ SAYISAL MODELLEME VE ANALİZLERİ**

Faiz Agha SHAREEF

(Orcid: 0000-0003-4278-9444)

Prof. Dr. Babür DELİKTAŞ

(Orcid: 0000-0002-4035-4642)

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI


BURSA – 2019

TEZ ONAYI

Faiz Agha SHAREEF tarafından hazırlanan "LİFLİ BETONUN ÇEKME DAYANIMINI BELİRLEMEK İÇİN ÖNERİLEN ÜÇGEN PLAKA DENEYİN SAYISAL MODELLEME VE ANALİZLERİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa 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
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
(Orcid: 0000-0002-4035-4642)

İmza


Üye : Doç. Dr. Mustafa Özgür YAYLI
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
(Orcid: 0000-0003-2333-3062)

İmza


Üye : Doç. Dr. Şeref Doğuşcan AKBAŞ
Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa
Bilimleri Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
(Orcid: 0000-0003-2333-3062)

İmza


Yukarıdaki sonucu onaylım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

30/10/2019

B.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 yararlanması 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.

08/10/2019



Faiz Agha SHAREEF

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

LİFLİ BETONUN ÇEKME DAYANIMINI BELİRLEMEK İÇİN ÖNERİLEN ÜÇGEN PLAKA DENEYİNİ SAYISAL MODELLEME VE ANALİZLERİ

Faiz Agha SHAREEF

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Babür DELİKTAŞ

Boyut etkisi, betonun kırılma mekaniğinin önemli bir uygulamasıdır. Son yıllarda boyut etkisi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Çalışmaların çoğu tek eksenli çekme gerilmesi altında numuneler kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada, deneylerden ve analitik olarak elde edilen çift eksenli çekme dayanımı üzerindeki boyut etkisi sayısal analizlerle araştırıldı. Beton harcının çift eksenli çekme dayanımı üzerindeki boyut etkisini, deneysel olarak bulmak için üçgen plaka test yöntemi kullanıldı. Deneyler için, çelik lifli ve lifsiz olarak üç farklı su-çimento oranına sahip harç karışımları tasarlanarak çeşitli boyutlara sahip toplamda 63 adet üçgen plaka deney numuneleri hazırlandı. Deneylerden elde edilen maksimum göçme yükleri kullanılarak hesaplanan çift eksenli çekme dayanımları üzerindeki boyut etkisi analizleri Klasik Tip I boyut etkisi yasası kullanılarak yapıldı. Üçgen plaka numunelerin sayısal modelleri sonlu elemanlar çatısı altında oluşturuldu. Sayısal analizlerle deney numunelerin maksimum göçme yüklerini hesaplamak için M7 mikrodüzlem modeli, üçgen plakanın sonlu elemanlar modelinde kullanıldı. Sayısal analizlerden elde edilen göçme yükleri kullanılarak hesaplanan çift eksenli gerilme dayanımları üzerinde boyut etkisi analizleri yapılarak deneyden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldı. Bu çalışmanın sonucunda, üçgen plaka test yönteminin betonun çekme dayanımı ve kırılma davranışı üzerindeki boyut etkisinin belirlenmesinde güvenilir alternatif bir test yöntemi olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Lifli Betonlar, Çekme Dayanımı, Sonlu Elemanlar Analizleri, Boyut Etkisi, Su-çimento Oranı, Mekanik Özellikler, Çelik Lif
2019, viii + 65 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

NUMERICAL MODELING AND ANALYSES OF THE TRIANGLE PLATE METHOD PROPOSED TO DETERMINE THE TENSILE STRENGTH OF FIBER REINFORCED CONCRETE

Faiz Agha SHAREEF

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

Supervisor: Prof. Dr. Babür DELİKTAŞ

The size effect is the one of important application of concrete fracture mechanics. Many studies have been done on the size effect in recent years. Most of studies were carried out by using specimens under uniaxial tensile stress. In this study, the size effect on the experimentally and analytically determined biaxial tensile strength is investigated by numerical analyses. The triangular plate method was used to find size effect on the biaxial tensile strength of the mortar mixtures. For experiments, the mortar mixtures that were designed by considering the three different water cement ratios and the steel fiber reinforcements were used for the preparation of a total of 63 test specimens. The size effect analyses were performed on the biaxial tensile strength, calculated by using failure load obtained from the experiments, based on Classical Type I size effect law. The Microplane Model M7 was used in the finite element model established for the triangular test specimens in order to calculate the failure loads of the testing specimens by numerical analyses. As results of this study, it was concluded that the triangular plates testing method can be used as an alternative and reliable test method to determine the size effect on the biaxial 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
2019, viii + 65 pages.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmalarının gelişmesinde bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren, her türlü olanağı sağlayan ve çalışmalarım sürecinde desteklerini esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Babür DELİKTAŞ'a, teşekkürlerimi sunarım.

Analitik çalışmalarımda kıymetli bilgilerini esirgemeyen çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. Hakan T. TÜRKER'e, Doç. Dr. Turan ARSLAN'a, çalışmalarım beni destekte bulunan ve yol gösteren sevgili hocam Arş. Gör. M. Ömer TİMURAĞAOĞLU'na, ve her konuda beni destekleyen ve yol gösteren çok değerli hocam Sayın Rektör yardımcısı|Bölüm başkanı Prof. Dr. Adem Doğangün'e ve İnşaat Mühendisliği bölümün tüm hocalarına teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans çalışmalarım süresince her türlü maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen çok değerli hocam Arş. Gör. Adnan AYDINTÜRK'e ve Laboratuvar ortamı çalışmalarım beni destekleyen ve yalnız bırakmayan sevgili meslektaşlarım Waheed RASEKH'e, Hamidullah MIRKHEEL'e, Bashir Ahmad MAYAR'e, Mojibullah NOORI'ye, Aiman TARIQ'e ve Moslem NOORI'ye teşekkürlerimi sunarım.

Bana inanan, akademik sürecinin zorluklarına rağmen beni her zaman motive edip cesaretlendiren, maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen, irade ve azmini takdir ettiğim ağabeyim Hafizullah SHAREEF'a, sevgili eşime ve aileme şükranlarımı sunarım.

Faiz Agha SHAREEF

08/10/2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	7
3.1. Deney Malzeme ve Karışımları	7
3.2. Numunelerin Adet ve Boyutları	9
3.3. Numunelerin İsimlendirilmesi	10
3.4. Deney Düzenegi	11
3.4.1. Çekme dayanımının deneysel yöntemle belirlenmesi.....	11
3.4.2. Boyut etkisi deney numuneleri ve üçgen plaka deneyi.....	12
3.5. Deneysel Sonuçlar.....	15
3.5.1. Boyut etkisinin analitik analizi.....	19
3.5.2. Boyut etkisi parametrelerini belirlemek için lineer regresyon analizi	25
3.6.2. Çift eksenli eğilme testi numunelerinin karakteristiklerinin nümerik simülasyonu	31
3.8.1. Mikroplan M7 Modeli.....	32
3.8.2. Mikrodüzlem modelinin kalibre edilmesi ve doğrulanması.....	34
3.8.3. Merkezi yüklü dairesel plaka deneyi, ASTM C1550.....	34
3.8.4. Betonun çift eksenli eğilme dayanımını tahmin etmek için çift eksenli üçgen eğilme deneyin simülasyonu	38
3.9. Disklerde ve Üçgen Plakalarda Boyut Etkisi	41
3.9.1. Çift eksenli dayanımda boyut etkisi.....	42
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	44
4.1. Kırılma Şekillerinin Sonuçları ve Tartışılması	44
4.2. Disklerde Boyut Etkisi	45
4.3. Beton İçin Çift Eksenli Üçgen Eğilme Deneyinin Sonlu Elemanlarla Doğrulaması	46
4.3.1. 0,42 Su-çimento oranına sahip liffsiz üçgen plaka numunelerin simülasyonu	46
4.3.1. 0,62 Su-çimento oranına sahip liffsiz üçgen plaka numunelerin simülasyonu	51
4.3.2. 0,42 Su-çimento oranına sahip lifli üçgen plaka numunelerin simülasyonu	54
5. SONUÇ.....	60
KAYNAKLAR	62
ÖZGEÇMİŞ.....	65

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
A	Lineer regresyon eğimi
a	Plakalarda çatlak uzunluğu
C	Lineer regresyon doğrusunun düşey eksenini
Co	Uygunluk katsayısı
Da	En büyük agrega tane boyutu
D	Plakanın karakteristik kalınlığı
D _b	Lineer regresyon sonucu bulunan malzeme katsayısı
E	Elastisite modülü
f _c	Betonun basınç dayanımı
f _t	Betonun çekme dayanımı
f _r [∞]	Lineer regresyon sonucu bulunan malzeme katsayısı
P _u	Göme yükü
P _{cr}	Kritik yük
t	Üçgen plakanın kalınlığı
ε	Şekil değiştirme

Kısaltmalar	Açıklama
AÇY	Akma Çizgiler Yöntemi
AÇT	Akma Çizgileri Teorisi
BFT	Biaxial Flexural Test
ÇEE	Çift Eksenli Eğilme
ÇLTB	Çelik Lif Takviyeli Beton
LL	Lifli
LS	Lifsiz
LVDT	Linear Variable Displacement Transducer
SE	Sonlu Elemanlar
SEA	Sonlu Elemanlar Analizleri
SEDS	Sonlu Elemenler Deney Simülasyon
SEL	Size Effect Law
ÜP	Üçgen Plaka
ÜPY	Üçgen Plaka Yöntemi
SEA	Sonlu Elemanlar Analizleri
042LL	0,42 Lifli
042LS	0,42 Lifsiz
062LS	0,62 Lifsiz

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

- Şekil 2.1.** ÜPY’de mesnetleme platformu 6
- Şekil 2.2.** ÜP numune yükleme gösterimi 6
- Şekil 3.1.** Üç farklı karışım için yayılma deneyleri 9
- Şekil 3.2.** kullanılan çelik lif profili 9
- Şekil 3.3.** deney numunelerin isimlendirilmesi 11
- Şekil 3.4.** Üçgen plaka ve yükleme şeması 12
- Şekil 3.5.** Üçgen plaka yükleme ve mesnetlenme platformu 13
- Şekil 3.6.** Üçgen plaka numunelerin numune ve yükleme şeması 14
- Şekil 3.7.** Lif içeren bir ÜP numunesinin kırılmış hali 16
- Şekil 3.8.** 042 Su-çimento oranına sahip, a) R1, b) R2, c) R3, d) R4, e) R5, f) R6 ve g) R7 nolu lifli üçgen plakaların yük-deplasman grafikleri 17
- Şekil 3.9.** R1, R2, R3, R6 ve R7 nolu numunelerin yük-deplasman grafiklerin karşılaştırılması 18
- Şekil 3.10.** Su-çimento oranı 042LS ÜP numunelerde karakteristik boyuta bağlı maksimum yük kapasiteleri 23
- Şekil 3.11.** Su-çimento oranı 0,42LS ÜP numunelerde karakteristik boyuta bağlı maksimum gerilme kapasiteleri 23
- Şekil 3.12.** Su-çimento oranı 062LS ÜP numunelerde karakteristik boyuta bağlı maksimum yük kapasiteleri 24
- Şekil 3.13.** Su-çimento oranı 0,62LS ÜP numunelerde karakteristik boyuta bağlı maksimum gerilme kapasiteleri 24
- Şekil 3.14.** Su-çimento oranı 042LL ÜP numunelerde karakteristik boyuta bağlı maksimum yük kapasiteleri 25
- Şekil 3.15.** Su-çimento oranı 042LL ÜP numunelerde karakteristik boyuta bağlı maksimum gerilme kapasiteleri 25
- Şekil 3.16.** Su-çimento oranı 0,42LS Üçgen numune Plakalarda lineer regresyon eğrisi 27
- Şekil 3.17.** Su-çimento oranı 0,42LL Plakalarda boyut etkisi 27
- Şekil 3.18.** Su-çimento oranı 062LS Üçgen numune Plakalarda lineer regresyon eğrisi 28
- Şekil 3.19.** Su-çimento oranı 062LS Plakalarda boyut etkisi 28
- Şekil 3.20.** Su-çimento oranı 042LS Üçgen numune Plakalarda lineer regresyon eğrisi 30
- Şekil 3.21.** Su-çimento oranı 042LL Plakalarda boyut etkisi 30
- Şekil 3.22.** Su-çimento oranı 0,42LL ve 0,42LS Plakalarda boyut etkisi karşılaştırılması 30
- Şekil 3.23.** ASTM C1550 test metodu ile disk numunelerde mesnetlenme ve yükleme gösterimi 35
- Şekil 3.24.** Benzer büyüklükteki 3 diskten büyük diskin deneysel ve sayısal sonuçların karşılaştırılması 36
- Şekil 3.25.** Benzer büyüklükteki 3 moldeden büyük diskin deney ve simülasyon kırılma paternlerinin karşılaştırılması 38
- Şekil 3.26.** ASTM C1550 test metodu ile üçgen plakanın mesnetlenme ve yükleme platformu gösterimi 39

- Şekil 3.27.** Büyük boyutlu üçgen elemanın deneysel ve simülasyon kırılma şekillerinin karşılaştırılması 40
- Şekil 3.28.** Büyük boyutlu üçgen elemanın deneysel ve nümerik sonuçlarında yük şekil değiştirme grafiklerinin karşılaştırılması 41
- Şekil 3.29.** Mikrodüzlem M7 Modelini kullanılarak iki eksenli eğilme deneyleri ve Tahmin edilen yük-şekil değiştirme eğrilerinin karşılaştırılması 43
- Şekil 3.30.** (A) ASTM C 1550 ve (b) çift eksenli eğilme deney panelinin alt yüzeyindeki maksimum ana gerilmenin kırılma çatlakları 45
- Şekil 3.31.** Disk ve üçgen plakalar için ASTM C1550 test panelinin alt yüzeyindeki maksimum ana şekil değiştirmenin çatlak oluşumları 45
- Şekil 3.32.** su-çimento oranı 0,42 lifsiz deney numuneler için M7 modelini kullanarak, (a) R1, (b) R2, (c) R3, (d) R4, (e) R5, (f) R6 ve (g) R7 numunelerin yük-deplasman grafiklerinin karşılaştırılması. 48
- Şekil 3.33.** Su-çimento oranı 0,42LS (a) R1 ve (b) R2 numunelerin kırılma sonrasındaki deneysel ve simülasyon sonuçların karşılaştırılması. 48
- Şekil 3.34.** Su-çimento oranı 0,42LS olan karışımın (c) R3, (d) R4, (e) R5, (f) R6 ve (g) R7 nolu numunelerin kırılma sonrasındaki deneysel ve sayısal sonuçların karşılaştırılması. 49
- Şekil 3.35.** Su-çimento oranı 0,42LS numunelerde karakteristik boyuta bağlı deneysel ve nümerik sonuçlarda boyut etkisi eğrilerin karşılaştırılması 50
- Şekil 3.36.** su-çimento oranı 0,42 lifsiz deney numuneler için M7 modelini kullanarak, (a) R1 ve (b) R2 numunelerin yük-deplasman grafiklerinin karşılaştırılması. 52
- Şekil 3. 37.** su-çimento oranı 0,42 lifsiz deney numuneler için M7 modelini kullanarak, (c) R3, (d) R4, (e) R5, (f) R6 ve (g) R7 numunelerin yük-deplasman grafiklerinin karşılaştırılması. 53
- Şekil 3.38.** Su-çimento oranı 0,62LS numunelerde karakteristik boyuta bağlı deneysel ve nümerik sonuçlarda boyut etkisi eğrilerin karşılaştırılması 54
- Şekil 3.39.** Su-çimento oranı 0,42LL numunelerde karakteristik boyuta bağlı deneysel ve analitik göçme gerilmelerin karşılaştırılması 57
- Şekil 3.40.** su-çimento oranı 0,42LL, R1 numunenin deplasman (U) ve gerilmenin (S) Simülasyon sonuçları 57
- Şekil 3.41.** Su-çimento oranı 0,42LL (a) R1, (b) R2, (c) R3, (d) R4, (e) R5, (f) R6 ve (g) R7 numunelerin kırılma sonrasındaki deneysel ve simülasyon sonuçların karşılaştırılması. 58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Su-çimento oranı 0,42LS karışımın miktarları	8
Çizelge 3.2. Su-çimento oranı 0,62LS karışım miktarları	8
Çizelge 3.3. Su-çimento oranı 0,62LS karışım miktarları	8
Çizelge 3.4. ÜP Numunelerin adet ve boyutları	10
Çizelge 3.5. ÜP Numunelerin mesnetlenme ve yükleme detayları	14
Çizelge 3.6. Üçgen plakaların su-çimento oranına göre göçme yükleri	15
Çizelge 3.7. Su-çimento oranı 0,42 LS numunelerin ortalama göçme yükleri ve gerilmeleri	20
Çizelge 3.8. 0,62 LS Su çimento oranına sahip numunelerin ortalama göçme yükleri ve gerilmeleri	21
Çizelge 3.9. 0,42LL Su çimento oranına sahip numunelerin ortalama göçme yükleri ve gerilmeleri	22
Çizelge 3.10. Su-çimento oranı 0,42LS Plakalarda lineer regresyonlardan elde edilen katsayılar	26
Çizelge 3.11. Su-çimento oranı 0,62LS Plakalarda lineer regresyonlardan elde edilen katsayılar	28
Çizelge 3.12. Su-çimento oranı 042LL plakalarda lineer regresyonlardan elde edilen katsayılar	29
Çizelge 3.13. İki eksenli eğilme deneyi için büyük diskin için mesnetleme ve yükleme detayları	35
Çizelge 3.14. Üç adet benzer büyüklükteki disk modelinden Büyük Diskin sonlu elemanlar detayları.	36
Çizelge 3.15. Diskler için Mikrodüzlem M7 Modelinin Elastik Malzeme Sabitleri ve Parametreleri (Abaqus 2017)	37
Çizelge 3.16. Büyük boyutlu üçgen plaka diskinin yükleme ve mesnetlenme detayları	39
Çizelge 3.17. Büyük boyutlu ÜP'nın sonlu eleman modelinin detayları	40
Çizelge 3.18. Üç benzer boyutta sonlu eleman diskler ve üçgenlerin modellerinin detayları	42
Çizelge 3.19. Disklerdeki ve üçgenlerdeki simülasyonun sonuçları	44
Çizelge 3.20. 0,42 su-çimento oranına sahip numune modelleri için Mikrodüzlem M7 modelinin elastik malzeme sabitleri ve parametreleri	46
Çizelge 3.21. Çeşitli Boyutlarda 042LS Sonlu Elemanlar Modellerinin Detayları	48
Çizelge 3.22. Su-çimento oranı 0,42 LS deneysel ve nümerik sonuçların ortalama yük ve gerilmelerin karşılaştırılması	51
Çizelge 3.23. 0,62 su-çimento oranına sahip numune modelleri için Mikrodüzlem M7 Modelinin Elastik Malzeme Sabitleri ve Parametreleri	52
Çizelge 3.24. Su-çimento oranı 0,62LS numunelerde deneysel ve nümerik sonuçların ortalama yük ve gerilmelerin karşılaştırılması	54
Çizelge 3.25. Su-çimento oranı 042LL numuneler için M7 modelin elastik parametreleri	56
Çizelge 3.26. Su-çimento oranı 0,42LL numunelerde deneysel ve nümerik sonuçların ortalama yük ve gerilmelerin karşılaştırılması	56

1. GİRİŞ

Şüphesiz beton, 20. yüzyılın sonlarında en önemli ve en yaygın kullanılan yapı malzemesidir. Genellikle yapıdaki basınç dayanımı için kullanılan betonun çekme dayanımı, basınç dayanımının yaklaşık% 8 ila 12'si olduğu için beton yapıların tasarım ve analizlerinde genellikle ihmal edilir (Chen ve ark. 2013, 2014). Bununla birlikte, pratikte çoğu durumlarda, beton elemanlar, betonun basınç ve çekme dayanımlarının kritik olduğu çok yönlü karmaşık gerilme durumlarına maruz kalmaktadır. Bu durumlarda betonun çekme dayanımı yapı elemanlarının tasarım ve analizlerinde ihmal edilmesi önemli problemlere neden olmaktadır(Lemnitzer ve ark. 2008).

Özellikle, yol kaplamaları, uçak pistleri, barajlar ve nükleer muhafazalar gibi birçok yapılarda, iki eksenli gerilmeye maruz kalan beton elemanların elastik ve elastik olmayan deformasyon davranışları üzerinde betonun çekme dayanımının önemli etkisi vardır. Dolayısıyla betonun çekme dayanımına etki eden parametrelerin belirlenmesi bu yapıların güvenilir tasarımları için son derece önem arz etmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar yapı boyutunun malzeme dayanım değerleri üzerinde etkileri olduğunu göstermiştir. Betonun çekme dayanımı üzerindeki boyut etkileri Bazant tarafından ayrıntılı olarak açıklanmıştır(Tang ve ark. 1991, 1992). Bu alanda oldukça kapsamlı deneysel ve sayısal çalışmalar yapılmıştır (Zheng ve ark. 2001, Dabbagh ve ark. 2017).

Deneysel test yöntemlerinin çoğu genellikle dolaylı ve dolaysız yöntemler gibi iki kategoriye ayrılır. Betonun çekme dayanımını belirlemek için dolaysız çekme testi yöntemi, numune tutulması ve hizalanması ile ilgili zorluklar içermesi nedeniyle lıfsız beton için nadiren kullanılırken basit prosedürler ve numune hazırlama kolaylığı nedeniyle genellikle silindir yarma (veya Brezilya) testi ve üç veya dört nokta eğilme testleri gibi dolaylı test yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Carmona 2009). Ancak betonun çift eksenli çekme dayanımını belirlemek için farklı test yöntemleri kullanılması gerekmektedir.

Şimdiye kadar, çift eksenli çekme dayanımı ve bu dayanım üzerindeki boyut etkilerini belirlemek için birkaç deneysel yöntem önerilmiştir. Çift Eksenli Eğilme Testi (BFT), betonun çift eksenli gerilme mukavemetini ölçmek için geliştirilen deneylerden biridir (Kupfer ve ark. 1969). Muzyka (2002) ve Zi ve ark. (2008) betonların çift eksenli

dayanımını ölçmek için basit bir test yöntemi önermişlerdir. Bu test yönteminde çevresi boyunca dairesel bir halka üzerinde desteklenen ve merkeze küçük dairesel bir halka ile yüklenmiş disk örnekleri kullanmışlardır. Bu test metodolojisi bir kirişin dört noktalı eğilme testine benzerdir. Bu yeni yöntemle ölçülen çekme dayanımı, klasik eksenel çekme testinden elde edilen çekme dayanımından% 19 daha büyük olarak bulunmuştur (Kim ve ark. 2011). Betonun çift eksenli çekme dayanımı üzerindeki boyut etkisini, çift eksenli eğilme testinin sonuçları ile tek eksenli eğilme dayanımı deney sonuçlarını karşılaştırarak, araştırmıştır. Çalışmalarında, numunelerin boyutunun çekme dayanımı üzerindeki etkisini araştırmak için üç farklı boyut göz önünde bulundurulmuştur. İki eksenli testin stokastik sapmasının eğilme testinden daha büyük olduğu gösterilmiştir.

Daha önceki çalışmalardan görüldüğü gibi, BFT tarafından ölçülen çekme dayanımı çeşitli faktörlerden etkilenmiştir. Bu nedenle, Türker (2015) çimento esaslı malzemelerin çift eksenli eğilme çekme dayanımını belirlemek için yeni bir test yöntemi önermiştir. Bu test yönteminde uç küçük küresel çelik bilye üzerinde desteklenen ve numunenin ağırlık merkezinde küçük küresel çelik bilye ile yüklenen üçgen bir plaka kullanmayı önermiştir. Kinematik bir plastik analiz metodu olan Akma Çizgileri Teorisi (AKCT), çimento esaslı malzemelerin çift eksenli eğilme çekme dayanımını basit bir denklem ile bulmak için kullanıldı. Elde edilen denklemi doğrulamak için, çok sayıda üçgen ve üç noktalı eğilme harcı numuneleri üretilerek ve çimento esaslı malzemelerin çekme dayanımını bulmak için test edildi. Bu çalışmalarda uç noktalı eğilme ve Sonlu Elemanlar Analizlerinden (SEA) elde edilen sonuçlara dayanarak, önerilen yöntemin ve çimento esaslı malzemelerin çift eksenli çekme dayanımı için türetilmiş kapalı form denkleminin sağlam ve güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Test düzeneği ve destekleri, test plakaları ile numune arasında var olan sürtünme nedeniyle bu tür testler için çok önemlidir. Bunlar yaklaşık yöntemlerle daha doğru bir şekilde bulunması zordur. Bu nedenle, Sonlu Elemanlar (SE) metodu, numunedeki gerilme durumunun yanı sıra numune ve test numuneleri arasındaki etkileşimin anlaşılması için kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, iki boyutlu yükleme koşulları altında betonun kırılma davranışı, özellikle boyut etkisini de dikkatte alarak sayısal olarak belirlemek üzere sonlu

elemanlar modeli oluşturularak analizler yapıldı. Bu amaç doğrultusunda geometrik olarak benzer üçgen plaka numunelerinin SE modelleri oluşturuldu. SE bünyesinde deney numunelerini göçme yüklerini bulmak için mikrodüzlem modeli M7 kullanıldı. Sayısal analizlerle: Hem lifsiz beton hem de lifli beton durumları olarak göz önüne alınarak betonun iki eksenli çekme dayanımı üzerindeki boyut etkisini belirlenmesi, güvenilir deney verileri üretebilen, betonun iki eksenli deneyi için uygun bir deneylerin tasarlamaması, çift eksenli yükleme koşullarında betonun çekme dayanımı ve kırılma şekillerinin belirlenmesi, mesnetleme koşulunun beton numunelerinin kırılma şekilleri üzerindeki etkisinin belirlenmesi hedeflendi.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Betonun çift eksenli çekme dayanımını ölçmek için yakın zamanda geliştirilen Çift Eksenli Eğilme (ÇEE) testi gibi çift eksenli çekme dayanımı üzerindeki boyut etkilerini belirlemek için birkaç deneysel yöntem önerilmiştir (Kupfer ve ark. 1969; Muzyka 2002). Zi ve arkadaşları, betonların çift eksenli dayanımını ölçmek için basit bir test yöntemi önermişlerdir. Zi ve arkadaşları çevresi boyunca alttan dairesel bir halka üzerinde mesnetlenmiş ve diskin üst yüzey merkezinden küçük dairesel bir halka ile yüklenmiş disk numuneleri kullanmışlardır. Bu test metodolojisi bir kirişin dört noktalı eğilme testine benzerdir. Bu yeni yöntemle ölçülen çift eksenli çekme dayanımı, klasik kırılma test modülünden elde edilen tek eksenli çekme dayanımından %19 dan daha büyük çıkmıştır (Zi ve ark. 2008). Kim ve arkadaşları, betonun çift eksenli dayanımı üzerindeki boyut etkisini, numunelerin boyutuna göre, betonun çift eksenli eğilme çekme dayanımını ve betonun tek eksenli eğilme dayanımını deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırarak incelemişlerdir. Numunelerin boyut etkileri araştırılmak üzere üç farklı boyutta düşünülmüştür. Çift eksenli deneyin stokastik sapmasının, kırılma deneyi modülünden daha büyük olduğu gösterilmiştir (Kim ve ark. 2011).

Zi ve arkadaşları tarafından üç farklı boyutta donatısız dairesel plakalar kullanılarak yapılan deneylerde çift eksenli çekme dayanımı üzerindeki boyut etkisinin, tek eksenli çekme dayanımı üzerindeki boyut etkisinden daha güçlü olduğunu bildirmişlerdir (Zi ve ark. 2014). Boyut etkisinin tipi, deterministik Tip I boyut etkisi yasasına uyduğu gösterilmiştir. Ayrıca, deney sonuçları ile yükleme ve elastik gerilme durumunun eksenel simetrik olmasına rağmen, ÇEE testlerinde kullanılan çeşitli boyutlardaki numunelerde

oluşan kırılma şekillerinin, Kim ve arkadaşları tarafından elde edilen kırılma şekilleri gibi simetrik olmadığı gösterilmiştir (Kim ve ark. 2012, Zi ve ark. 2014). Kirane ve arkadaşları, boyut etkisi tipini belirlemek ve çift eksenli yüklü beton elemanların kırılma davranışları hakkında daha detaylı bilgi almak için üç boyutlu stokastik SEA gerçekleştirmişler (Kirane ve ark. 2014, Kirane ve Bažant 2015). Bu çalışmada mikrodüzlem modeli M7 SE bünyesinde, 30, 48 ve 75 mm kalınlıklarındaki üç farklı boyutta simetrik diskler ve dört noktalı eğilme kirişleri deneylerinden ölçülmüş olan yük-birim şekil değiştirme eğrilerini ve kırılma şekillerini doğrulamak için kullanılmıştır. Yapılan sayısal analizlerde mesnetlerin kalkma ve kayma şeklinde deforme olmaları, özellikle numunedeki çatlak dağılımı ve betonun çekme dayanımı üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir.

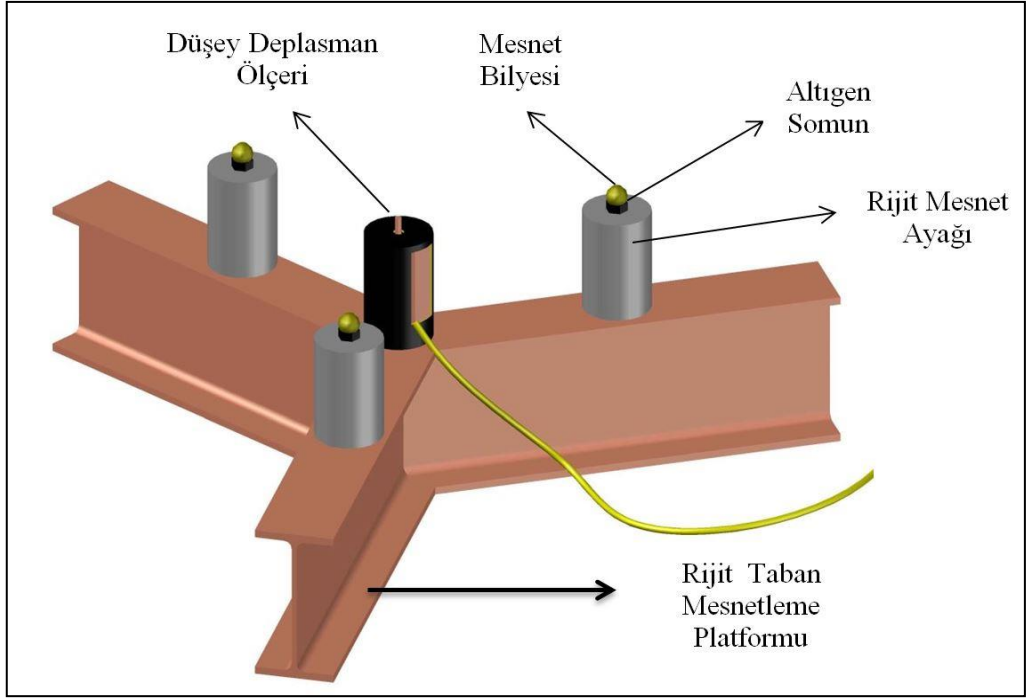
Türker (2015) çimento esaslı malzemelerin çift eksenli eğilme çekme dayanımını belirlemek için yeni bir test yöntemi önermiştir. Bu test yönteminde uç küçük küresel çelik bilye üzerinde desteklenen ve numunenin ağırlık merkezinde küçük küresel çelik bilye ile yüklenen üçgen bir plaka kullanmayı önermiştir. Kinematik bir plastik analiz yöntemi olan Akma Çizgileri Teorisi (AKT), Çimento esaslı malzemelerin çift eksenli eğilme çekme dayanımı için basit bir denklem türetmek için kullanılmıştır. Elde edilen denklemi teyit etmek amacıyla ve çimento esaslı malzemelerin çekme dayanımını bulmak için çok sayıda üçgen ve üç noktalı eğilme harcı numunesi üretilip test edilmiştir. Elde edilen denklemi ve deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçları doğrulamak için bir takım Sonlu Elemanlar Analizleri (SEA) de kullanılmıştır. Üç noktalı eğilme ve SE analizlerinin sonuçlarına dayanarak, önerilen yöntemin ve çimento esaslı malzemelerin çift eksenli çekme dayanımı için türetilmiş kapalı form denkleminin daha doğru ve güvenilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bayqra (2018) tarafından numune boyutu ve şeklinin farklı dayanım sınıfına sahip çelik lif içeren ve içermeyen beton karışımlarının yarmada çekme ve basınç dayanımına etkisini incelemek için, 10 farklı su/çimento oranına sahip lif içeren ve içermeyen beton karışımları hazırlanarak deneysel bir çalışma yapılmıştır. Lifli karışımlarda, narinlik oranı 64 olan çelik lifler, karışımın hacimce %1'i kadar kullanılmıştır. Sonuç olarak, beton dayanımının artışı ile küp ve silindir numunelerin arasındaki dayanım oranı arttığını gözlemlemiştir. Numune şekli ve lif kullanımından bağımsız olarak numune boyutu

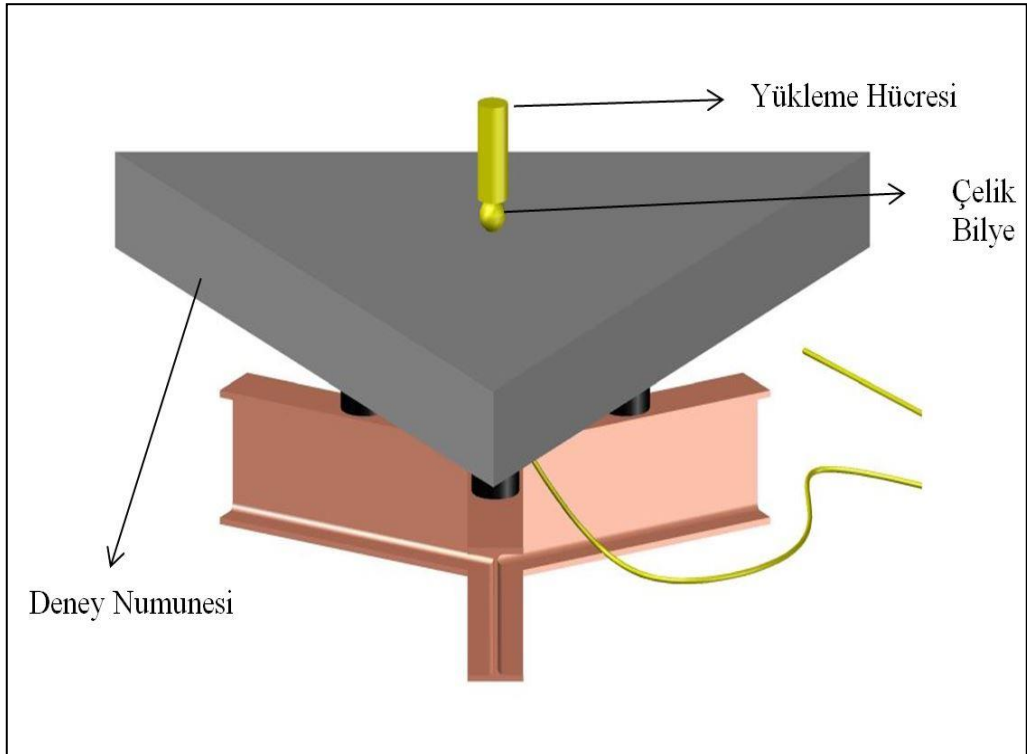
küçük seçildiğinde beton karışımların dayanım değerlerinde artış meydana geldiği gösterilmiştir. Ancak, su-çimento oranı yüksek ve lifli karışımlarda söz konusu davranışı gözlemlememiştir. Lif içeren küp numunelerde basınç dayanımının lif içermeyen küp numunelere göre numune boyutundan daha az etkilendiği gösterilmiştir.

Deneysel sonuçlar ayrıca, önerilen yöntemle ölçülen iki eksenli çekme dayanımının, üç noktalı eğilme deneyinden elde edilen eğilme dayanımından yaklaşık% 22 daha düşük olduğunu göstermiştir. Mirkheel (2018) tarafından Üçgen plaka testi ile ilgili daha detaylı deneysel çalışmalar, iki farklı su-çimento oranlı lifsiz beton, ve bir su-çimento oranlı lifli beton durumları dikkate alınarak malzemenin çekme dayanımı üzerindeki boyut etkisini araştırmak için yapılmıştır.

ÜP yönteminde, deney numunesinin düzeneğinin basit olması, numune hazırlanmasının kolaylığı, göreceli olarak numune yüzeyi pürüzsüz ve düzgünlüğü ve çekme dayanımının hesaplanması için türetilmiş denklemin basitliği Çift Eksenli (ÇE) çekme dayanımı için önerilen ÜPY'nin en önemli avantajlarıdır (Türker 2015). Türker'in önerdiği yöntemde, numuneler eşkenar üçgen plakalar şeklinde hazırlanmakta ve numunenin kenarlarında ortaya çıkan ezilme kırılmalarının önüne geçmek için mesnetler üçgen numunenin kenarortaylarının 3'te biri noktalarına yerleştirilerek ve yükleme üçgen numunenin üstten ağırlık merkezinden çelik bilye yardımıyla yapılmaktadır (Şekil 2.1-2.2) . Altında güçlü teori olan, pratikte birçok uygulama alanı olan özellikle sünek malzemelerde, plastik teoriye dayanarak akma çizgileri yönteminin beton gibi gevrek malzemelerde de uygulanabileceğini göstermek literatür ve bilime önemli katkı sağlayacaktır.



Şekil 2.1. ÜPY’de mesnetleme platformu



Şekil 2.2. ÜP numune yükleme gösterimi (Mirkheel 2018)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Boyut etkisi çalışmalarında, beton, harç ve gevrek malzemelerin ağırlıklı olarak çentikli numuneler ve tek eksenli numuneler üzerine yapılmıştır. Bu tez çalışmaları kapsamında çentiksiz olarak hazırlanan üçgen plakalar ele alınmaktadır. Plakalar hem laboratuvar ortamında hem de Bilgisayar ortamında deneyleri yapılarak ve ABAQUS CAE/Explicit ticari paket programı yardımıyla modellenip sayısal analizleri yapılarak boyut etkileri incelenmiştir. Deneysel olarak 3 farklı su-çimento oranına sahip 0,42 Lifli (0,42 LL) ve 0,42-0,62 Lifsiz (0,42LS-0,62LS) olarak her birinde üçer adet numune ve 7 farklı boyutta toplamda 63 adet üçgen plaka deney numuneleri üretilmekte ve simülasyon için Mikrodüzlem (Mikroplan) M7 malzeme modelini kullanarak eş kenar olarak üçgen plakalar şeklinde modellenip lif içeren ve içermeyen numuneler homojen olarak analizleri yapılmıştır.

3.1. Deney Malzeme ve Karışımları

Su-çimento oranları esas alarak lifli ve lifsiz olarak üç farklı harç karışımı hazırlanmıştır. Karışımlarda ince agrega (maksimum tane boyutu 5mm) kullandığımızdan deney numuneleri için harç karışım hesapları yapılarak normal dayanımlı karışımlar 0,42LS ve 0,62 LS ve yüksek dayanımlı bir karışım 0,42LL olarak hazırlanmıştır. Dayanımı yüksek olan lifli karışımda çelik lifler kullanılmıştır. Harç karışımları TS 802 standardına uygun olacak şekilde Tablo 3,1-3,3'te verilen karışım miktarları esas alınarak hazırlanmıştır. Ve elde edilen malzeme miktarlarını esas alarak yayılma deneyleri yapılmıştır. Karışımların yayılma miktarları 25 ± 2 cm tutulması için her karışımda süper akışkan katkı kullanılmıştır(Mirkheel 2018).

Yayılma deneylerinden lifli karışım için 1,48gr katkı kullanarak 25,5 cm yayılma, 0,42LS karışım için 1,50gr katkı kullandığımızda 24,35 cm yayılma ve 0,62LS karışımda katkı kullanmadan 26 cm yayılma miktarları elde edilmiştir. TS802 standardına uygun hesaplanan karışımları uygun kabul ederek deneylere geçilmiştir daha detaylı bilgi edinmek için Mirkheel 2018 çalışmalarına bakılabilir. Hesaplanan karışım miktarları Çizelge 3.1-3.3'te verilmektedir.

Çizelge 3.1. Su-çimento oranı 0,42LS karışımın miktarları

0,42 Lifsiz KARIŞIM			
Su-Çimento Oranı	MALZEME	Miktar (gr)	Miktar (Kg)
0,42	Su	210	0,21
	Çimento	500	0,5
	Agrega	1375	1,375
	Katkı Miktarı	1,480	0,00148
	Yayılma Miktarı (cm)	25,50	
Toplam =		2086,48	2,08648

Çizelge 3.2. Su-çimento oranı 0,62LS karışım miktarları

0,62 Lifsiz KARIŞIM			
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
	Yayılma Miktarı (cm)	26	
Toplam =		2085	2,085

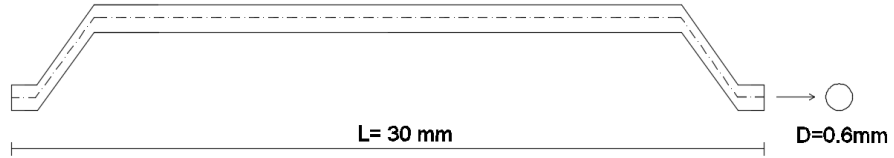
Çizelge 3.3. Su-çimento oranı 0,62LS karışım miktarları

0,42 Lifli KARIŞIM			
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
	<i>Lif</i>	68,78	0,06878
	Yayılma Miktarı (cm)	24,35	
Toplam =		2155,28	2,15528

Lifli numune karışım hazırlanmasında deney numunelerinde hacimce numunenin %1 olarak çelik lif kullanılmıştır. Yayılma deneyin yapılışı şekil 3.1’de ve kullanılan çelik lifin şeması şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Üç farklı karışım için yayılma deneyleri (Mirkheel 2018)



Şekil 3.2. Kullanılan çelik lif profili

3.2. Numunelerin Adet ve Boyutları

Üçgen plaka numunelerin adet ve boyutları ile ilgili detayları çizelge 3.4’te ve disk eleman numunelerin detayları çizelge 3.5’te verilmektedir. Üçgen plaka numuneler eşkenar üçgen şeklinde tasarlandığından bir kenar uzunluğu L , üçgen plakanın kalınlığı ise t ile gösterilmektedir.

Çizelge 3.4. ÜP Numunelerin adet ve boyutları

EŞKENAKR ÜÇGEN PLAKALARI			
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

3.3. Numunelerin İsimlendirilmesi

Deneysel çalışma ve analitik analizler için hazırlanan numune ve modelleri isimlendirirken; Üçgen Plaka ÜP, Lifsiz olarak hazırlanan numuneler LS ve Lifli numuneler LL olarak adlandırılmıştır. Laboratuvar ve bilgisayar ortamında numune isimleri kullanırken basitlik için Üçgen (Triangle) İngilizce baş harfleri T ve Numune Referans No'ları R ile gösterilmiştir. Örnek olarak aşağıda iki numunenin isimlendirmesinin okuma ve açıklaması gösterilmektedir.

Örnek.

1) T_042LS_R12

Bu isimlendirmenin açıklaması şu şekilde olmaktadır:

T harfi üçgen numune, 042 su-çimento oranı 0,42 olan, LS lifsiz ve R12 ise numunelerin 1 nolu olanı, daha sonra 2 ise ikincisi anlamına gelmektedir.

2) T_042LL_R23

Bu isimlendirmenin kısaca okunuşu şu şekildedir:

Üçgen plaka numunelerde su-çimento oranı 0,42 olan 2 Nolu numunenin üçüncü örneği.



Şekil 3.3. Deney numunelerin isimlendirilmesi(Mirkheel 2018)

3.4. Deney Düzenegi

Deneyisel çalışma aşamasında; harçları hazırlamak için gerekli tüm malzeme ve ekipmanlar temin edildi, ardından harç için gerekli olan su, çimento, agrega ve kimyasal katkı malzemeleri bulunduğumuz ölçülere göre tartarak hazırlandı. Karışım oranına göre akışkan malzemesi binde bir hassasiyetle olan tartı ile tartarak eklenmiştir. Malzemeleri uygun miktarlarında hazırlayıp mikserle dökerek slump değerine ulaşıncaya kadar karıştırıldı. Ardından önceden hazırlanan numune kalıplarını yağlayarak harçlar yerleştirildi. Ve bu şekilde kalıplar içinde numuneler 24 saat nemli ortamda bekletip daha sonra 20C° sıcaklığında beton numune kür havuzuna yerleştirildi. Bu şekilde numuneler 28 günlük prizini alması için kür havuzunda bekletildi. 28. gün numuneler sudan çıkartılıp plakalara üçgen plaka deney yöntemi uygulayarak veriler bilgisayara aktarılmıştır.

3.4.1. Çekme dayanımının deneysel yöntemle belirlenmesi

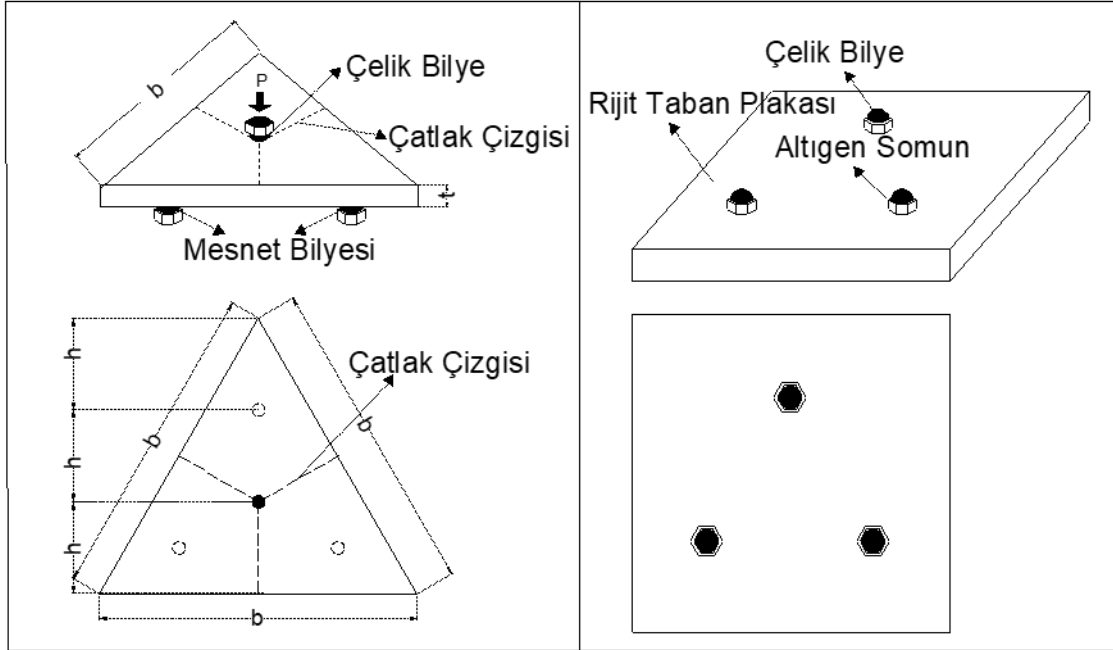
Betonun çekme dayanımını üçgen plaka deney yöntemiyle belirlemek için, Akma Çizgileri Yöntemi (AÇY) (Kennedy ve ark. Goodchild 2004) üçgen plakanın yükleme kapasitesine ulaştıktan sonra dikkate alınarak Türker (2015) tarafından kullanılmıştır. Çatlak oluşum durumu, levhanın hasar mekanizması olarak alınabilir. Türker, sünek olmayan kırılğan elementlerde kullanılan plastik teorisine dayanan bir yöntem olan

AÇY'ni kullanarak harçların gerilme dayanımını hesaplamak için basit bir formül çıkartmıştır. Geliştirilen çekme dayanımı formülüne dayanarak betonun çekme dayanımını belirlemek için, deney numunelerinin göçmesindeki tepe yükleri ölçülür ve yöntem için numune kalınlığı gerekir.

3.4.2. Boyut etkisi deney numuneleri ve üçgen plaka deneyi

Bu sayısal çalışmada yeni bir test yöntemi olan Üçgen Plaka Yöntemi (ÜPY), çimento esaslı malzemelerin iki eksenli eğilmesinin çekme dayanımını belirlemek için sonlu elemanlar çatısı altında sayısal modelleri oluşturulmuştur.

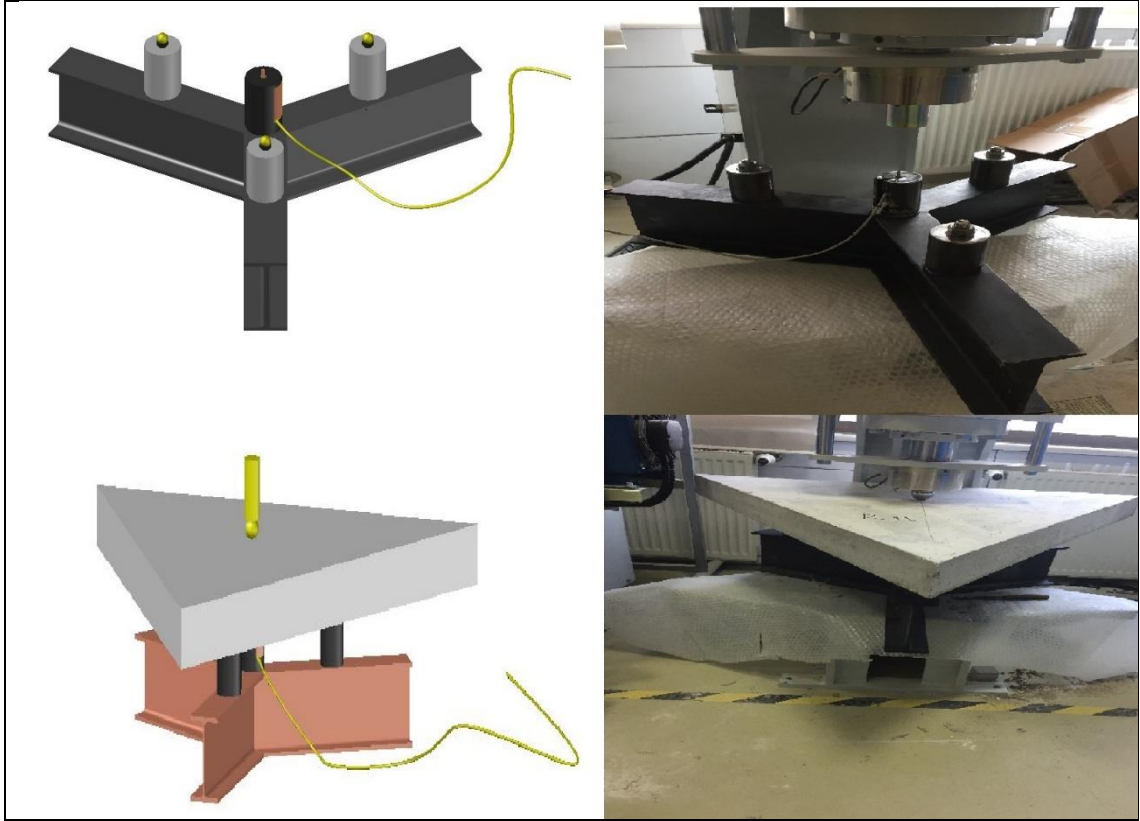
ÜPY'nin ana fikri ilk kez 2015 yılında Türker tarafından önerildi. Bu yeni test yönteminde numuneler, yükün numunenin ağırlık merkezine uygulandığı ve mesnetlerin üçgenin kenarortaylarının üçte biri noktalarına yerleştirildiği eşkenar üçgen plakalar şeklinde hazırlanır (Türker 2015) (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Üçgen plaka ve yükleme şeması (Türker 2015)

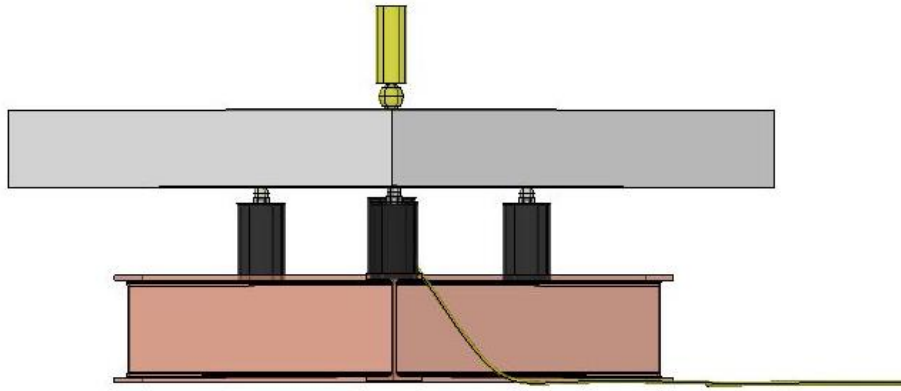
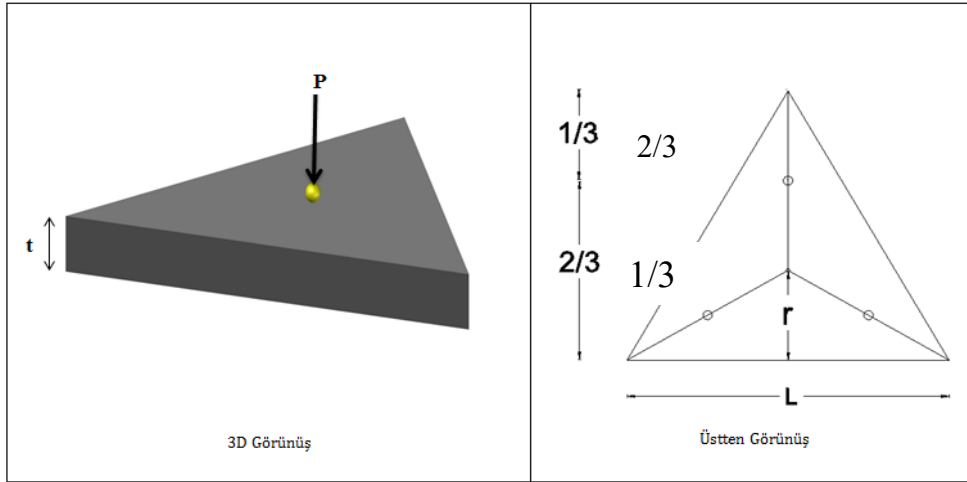
Plakalarda mesnet yerlerini üçgenin kenarortaylarının üçte biri noktalarına yerleştirmekle, mesnetler numunenin kenarlarından uzak tutulur ve kenarlarda kırılma çatlaklarının oluşması önlenir Plakalardaki deplasmanı ölçmek için, Numunenin alt

yüzeyindeki üçgenlerin kenarortaylarının kesiştiği noktaya binde bir hassasiyetinde LVDT yerleştirildi. Yükleme, üçgen numunenin üst yüzeyinde kenarortaylarının kesiştiği noktada, çelik bilyeler vasıtasıyla gerçekleştirildi. Mesnetleme ve yükleme bilyeleri altıgen somun kullanılarak sabitlendi ve böylece serbest mesnetler oluşturuldu (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Üçgen plaka yükleme ve mesnetlenme platformu

Üçgen plaka numunelerinin çekme dayanımı üzerindeki boyut etkisini incelemek için, plakaların kalınlığı t karakteristik boyut olarak kabul edilmiştir ve sabit, t / r oranına sahip 5 farklı numune R1, R2, R3, R6 ve R7 ve t/r oranı değişken iki çeşit numune R4 ve R5 olarak hazırlanmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Üçgen plaka numunelerin numune ve yükleme şeması

Üçgen plakaların geometrik boyutlarının değerleri hakkındaki detaylar Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. ÜP Numunelerin mesnetlenme ve yükleme detayları

Numune	Numara	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

R4 ve R5 nolu numunelerde, deney numunesinin kırılma tepkisi üzerindeki etkilerini araştırmak için sabit t/r oranı kullanmak yerine değişken t / r oranları olarak değiştirildi.

3.5. Deneysel Sonuçlar

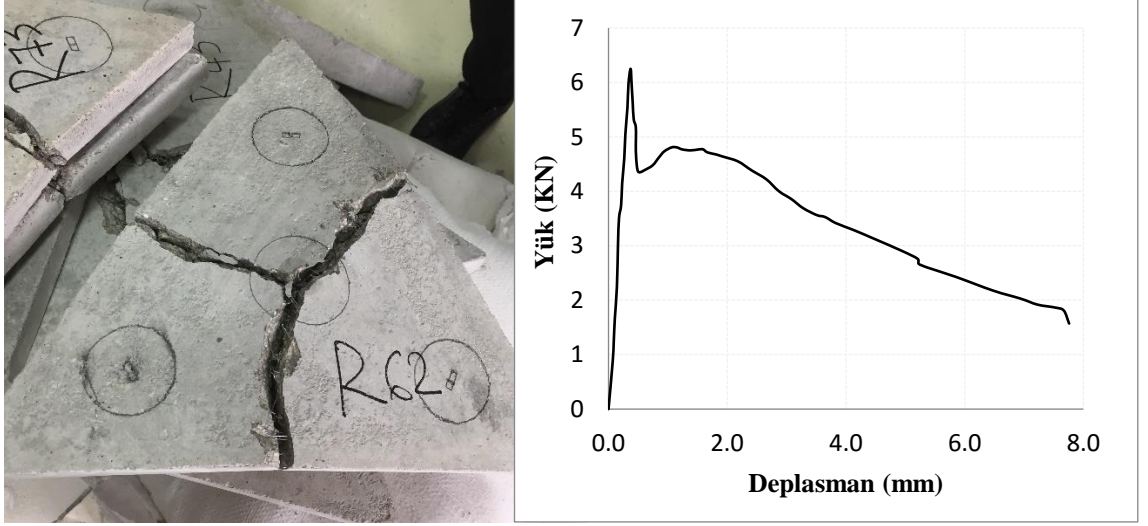
Normal beton olarak iki farklı su çimento oranına sahip ve çelik lif takviyeli beton olarak bir su çimento oranına sahip 7 farklı boyutta ve her birinden üçer adet üçgen plaka numune olarak hazırlanan deney sonuçlarından göçme yükleri Çizelge 3.6'de verilmektedir.

Çizelge 3.6. Üçgen plakaların su-çimento oranına göre göçme yükleri

Numuneler		Boyutlar		Farklı su-çimento oranları için göçme yükleri		
				0.42 LS	0.62 LS	0.42 LL
		L (mm)	t (mm)	Pu (KN)	Pu (KN)	Pu (K)
R1	R11	1050	75	16,99	15,65	30,71
	R12	1050	75	18,75	15,84	33,88
	R13	1050	75	19,56	16,27	35,29
R2	R21	875	62,5	12,11	11,40	23,48
	R22	875	62,5	10,95	12,51	24,16
	R23	875	62,5	10,93	11,67	23,27
R3	R31	700	50	9,29	8,89	14,04
	R32	700	50	8,36	8,93	13,28
	R33	700	50	9,56	8,66	16,60
R4	R41	700	30	4,56		6,44
	R42	700	30	3,85	3,02	3,98
	R43	700	30	4,26	2,94	6,44
R5	R51	420	50	10,86	8,52	14,97
	R52	420	50	12,12	7,59	17,47
	R53	420	50	11,99	7,60	14,69
R6	R61	420	30	3,46	3,73	5,69
	R62	420	30	3,80	3,70	6,26
	R63	420	30	3,69	3,59	6,46
R7	R71	350	25	3,37	2,53	4,41
	R72	350	25	3,17	3,11	3,91
	R73	350	25	3,05	2,91	5,51

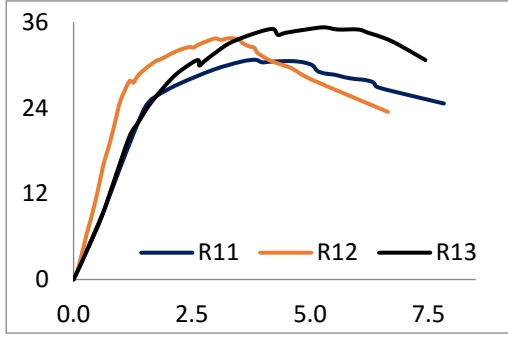
Yukarıdaki tabloda, normal beton(lifsiz beton) numuneler için 0,42LS ve 0,62LS, su çimento oranlarına, ve lif takviyeli beton numuneler için 0,42LL su çimento oranına sahip numuneler kullanılarak göçmedeki tepe yükleri elde edilip verilmektedir.

Deney sonuçlarından numune olarak bir adet lif içeren elemanın kırılmış hali ve yük-deplasman eğrisi Şekil 3.7’de verildi. Numunelerde kırılmalar beklendiği gibi akma çizgileri doğrultusunda gerçekleşmiştir. Diğer tüm numunelerde buna benzer çatlaklar ve kırılmalar meydana gelmiştir.

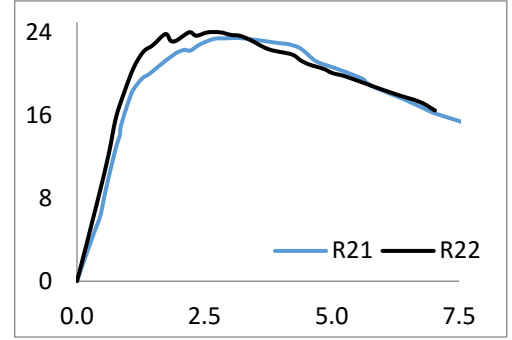


Şekil 3.7. Lif içeren bir ÜP numunesinin kırılmış hali

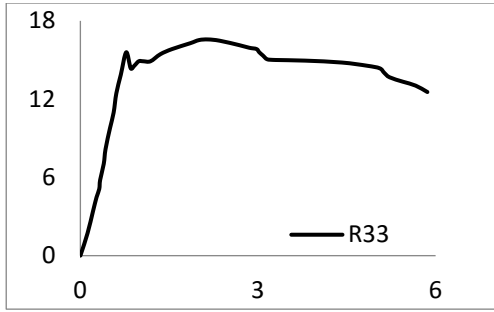
Su-çimento oranı 0,42 ve 0,62 Lif içermeyen numunelerin grafiklerini nümerik çalışmalarla birlikte detaylı olarak verilecektir. Lifli betonlarda daha net boyut etkisi görüldüğü için, burada sadece su-çimento oranı 0,42 lifli karışımın yük-deplasman grafikleri Şekil 3.8’de verildi.



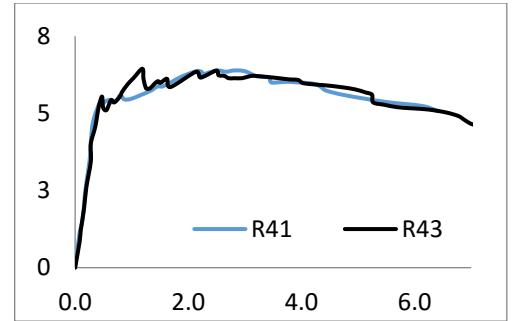
(a)



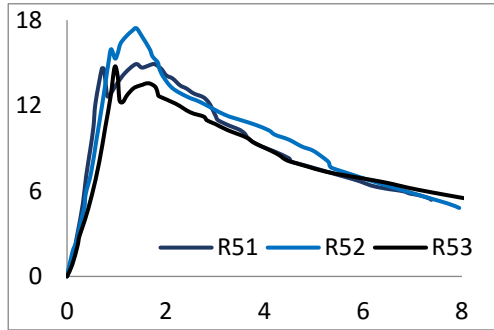
(b)



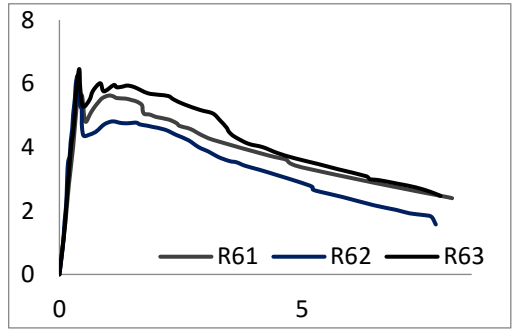
(c)



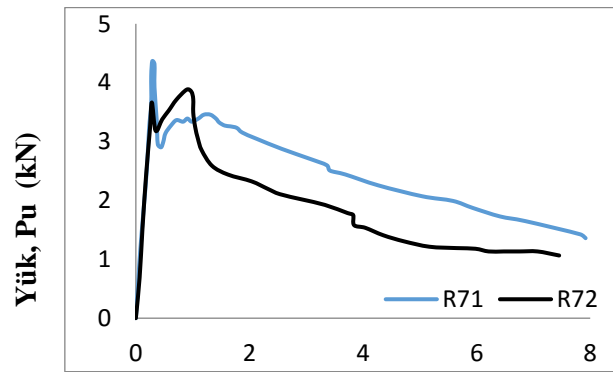
(d)



(e)



(f)

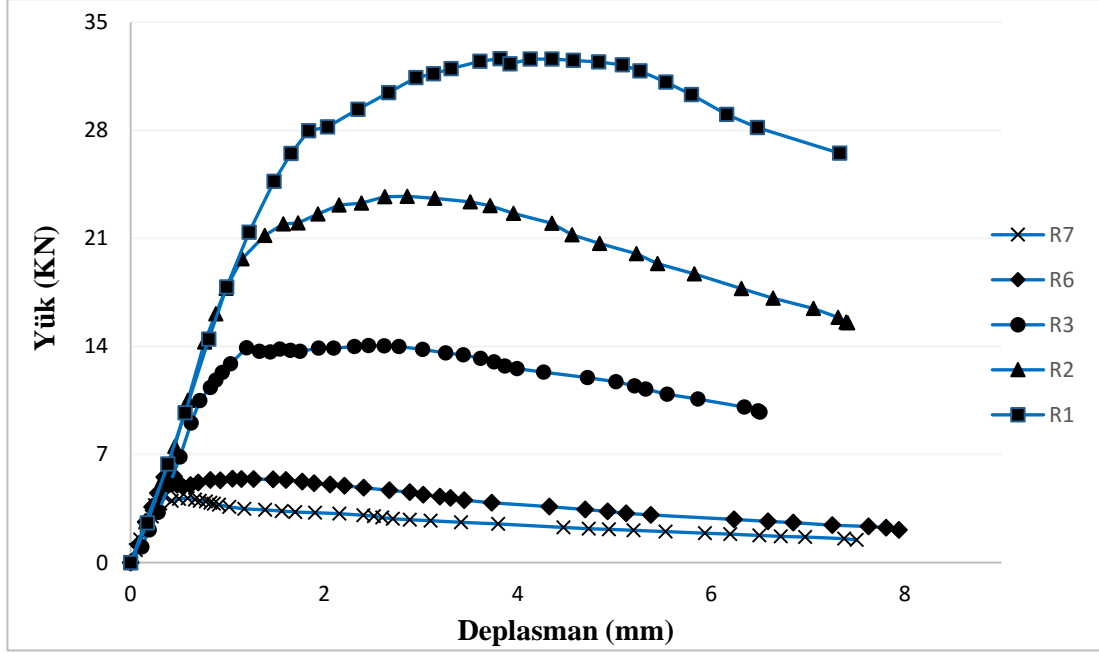


(g)

Deplasman (mm)

Şekil 3.8. 042 Su-çimento oranına sahip, a) R1, b) R2, c) R3, d) R4, e) R5, f) R6 ve g) R7 nolu lifli üçgen plakaların yük-deplasman grafikleri

Yapılan deneylerde lif içeren numunelerin için elde edilen yük deplasman eğrileri aşağıda gösterilmektedir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. R1, R2, R3, R6 ve R7 nolu numunelerin yük-deplasman grafiklerinin karşılaştırılması

Şekil 3.9'da görüldüğü üzere küçük numunelerin (R6, R7) yük- deplasman eğrileri kapasitelerine ulaşıncaya kadar doğrusal bir davranış göstermekte, kapasitelerine ulaştıktan sonra yükte ani düşüş olmaktadır. Büyük numunelerin yük- deplasman eğrileri numuneler kapasite değerlerine ulaşmadan önce doğrusallığını kaybederek kapasite yük değerlerine ulaşmakta sonrasında ani yük kaybı olmaksızın yükleri azalmaktadır. Küçük numunelerde çelik liflerin boyu numune boyutuna göre nispeten büyük olduğundan numuneler kapasitelerine ulaşıncaya kadar çelik liflerde aderans kaybı (sıyrılma) oluşmamıştır. Nispeten büyük numunelerde numuneler kapasitelerine ulaşmadan önce liflerde aderans kayıpları oluşup küçük sıyrılmalar neticesinde çok sayıda küçük çatlaklar oluşmaktadır. Çatlakların oluşmasıyla diğer lifler aktif hale gelip yük olmaktadır.

Burada t/r oranı sabit olan R1, R2, R3, R6 ve R7 Nolu numunelerin boyut etkisi karşılaştırılmasında dikkat'a alınmaktadır. t/r oranı sabit olmayan R4 ve R5 numuneler dikkat'a alınmamaktadır.

3.5.1. Boyut etkisinin analitik analizi

Betonun çekme dayanımını üçgen deney yöntemiyle belirlemek için, (AÇY) (Kennedy ve ark. 2004) üçgen plakanın yüklenme kapasitesine ulaştığını düşünerek Türker (2015) tarafından kullanılmıştır. Çatlak oluşum durumu, plakanın hasar mekanizması olarak alınabilir. Türker, sünek olmayan kırılğan elemanlarda kullanılan plastik teoriye dayanan bir yöntem olan AÇY 'ini kullanarak harçların gerilme dayanımını hesaplamak için basit bir formül türetmiştir denklem (3.1).

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

Denklem 3.1'de, σ_N hesaplanan gerilme dayanımı, t ÜP'nin kalınlığı ve P_u , göçme anındaki plakanın maksimum yüküdür. Üçgen plakaların boyut etkisi analizi için Bazant tarafından verilen Tip I boyut etkisi ilişkisi kullanılmıştır. Tip I boyut etkisi ilişkisi, çentiksiz elemanlara veya önceden mevcut çatlağı olmayan elemanlara uygulanır, burada maksimum yük, kırılma bölgesi tamamen açıldığında dikkat'a alınıp ve denklem 3.2'de verilen denklem yardımıyla boyut etkisi analizlerine gidilebilir(Korol ve Tejhman 2012).

$$\sigma_N = f_{r^\infty} \left[1 + \frac{rD_b}{D} \right]^{\frac{1}{r}} \quad (3.2)$$

Denklem 3.2'de, σ_N hesaplanan nominal gerilme, D karakteristik yapı büyüklüğüdür, burada karakteristik boyut olarak seçilen üçgen plaka deney elemanlarının kalınlığı (t = D) olarak kabul edilmektedir. f_{r^∞} , D_b ve r deneylerden bilinmeyen ampirik sabitlerdir ve pozitif sayılar olarak lineer regresyon sonucu bulunan malzeme sonuçlarıdır. f_{r^∞} büyük yapı için nominal dayanım olarak ulaşılan elastik çözelti kırılma dayanımını göstermektedir. r eğrinin eğimini ve şeklini kontrol eder, Beton için r = 1 veya 2 değerleri kullanılmaktadır. D_b çatlak tabakanın kalınlığı anlamındaki deterministik karakteristik uzunluktur.

Göçme anında ölçülen pik yük ve numunelerin karakteristik boyutunu kullanarak denklem (3.1) yardımıyla hesaplanan lif içeren ve içermeyen betonun çekme dayanımı hesaplanmıştır, elde edilen sonuçlar Çizelge 3.7-3.9'da verilmektedir. Çizelge 3.7 ve

3.8’de verilen deneysel sonuçlar 0,42 ve 0,62 su-çimento oranlarına sahip lifsiz beton numunelerin ve Çizelge 3.9’de verilen sonuçlar 0,42 su-çimento oranlarına sahip lifli beton numunelerin sonuçlarıdır.

Çizelge 3.7. Su-çimento oranı 0,42 LS numunelerin ortalama göçme yükleri ve gerilmeleri

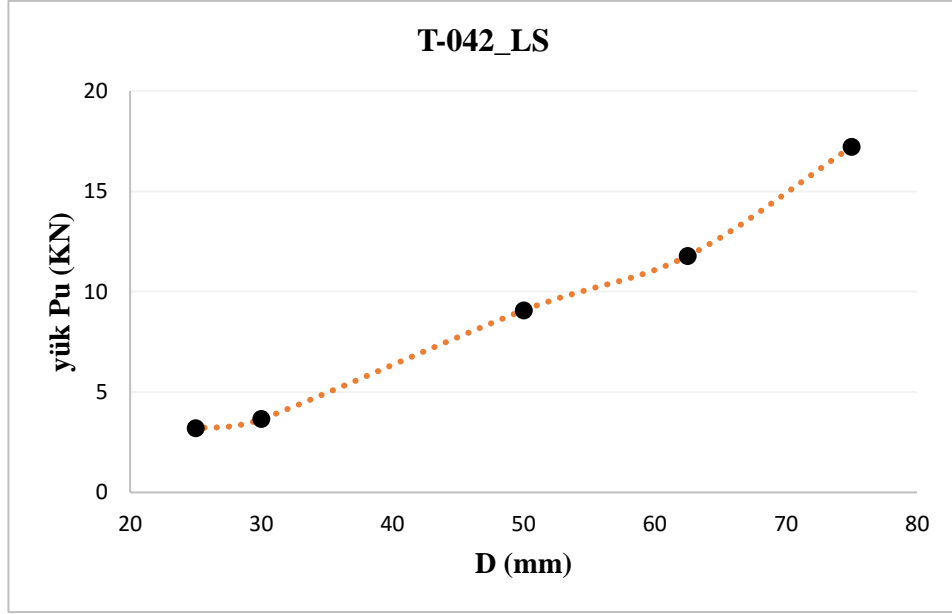
Numuneler		Boyutlar		Pu (KN)	Ortalama Pu(KN)	Gerilme (MPa)	Ortalama Gerilme (MPa)
		L (mm)	t (mm)				
R1	R11	1050	75	16,99	18,431	3,49	3,78
	R12	1050	75	18,75		3,85	
	R13	1050	75	19,56		4,02	
R2	R21	875	62,5	12,11	11,331	3,58	3,35
	R22	875	62,5	10,95		3,24	
	R23	875	62,5	10,93		3,23	
R3	R31	700	50	9,29	9,071	4,29	4,19
	R32	700	50	8,36		3,86	
	R33	700	50	9,56		4,42	
R4	R41	700	30	4,56	4,22	5,85	5,42
	R42	700	30	3,85		4,94	
	R43	700	30	4,26		5,47	
R5	R51	420	50	10,86	11,66	5,02	5,14
	R52	420	50	12,12		5,60	
	R53	420	50	11,99		5,54	
R6	R61	420	31,10	3,46	3,650	4,44	4,68
	R62	420	30,25	3,80		4,87	
	R63	420	30,31	3,69		4,74	
R7	R71	350	25,22	3,37	3,199	6,24	5,91
	R72	350	25,11	3,17		5,86	
	R73	350	25,44	3,05		5,64	

Çizelge 3.8. 0,62 LS Su çimento oranına sahip numunelerin ortalama göçme yükleri ve gerilmeleri

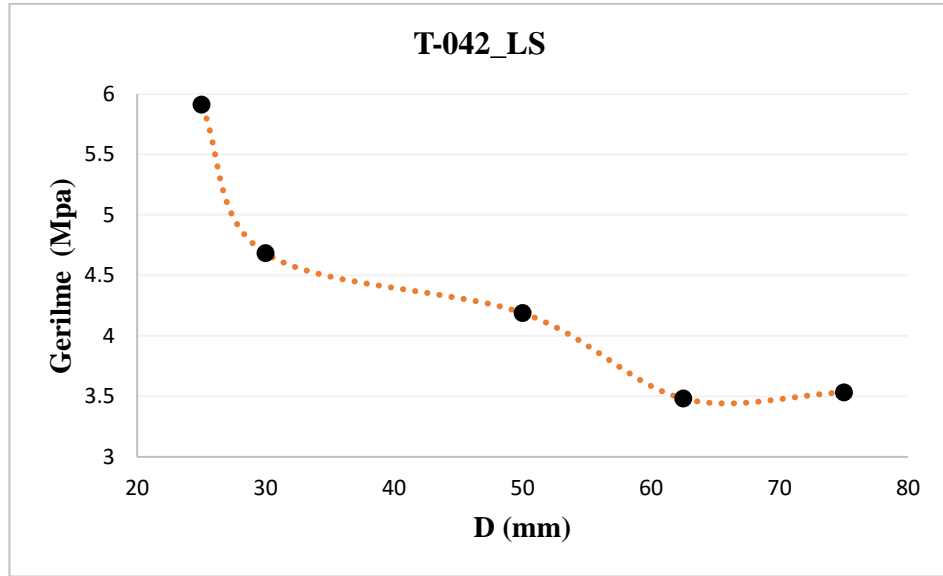
Numuneler		Boyutlar		Pu (KN)	Ortalama Pu (KN)	Gerilme (MPa)	Ortalama Gerilme (MPa)
		L (mm)	t (mm)				
R1	R11	1050	75	15,65	15,92	3,21	3,27
	R12	1050	75	15,84		3,25	
	R13	1050	75	16,27		3,34	
R2	R21	8750	62,5	11,40	11,86	3,37	3,51
	R22	8750	62,5	12,51		3,70	
	R23	8750	62,5	11,67		3,45	
R3	R31	700	50	8,89	8,83	4,10	4,08
	R32	700	50	8,93		4,12	
	R33	700	50	8,66		4,00	
R4	R41	700	30		2,980		3,82
	R42	700	30	3,02		3,87	
	R43	700	30	2,94		3,77	
R5	R51	420	50	8,52	7,904	3,94	3,65
	R52	420	50	7,59		3,51	
	R53	420	50	7,60		3,51	
R6	R61	420	30	3,73	3,67	4,78	4,71
	R62	420	30	3,70		4,75	
	R63	420	30	3,59		4,61	
R7	R71	350	25	2,53	2,85	4,68	5,27
	R72	350	25	3,11		5,76	
	R73	350	25	2,91		5,37	

Çizelge 3.9. 0,42LL Su çimento oranına sahip numunelerin ortalama göçme yükleri ve gerilmeleri

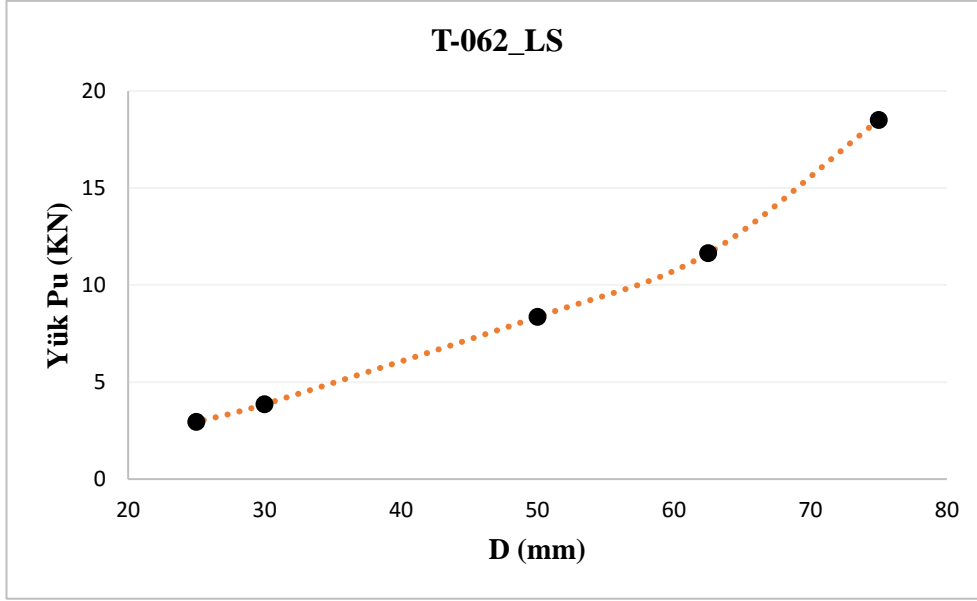
Numuneler		Boyutlar		Pu (KN)	Ortalama Pu (KN)	Gerilme (MPa)	Ortalama Gerilme (MPa)
		L (mm)	t (mm)				
R1	R11	1050	75	30,71	33,36	6,30	6,83
	R12	1050	75	33,88		6,95	
	R13	1050	75	35,29		7,24	
R2	R21	8750	62,5	23,48	23,46	6,94	6,99
	R22	8750	62,5	24,16		7,14	
	R23	8750	62,5	23,27		6,88	
R3	R31	700	50	14,04	14,64	6,48	6,76
	R32	700	50	13,28		6,13	
	R33	700	50	16,60		7,66	
R4	R41	700	30	6,44	6,44	7,6136	7,62
	R42	700	30	3,98			
	R43	700	30	6,44		7,62	
R5	R51	420	50	14,97	15,71	6,62	6,87
	R52	420	50	17,47		7,55	
	R53	420	50	14,69		6,46	
R6	R61	420	30	5,69	6,14	7,30	7,87
	R62	420	30	6,26		8,03	
	R63	420	30	6,46		8,29	
R7	R71	350	25	4,41	4,61	8,15	8,52
	R72	350	25	3,91		7,22	
	R73	350	25	5,51		10,18	



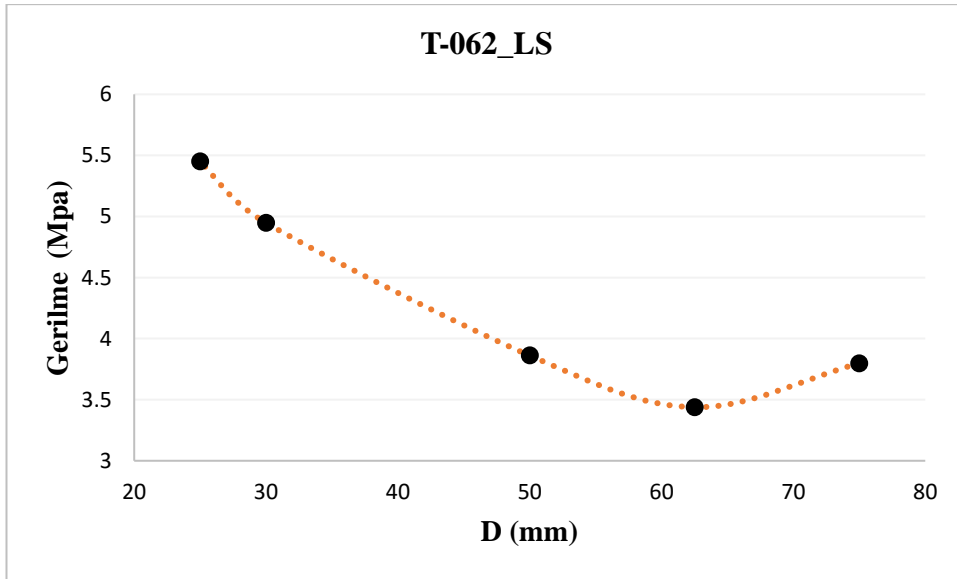
Şekil 3.10. Su-çimento oranı 042LS ÜP numunelerde karakteristik boyuta bağlı maksimum yük kapasiteleri



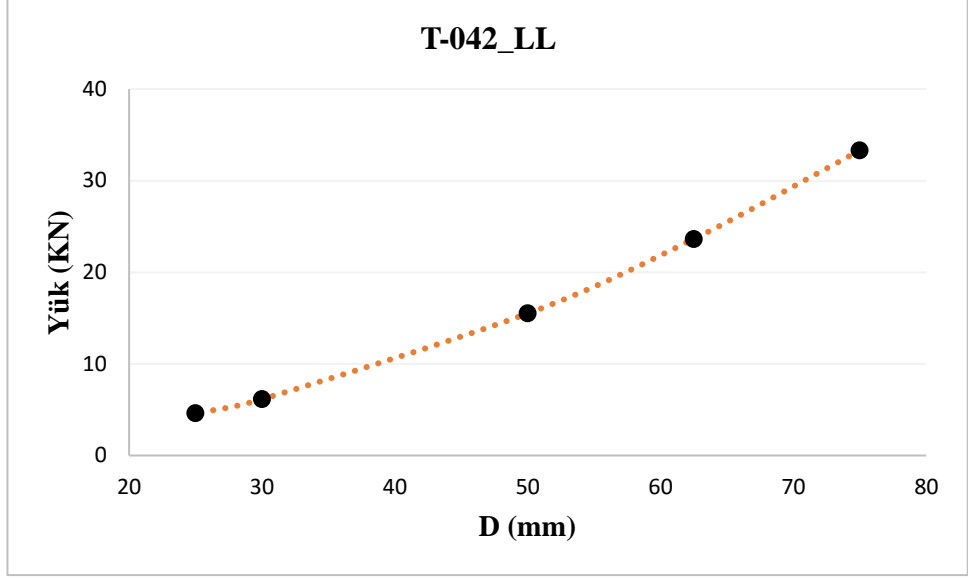
Şekil 3.11. Su-çimento oranı 0,42LS ÜP numunelerde karakteristik boyuta bağlı maksimum gerilme kapasiteleri



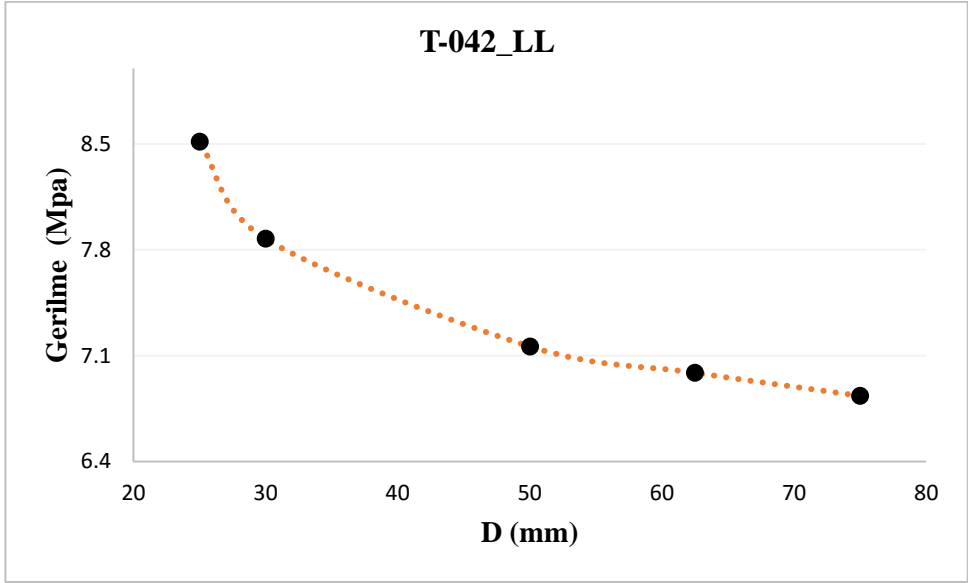
Şekil 3.12. Su-çimento oranı 062LS ÜP numunelerde karakteristik boyuta bağlı maksimum yük kapasiteleri



Şekil 3.13. Su-çimento oranı 0,62LS ÜP numunelerde karakteristik boyuta bağlı maksimum gerilme kapasiteleri



Şekil 3.14. Su-çimento oranı 042LL ÜP numunelerde karakteristik boyuta bağlı maksimum yük kapasiteleri



Şekil 3.15. Su-çimento oranı 042LL ÜP numunelerde karakteristik boyuta bağlı maksimum gerilme kapasiteleri

3.5.2. Boyut etkisi parametrelerini belirlemek için lineer regresyon analizi

Bu çalışmada boyut etkisi sonuçları ve sonuçların analizleri için Tip I boyut etkisi denklemleri kullanılmıştır. Çizelge 3.5'te, t/r sabit oranına sahip R1, R2, R3, R6 ve R7 tüm üçgen seri numuneleri için betonun çekme dayanımı üzerindeki boyut etkisini

belirlemek için kullanılmıştır. t / r oranı sabit olmayan R4 ve R5 Nolu numuneler betonun çekme dayanımı üzerindeki boyut etkisi belirlemede dikkat'a alınmamıştır.

Lineer regresyon analizinde f_r^∞ ve D_b . Bilinmeyen ampirik (deneye dayalı) sabitlerini belirlemek için Denklem 3.2 ile birlikte deneysel veriler kullanılarak yapılmıştır. Denklem 3.2'deki ampirik sabiti r, 1 olarak alınmıştır. Eşitlik 3.2'de verilen boyut etkisi denklemini lineer regresyon şeklinde formülize edilip, $Y = AX + C$ haline getirilmiştir. Yani $\sigma_N = f_r^\infty + f_r^\infty D_b \frac{1}{D_b}$ formuna getirilmiştir.

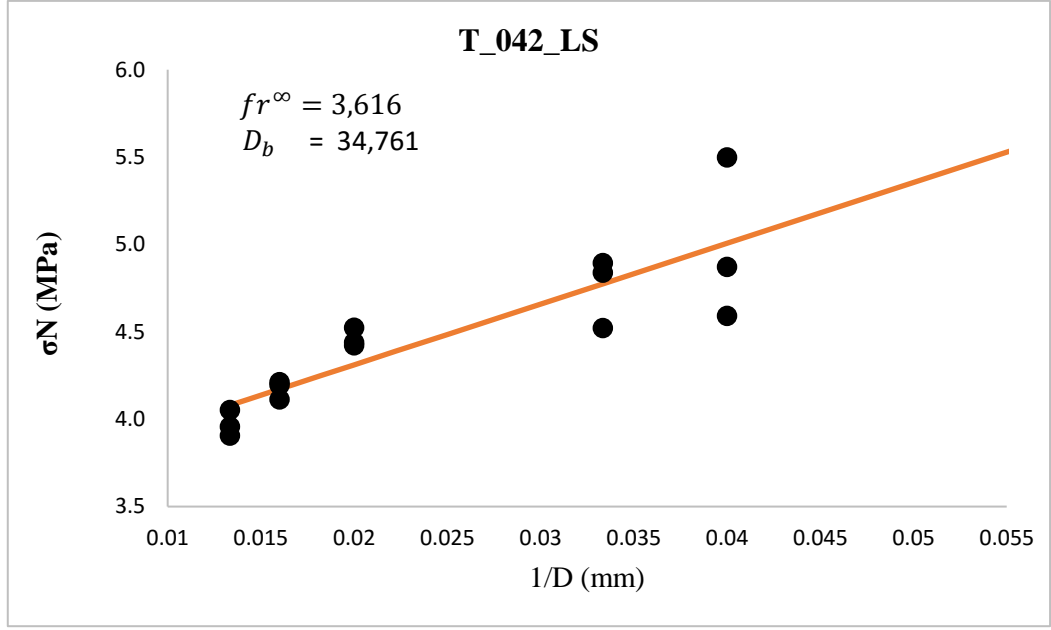
Burada σ_N göçmedeki nominal gerilmeleri göstermektedir. Bu eşitlik lineer regresyon formülünde $Y = \sigma_N$, $X = \frac{1}{D_b}$, $C = f_r^\infty$ ve $D_b = \frac{A}{C}$ şeklinde tanımlanmaktadır.

Tip I boyut efekti yasaının doğrusallaştırılmasından sonra, her test grubu için bilinmeyen ampirik sabitler, f_r^∞ ve D_b deneysel verileri yardımıyla doğrusal regresyon analizleri kullanılarak belirlenir. Tip I boyut etkisi denklemleri hesabında X (bağımsız değişken) olarak numunelerin karakteristik boyutunu 1/D (yani 1/t) ve Y (bağımlı değişken) olarak σ_N alınarak lineer regresyon yapılmıştır.

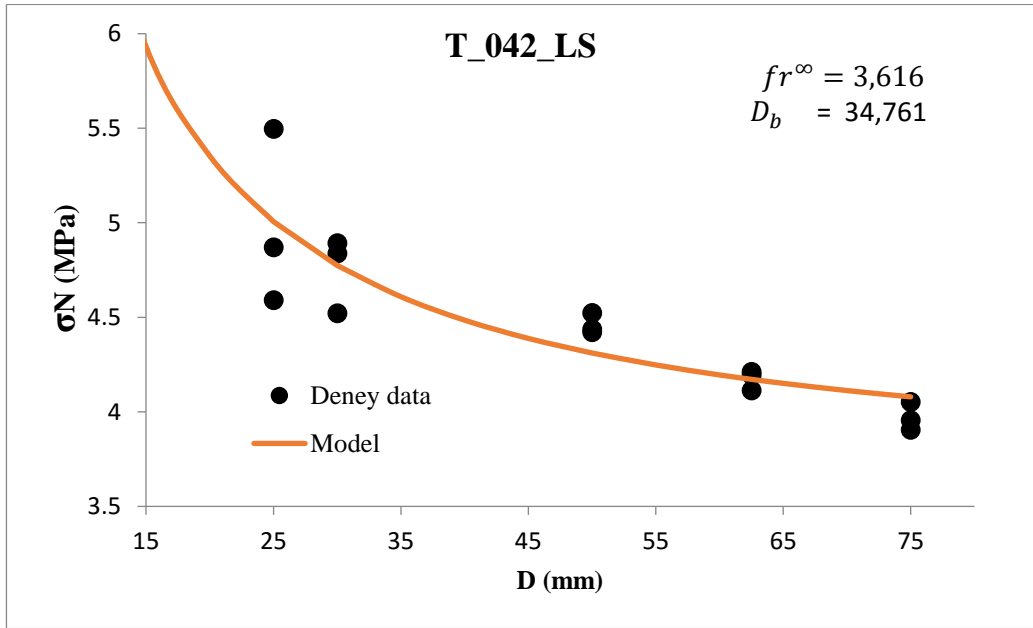
Çizelge 3.7'de verilen deney verilerini kullanarak, 0,42 su çimento oranına sahip lifsiz beton plaka Numuneler için lineer regresyondan elde edilen katsayılar Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.10. Su-çimento oranı 0,42LS Plakalarda lineer regresyonlardan elde edilen katsayılar

Regresyon Modeli	Standardize Edilmemiş Katsayılar		Standardize Edilmiş Katsayılar	t-istatistik	İstatistiki Anlamlılık	
	B	Std. Hata	Beta			
1	f_r^∞	3,616	0,147		24,549	0,00014
	1/D	34,761	5,531	0,867	6,284	0,000012



Şekil 3.16. Su-çimento oranı 0,42LS Üçgen numune plakalarda lineer regresyon eğrisi

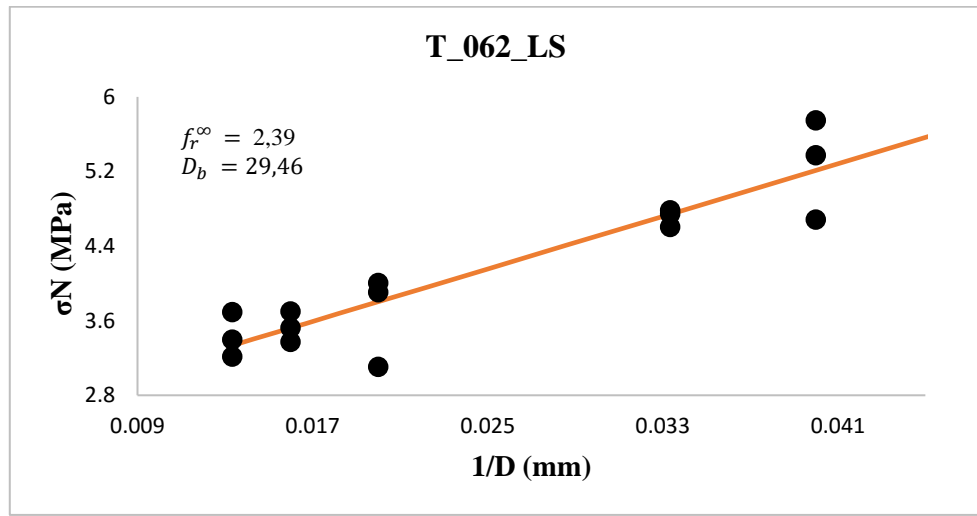


Şekil 3.17. Su-çimento oranı 0,42LL plakalarda boyut etkisi

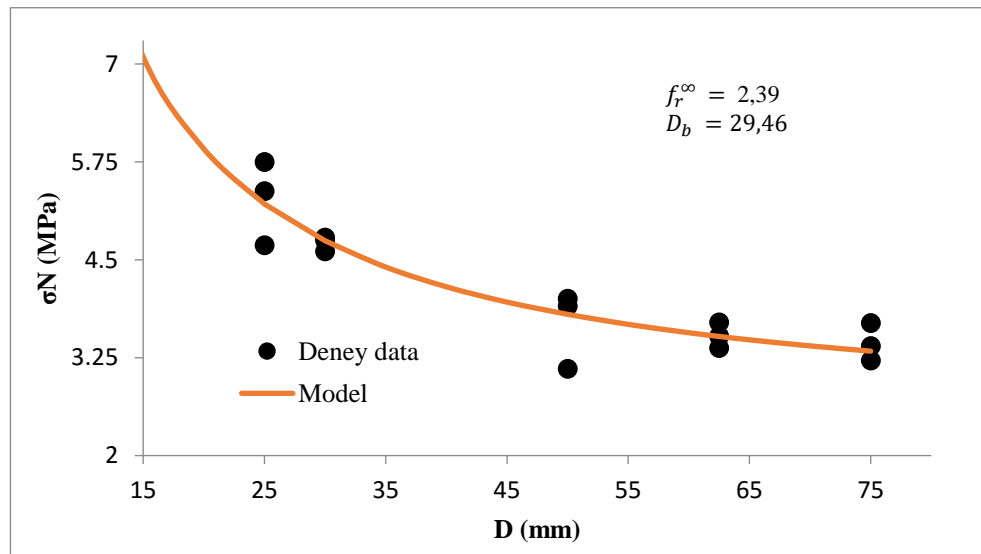
Çizelge 3.8'de verilen deney verilerini kullanarak, 0,62 su çimento oranına sahip Lifsiz beton plaka Numuneler için lineer regresyondan elde edilen katsayılar Çizelge 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.11. Su-çimento oranı 0,62LS Plakalarda lineer regresyonlardan elde edilen katsayılar

Regresyon Modeli		Standardize Edilmemiş Katsayılar		Standardize Edilmiş Katsayılar	t-istatistik	İstatistiki Anlamlılık
		B	Std. Hata	Beta		
Sabit	f_r^∞	2,394	0,214		11,180	0,0012
X	1/D	70,456	8,042	0,925	8,762	0,0001



Şekil 3.18. Su-çimento oranı 062LS Üçgen numune Plakalarda lineer regresyon eğrisi



Şekil 3.19. Su-çimento oranı 062LS Plakalarda boyut etkisi eğrisi

Çizelge 3.9'de verilen deney verilerini kullanarak, 0,42 su çimento oranına sahip Lifli beton plaka Numuneler için lineer regresyondan elde edilen katsayılar Çizelge 3.12'da verilmiştir.

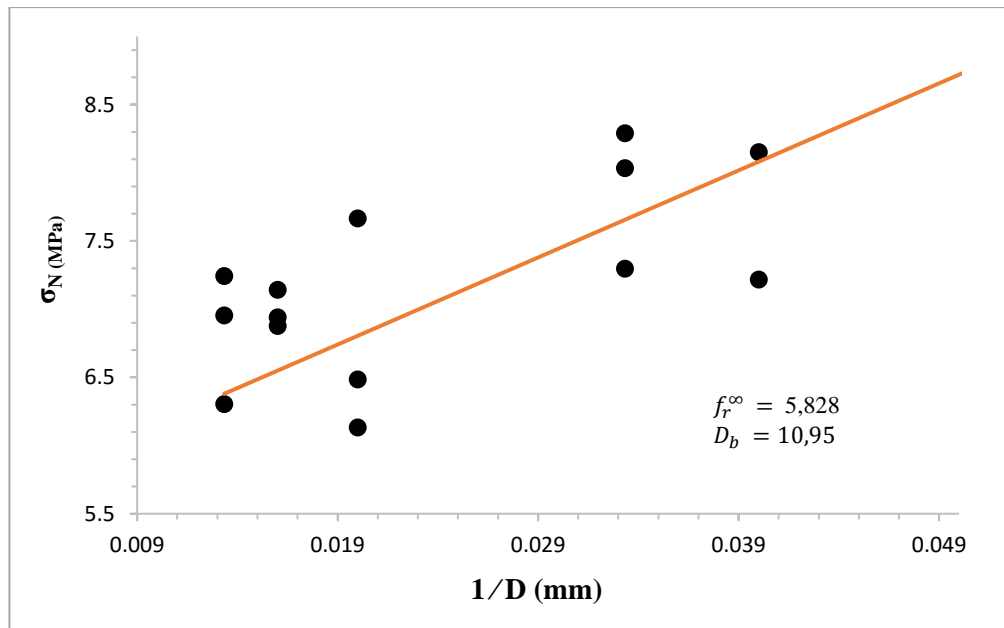
Çizelge 3.12. Su-çimento oranı 042LL plakalarda lineer regresyonlardan elde edilen katsayılar

Regresyon Modeli	Standardize Edilmemiş Katsayılar		Standardize Edilmiş Katsayılar	t-istatistik	İstatistiki Anlamlılık
	Katsayılar	Std. Hata	Beta		
Sabit	5,828	0,504		11,574	0,000
X	63,84	18,911	0,683	3,376	0,005

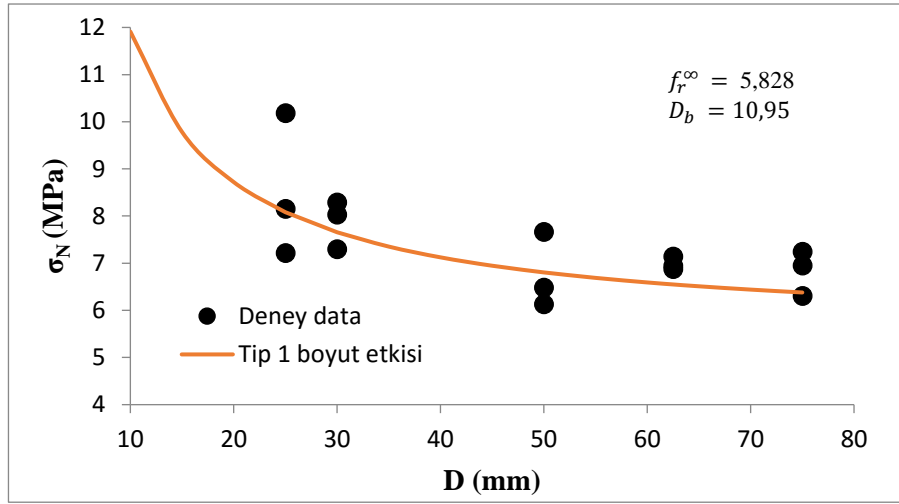
Çizelge 10'da görüldüğü üzere doğrusal regresyon analizi sonucunda sabit ($f_r^\infty = C$) ve $1/D$ 'nin katsayısı A , istatistiksel olarak oldukça anlamlı çıkmıştır ($P < 0,005$). σ_N ve $1/D$ arasında elde edilen ilişki aşağıdaki gibidir:

$$\sigma_N = 5,828 + 63,840/D \quad (3.3)$$

Eşitlik 1'in linneerleştirilmesiyle elde edilen $Y = AX + C$ ile uyumlu lineer regresyon modelindeki C 'nin pozitif ve sıfırdan farklı olması gerekmektedir (Şekil 3.20).

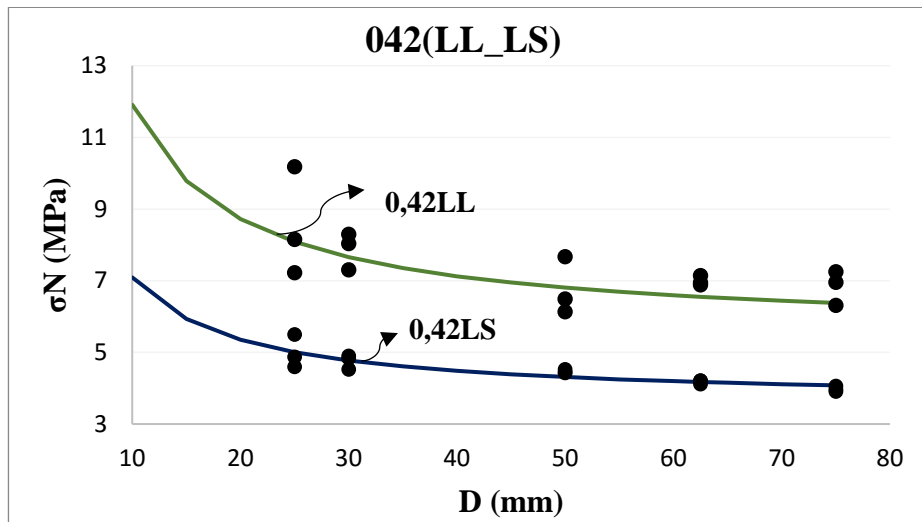


Şekil 3.20. Su-çimento oranı 042LS Üçgen numune Plakalarda lineer regresyon eğrisi Plakalarda Lifli üçgen numenlerin çekme dayanımı üzerindeki boyut etkisi daha iyi anlaşılabilmesi için Eşitlik 3'te verilen Tip I boyut etkisi bağıntısı lineer regresyonlar ile düzenlenerek elde edilen katsayılar doğrultusunda X eksenini için D ve Y eksenini için σ_N değerleri kullanılarak aşağıdaki eğri elde edilmiştir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Su-çimento oranı 042LL plakalarda boyut etkisi

Şekil 3.21'de görüldüğü gibi deney numuneleri plaka kalınlıkları artarsa çekme dayanımlarında azalma görülür. Sonuç olarak deney sonuçları üzerinde yapılan boyut etkisi analizleri, lifli harçların çekme dayanımı üzerinde boyut etkisinin olduğu söylenebilir.



Şekil 3.22. Su-çimento oranı 0,42LL ve 0,42LS plakalarda boyut etkisi karşılaştırılması

Karşılaştırıldığında lifli numunelerde daha sünek ve daha yüksek dayanım görülmektedir. Ancak boyut etkisini dikkat'a aldığımızda şekil 3.22'de görüldüğü gibi boyut etkisi belli bir boyuta kadar devam etmekte ve ondan sonrası paralel bir şekilde sonsuza uzamaktadır yani boyut etkisi kaybolmaktadır.

3.6. Nümerik Çalışmalar

3.6.1. Model Oluşturma

Bu çalışmada lifli betonlardaki iki eksenli çekme dayanımını belirlemek için ÜPY'yi kullanılmaktadır. Bunun için numuneler eşkenar üçgen plaka şeklinde hazırlanmaktadır. Deneysel kısmında açıklandığı gibi numune modelleri de aynı özelliklere sahip ve ÜPY'ine uygun oluşturuldu. Üçgen numune plakalarını modellemek için ticari sonlu elemanlar yazılımı ABAQUS/CAE 2017(ABAQUS v6.17) paket programını kullanarak gerçekleştirildi. Ancak bilindiği üzere deney numunelerinde kullanılan malzeme özellikleri bilgisayarda uygulanması çok güçtür. Bunun için Bazant grubu tarafından geliştirilen mikrodüzlem (Microplane M7) beton malzeme modeli, ABAQUS bünyesine VUMAT rutini kullanarak ayarlandı.

3.6.2. Çift eksenli eğilme testi numunelerinin karakteristiklerinin nümerik simülasyonu

Bu bölümde, betonun ÇEE dayanımını tahmin etmek ve dairesel disk panel testi (ASTM C 1150) ve iki eksenli üçgen eğilme (ÜPY) testinin sonlu elemanlar analizleri yapılarak çekme dayanımı üzerindeki boyut etkisi ve test panellerinin kırılma şekilleri belirlendi.

Bu hedeflere ulaşmak için, ticari Abaqus / CAE yazılımı kullanılarak üç boyutlu doğrusal olmayan sonlu elemanlar modelleri geliştirildi. Bu amaç için seçilen malzeme modeli, mikrodüzlem M7 modelidir. Mikrodüzlem modelinin çeşitli yarı gevrek malzemelerdeki hasarını, kırılma davranışını ve boyut etkisini doğru bir şekilde elde edilebileceğini kanıtlamıştır (Bazant ve ark. 2000,Caner ve Bazant 2013). Sayısal modellerin doğruluğu ve güvenilirliği için, deney numunelerinden elde edilen kırılma çizgileri ile karşılaştırılarak sayısal modellerin doğruluğunu test edilmiştir. Son olarak ayarlanmış M7 modeli, büyük ölçüde genişletilmiş bir boyut aralığında boyut etkisini tahmin etmek için kullanıldı.

3.8.1. Mikroplan M7 Modeli

Bu çalışmada, beton için geliştirilen mikrodüzlem M7 modelinin son versiyonu kullanıldı. Mikrodüzlem modeli ilk olarak Bazant ve arkadaşları tarafından betonlar için geliştirilmiştir. Killer, topraklar, kayalar, sert köpükler, bellekli şekil alaşımlar, lifli halkalar ve kompozitler (ön-laminatlar ve örgülü) için başka Mikrodüzlem (M0-M6) modelleri geliştirilmiştir (Bazant ve ark. 2000, Caner ve Bazant 2000, Caner ve ark. 2011).

Malzeme karakteristik uzunluğuna sahip bazı yerleştirme sınırlayıcılarının desteklediği mikro düzlem modelinin, tepe sonrası yumuşama, çekme-basınç yük davranışları, karışık mod kırılmaları, çekme-kayma hasarı, eksenel basınç ve ardından burulma, tek eksenli, çift eksenli ve üç eksenli yükler dahil olmak üzere çok çeşitli yükleme senaryoları üzerinde yarı-gevrek malzemelerin esas, ve hasar davranışının oldukça gerçekçi tahminler verdiği kanıtlanmıştır.

Mikro düzlem modelinin ana fikri; yapısal yasayı tensörler açısından değil, Mikrodüzlem adı verilen malzeme mikro yapısındaki herhangi bir oryantasyonun jenerik düzlemine etki eden gerilme vektörleri ve terimleri cinsinden ifade etmektir. M7 modeli, bu düzlemlerdeki gerilme ve şekil değiştirme vektörlerini ilişkilendiren "Mikrodüzlem" olarak adlandırılan malzeme yapısında çeşitli düzlemlerde belirleyici yasalardan oluşmaktadır. Bu düzlemlere etkiyen gerilme vektörlerinin fonksiyonu olarak ifade edilen gerilme vektörlerinin entegrasyonu makroskopik gerilme tensörünü verir. Bu amaçla, gerilme tensörünün ünite normal vektör \vec{n} birimi tarafından verilen farklı yönelimlerin Mikrodüzlem'lara yansıtıldığı "kinematik kısıtlama" kullanılmalıdır.

$$\epsilon_N = \epsilon_{ij}n_in_j = \epsilon_{ij}N_{ij} \quad (3.4)$$

Burada tekrarlanan endeksler toplamı ifade eder ve endeksler 1 ila 3 arasındadır. Öngörülen kesme ve asal şekil değiştirme aşağıda verilmektedir.

$$\begin{aligned} \epsilon_L &= \epsilon_{ij} \frac{1}{2} (n_il_j + l_in_j) = \epsilon_{ij}L_{ij} \\ \epsilon_M &= \epsilon_{ij} \frac{1}{2} (n_im_j + m_in_j) = \epsilon_{ij}M_{ij} \end{aligned} \quad (3.5)$$

Bir mikro düzlemde verilen ve (3.4) ve (3.5) eşitlikleri ile tanımlanan öngörülen gerilmeye karşılık gelen normal ve kayma gerilmelerinin bünye denklemleri, öngörülen Mikrodüzlem temel yasalarını kullanılarak aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$\sigma_N = f_N(\epsilon_N, \sigma_v) \quad \text{İçin} \quad \sigma_N^e > 0$$

$$\sigma_v^- = f_v((\epsilon_v, \epsilon_I, \epsilon_{III}))$$

$$\sigma_D^- = f_D((\epsilon_D, \epsilon_V))$$

$$\sigma_N = \sigma_v^- + \sigma_D^- \text{ for } \sigma_N^e < 0$$

$$\tau_L = F_\tau(\sigma_N) \cos(\alpha)$$

$$\tau_M = F_\tau(\sigma_N) \sin(\alpha) \quad (3.6)$$

\mathcal{F}_N , \mathcal{F}_V , \mathcal{F}_D ve \mathcal{F}_τ fonksiyonları; sırasıyla mikrodüzlem normal, hacimsel, sapma ve kayma temel ilkeleri gösterir; σ_N^e elastik Mikrodüzlem normal gerilme, ϵ_v hacimsel şekil değiştirme, ϵ_I maksimum asal şekil değiştirme ve ϵ_{III} minimum asal şekil değiştirmedir. Daha detaylı bilgi almak için (Caner ve ark. 2018)'e bakılabilir.

Eşitlik (3.6)'te verilen mikrodüzlem temel fonksiyonların argümanları sadece karşılık gelen mikro düzlem deformasyonları değil aynı zamanda diğer mikro düzlem gerilme değişkenleri olduğu ortaya çıkarmıştır (Caner ve Bažant, 2012). Mikrodüzlem(mikro düzlem) kayma kanunu, üç eksenli basınç altında betonun doğrusal olmayan davranışını simüle etmeye yarayan etkin bir yüzeydir. Makroskopik gerilme tensörünü Eşitlik (3.7)'de verilen mikro düzlem normal ve kayma gerilmelerinin virtual iş prensibi kullanılarak bir birim yarımkürenin yüzeyinde integrali alınarak hesaplanır.

$$\sigma_{ij} = \frac{3}{2\pi} \int_s (\sigma_N N_{ij} + \tau_L L_{ij} + \tau_M M_{ij}) ds \quad (3.7)$$

Denklem (3.7)'te integral en iyi verimlilik ve doğruluk için Gauss kuadratürü sayısal entegrasyonun yapılması gerekir. İzotropik malzemeler için 21 noktalı gauss entegrasyon yöntemi yeterli olmasına rağmen maksimum göçme yükü sonrası oluşan gerilme

yumuşama bölgesinde büyük hatalara neden olabilmektedir. (Bažant ve ark. 2000). Bu nedenle, hesaplamalarda tam gerilme-deformasyon tepkisinin hesaplamak için denklem 3.7 noktalı Gauss Kuadratürü entegrasyonu kullanılmasının daha uygun olduğu (Caner ve Bažant 2012) önerilmektedir. Yukarıdaki denklemlerin çoğu, M7 modeli ve onun önceki sürümleri(M0-M6) için ortaktır (Bažant ve Oh 1985, Caner ve Bažant 2012). Bununla birlikte, M7 modeli, diğer çok eksenli beton davranışlarını doğru tahmin etmenin yanı sıra, yükleme ve boşaltma döngüleri altında betonun çekme ve basınç davranışını doğru tahmin ederek ($f_{ct} = 0.56\sqrt{f_{c'}}$) eşitliği ile gerçekleştirir. Tek eksenli çekmede yanal büzülme için ($f_{ct} = 0.3(f_{c'})^{0.66}$) eşitliği kullanılır.

Tek eksenli çekme altında yanal büzülmenin doğru tahminini yapmanın yanı sıra, bu yük döngüleri altında beton davranışın doğru tahminlerini yapmak, M7 modeli, eşitlik(3.5) 'te gösterildiği gibi, basınçtaki elastik tepki aralığındaki mikro düzlem normal gerilme ve şekil değiştirme hacimsel-deviatorik bölünmeyi kullanır. Dahası, M7 modeli, öncekilerle aynı sayıda sabit ve serbest parametreye sahiptir (örneğin, M4 Modeli), (Bažant ve ark. 2000, Caner ve Bažant, 2000).

3.8.2. Mikrodüzlem modelinin kalibre edilmesi ve doğrulanması

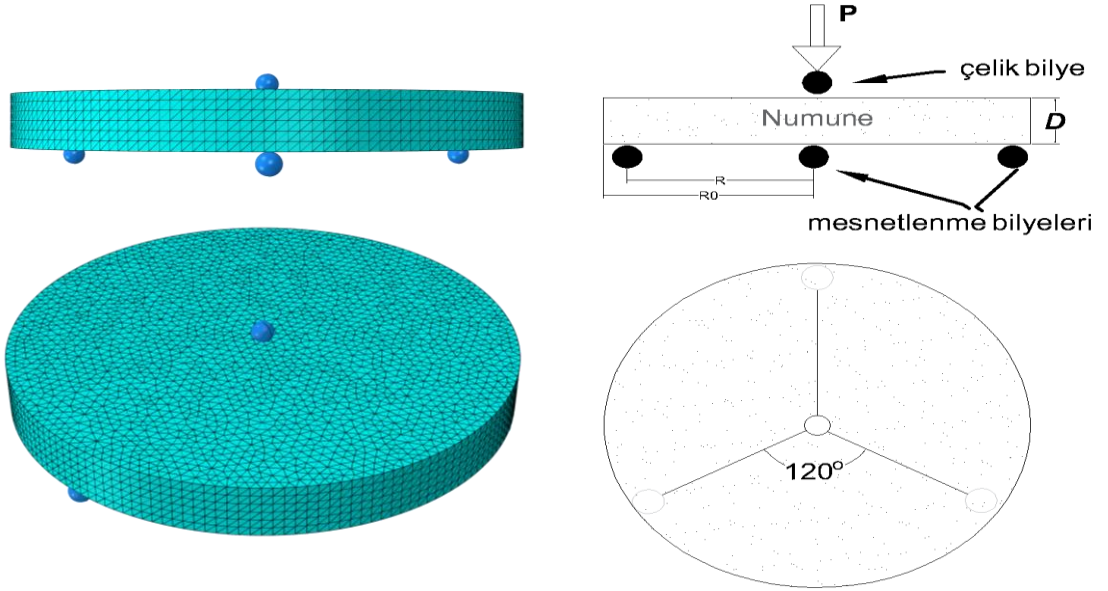
Mikrodüzlem M7 modeli, explicit kullanıcı tanımlı malzeme rutini VUMAT kullanılarak ticari sonlu elemanlar kodu ABAQUS 6.17'ye dahil edilmiştir. Daha sonra, M7 modelin serbest parametreleri, ÇEE testi sonuçlarının yerleştirilmesiyle kalibre edildi. Zi ve arkadaşları tarafından büyüklüğü 1: 1.6: 2.5 olan üç disk test edilmiştir. Bu çalışmada, mikro düzlem modeli ilk önce; üç boyutlu disklerin deneysel verilerinin yükleri, şekil değiştirmeleri ve sehimlerinin üzerine yerleştirilerek kırılma şekillerinin eşleştirilmesiyle kalibre edilip doğrulandı(Zi ve ark. 2013).

3.8.3. Merkezi yüklü dairesel plaka deneyi, ASTM C1550

Üç yuvarlak pivot (çelik bilyeler) yardımıyla desteklenen dairesel bir plaka kullanılır. Yükleme üstten numunenin ağırlık merkezine uygulanır ve yükün uygulandığı nokta gerilmenin maksimuma ulaştığı ve çift eksenli olduğu noktadır. Örnek olarak kullanılan disklerden büyük diskin detayları Çizelge 3.13'te ve ASTM C1550'nin deney kurulumu Şekil 3.23'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.13. iki eksenli eğilme deneyi için büyük diskin için mesnetleme ve yükleme detayları

Boyut (mm)	Büyük disk
Kalınlık	75
Yarıçap	328,5
Mesnetleme yarıçapı	312,5
Yükleme yarıçapı	0



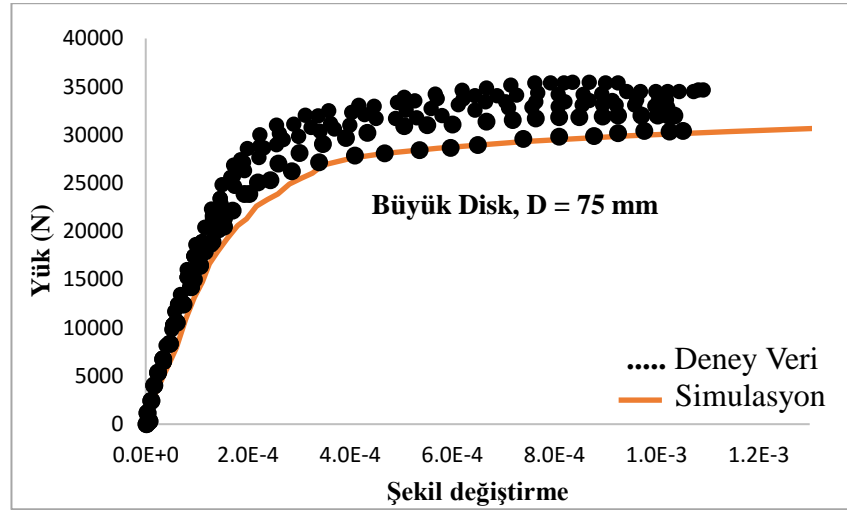
Şekil 3.23. ASTM C1550 test metodu ile disk numunelerde mesnetlenme ve yükleme gösterimi (Abaqus 2017)

ASTM C1550 yönteminin temel avantajları; basit prosedürü ve çatlak sonrası performans değerlendirmesinde yüksek hassasiyete sahip olmasıdır. Bu yöntem, numune yüzeyinin düz olmayan bir düzleme iyi tolerans gösterdiğinden numune hazırlanması zor değildir. Diskler, ortalama $w_c = 13\text{mm}$ büyüklükte dört düğümlü dörtyüzlü element (four-noded tetrahedral, C3D4) olarak MESH (ağ, gözenek) atılmıştır.

Çizelge 3.14. Üç adet benzer büyüklükteki disk modelinden Büyük Diskin sonlu elemanlar detayları.

Kalınlık D (mm)	Düğüm Sayısı	Element Sayısı
75	16,010	80,927

Modeli kalibre ve doğrulamak için, üç boyutlu disklerin yük-şekil değiştirme grafikleri, ölçülmüş Elastisite modülü (E) ve basınç gerilmesi (f_c) kullanılarak mikro düzlem modelinin Radyal(ışınsal) ölçeklendirme parametresinin en iyi değeri aranarak en uygun şekilde yerleştirildi (Şekil 3.24 ve bkz. Şekil 3.28-3.29).



Şekil 3.24. Benzer büyüklükteki 3 diskten büyük diskten deneysel ve sayısal sonuçların karşılaştırılması

Noktalı çizgiler deney verilerini gösterirken, düz çizgiler tahmin edilen modeli temsil eder. Karşılaştırmanın oldukça yakın olduğu görülüyor. Mikro düzlem model parametreleri, numunenin ortalama cevabına uyacak şekilde ayarlandı.

Diğer tüm ayarlanabilir mikro düzlem M7 parametreleri varsayılan değerlerinde alınmıştır (Caner ve Bazant 2013). Simülasyonda model için kullanılan ve kritik olan elastik parametreleri Çizelge 3.15’de verilmektedir.

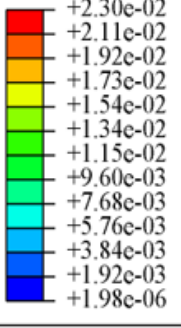
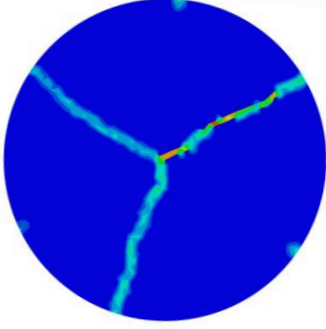

Çizelge 3.15. Diskler için mikro düzlem M7 modelinin elastik malzeme sabitleri ve parametreleri (Abaqus 2017)

Malzeme parametreleri (Birim)	Değer
Elastisite Modülü E (MPa) (ortalama)	27,264
Poison oranı	0.22
Basınç dayanımı f_c (28 günlük) (MPa)	33
Yoğunluk (kg/m ³)	2,800
Radyal ölçeklendirme parametresi k_1	1.05 E-4
k2	80
k3	9.66
k4	10
k5	1
k6	1X10e-4
k7	1.8
C4	18.677

Radyal doğrultuda ortalama logaritmik şekil değiştirme, altta disk merkezinde kabaca yerleştirilmiş elemanlar için belirlendi. Bu ortalama şekil değiştirme, toplam reaksiyonlara karşı çizildi ve deney verileri her üç boyuttaki disklerin sayısal sonuçları ile karşılaştırmaları verilmektedir (bkz. Şekil 3.29).

Noktalı çizgiler deney verilerini gösterirken, düz çizgiler tahmin edilen modeli temsil eder. Karşılaştırmanın oldukça yakın olduğu görülmektedir.

Sayısal simülasyonların doğruluğunu onaylamak için (Zi ve ark. 2013, Kim ve ark. 2012) çeşitli boyutlardaki çift eksenli eğilme deneylerinde sayısal simülasyondan elde edilen kırılma paterni ile karşılaştırılmıştır (Şekil 3.25).

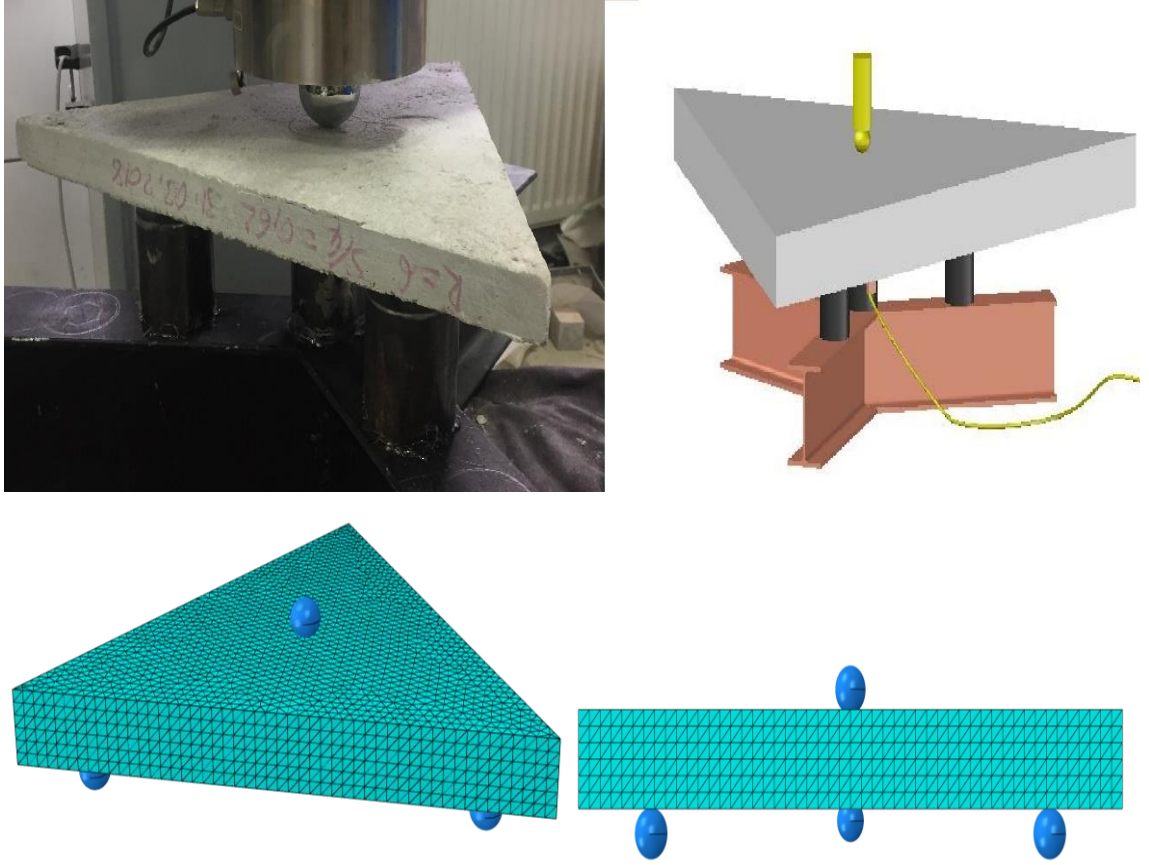
<p>LE, Max. Principal (Avg: 75%)</p> 		
<p>Logaritmik Şekil Değişirme değerleri</p>	<p>İdealize edilmiş deney kurulumunu kullanarak simülasyonlardan beklenen kırılma paternleri;</p>	<p>İdealize edilmiş deney kurulumundan kırılma çatlakları;</p>

Şekil 3.25. Benzer büyüklükteki 3 modelden büyük diskin deney ve simülasyon kırılma paternlerinin karşılaştırılması (Abaqus 2017)

Merkezi olarak yüklenen dairesel plaka testinde, ASTM C1550, üçlü aksel simetrik gerilme dağılımı nedeniyle destek pivotları ile test plakasının merkezi arasındaki alanda çatlaklar oluşmaya yatkındır ve plakanın üç parçaya ayrılmasına neden olur. Deney numunelerinde bu tip bir kırılma, sonlu elemanlar simülasyonu ile ele alınmış ve incelenmiştir (Şekil 3.25).

3.8.4. Betonun çift eksenli eğilme dayanımını tahmin etmek için çift eksenli üçgen eğilme deneyin simülasyonu

Mikro düzlem modelinin, çift eksenli eğilmiş disklerin tepkisini tahmin edebildiğini göstermiş olması, Şimdi kalibre edilmiş model için çift eksenli üçgen eğilme testini simüle ederek, deneysel olarak belirlenmiş çekme dayanımını üçgen eğilme deneyi ile doğrulamak ve betonun tek eksenli çekme dayanımını tahmin etmek için kullanılabilir. Üçgen eğilme deneyinde, üçgen beton plaka numunesi üç küçük küresel çelik bilye üzerinde mesnetlenir ve numunenin üstten ağırlık merkezinden yüklenir (Şekil 3.26).



Şekil 3.26. ASTM C1550 test metodu ile üçgen plakanın mesnetlenme ve yükleme platformu gösterimi (Zi ve ark. 2012, Abaqus 2017)

Çizelge 3.16. Büyük boyutlu üçgen plaka diskinin yükleme ve mesnetlenme detayları

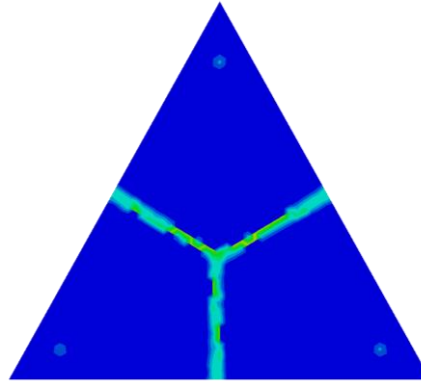
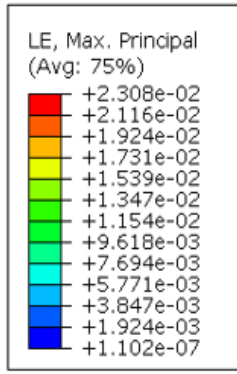
Boyut (mm)	Büyük Disk
Kalınlık	75
Uzunluk	657
Mesnetlenme uzunluğu	312.5
Yükleme	0

Üçgen plaka, ortalama ($w_c = 13\text{mm}$) büyüklükte dört düğümlü dört yüzlü (four-noded tetrahedral) C3D4 elementiyle MESH (ağ) atılmıştır.

Çizelge 3.17. Büyük boyutlu ÜP'nın sonlu eleman modelinin detayları

Disk	Kalınlık D (mm)	nod sayısı	Element sayısı
Büyük disk	75	16,010	80,927

Simülasyon ve deneysel sonuçların karşılaştırılmasında kırılma şekilleri Şekil 3.27'da ve grafiksel karşılaştırmaları ise Şekil 3.28'de gösterilmektedir.

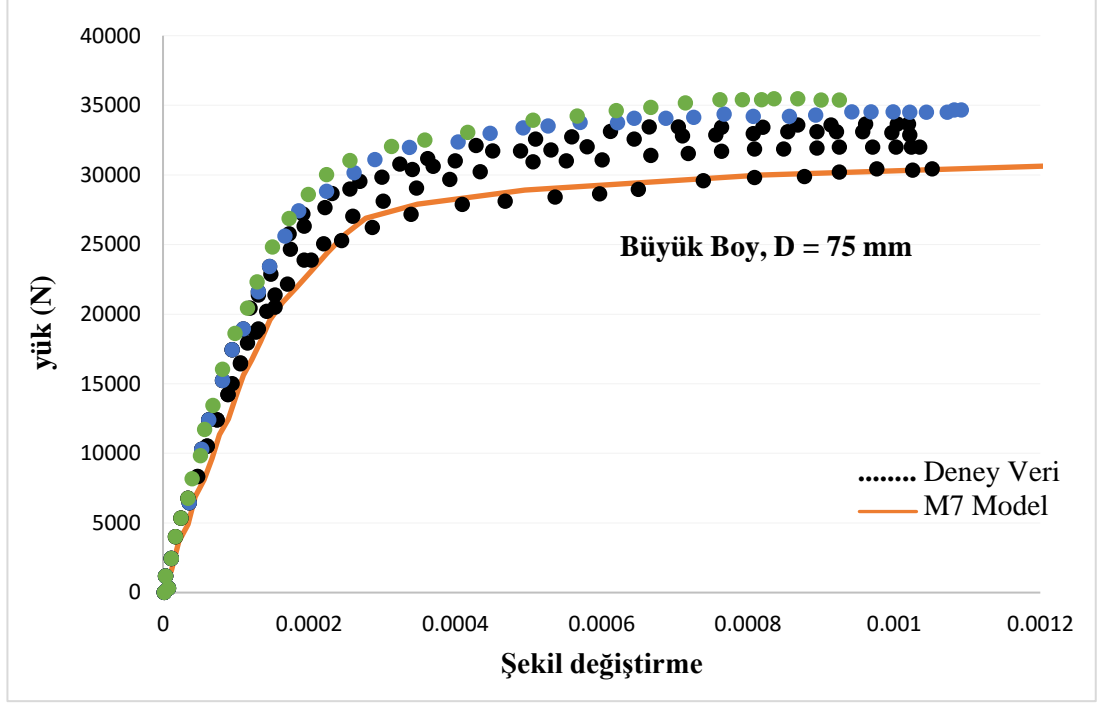


Logaritmik Şekil
Değiştirme
değerleri

İdealize edilmiş deney kurulumunu
kullanarak simülasyonlardan
beklenen kırılma paternleri;

İdealize edilmiş deney
kurulumundan kırılma şekilleri;

Şekil 3.27. Büyük boyutlu üçgen elemanın deneysel ve simülasyon kırılma şekillerinin karşılaştırılması(Abaqus 2017)



Şekil 3.28. Büyük boyutlu üçgen elemanın deneysel ve nümerik sonuçlarında yük şekil değiştirme grafiklerinin karşılaştırılması

3.9. Disklerde ve Üçgen Plakalarda Boyut Etkisi

Boyut etkisi tüm yarı gevrek malzemeler için önemli bir husustur (Bazant ve Planas 1998). Tek eksenli gerilmeye sahip numuneler için ayrıntılı olarak çalışmalar yapılmıştır, ancak iki eksenli gerilme ile ilgili yapılan testler eksik ve nadirdir.

Mikro düzlem modelinin, çift eksenli eğilmiş disklerin tepkisini tahmin edebildiğini göstermiş olmasıyla, boyut etkisi ve kırılma şimdi analiz edilebilir. Diskler üç boyutta geometrik olarak benzermiş, yani, mesnet ve yükleme halkasının diskleri ve yarıçapı aynı oranda ölçeklendirilmiştir (Çizelge 3.18).

Çizelge 3.18. Üç benzer boyutta sonlu eleman diskler ve üçgenlerin modellerinin detayları

Numune Tipi	Boyut (mm)	Küçük Disk	Orta Disk	Büyük Disk
DİSK	Kalınlıklar	30	48	75
	Yarıçapı	131	210	328.5
	Mesnetleme yarıçapı	125	200	312.5
	Yükleme	0	0	0
ÜÇGE	Kalınlıklar	30	48	75
	Numune uzunluğu	262	420	657
	mesnetleme uzunluğu	125	200	312.5
	Yükleme	0	0	0

3.9.1. Çift eksenli dayanımda boyut etkisi

Üç yuvarlak pivot (çelik bilyeler) tarafından desteklenen dairesel bir plaka kullanılır. Gerilmenin maksimuma ulaştığı ve çift eksenli olduğu merkezde tekil bir yüke maruz kalır. Bu nedenle çift eksenli dayanımı, bu testler için geliştirilen aşağıdaki formülden elde edilebilir.

$$f_t = \frac{3p(1+\nu)}{4\pi D^2} \left\{ 1 + 2 \ln \left(\frac{R}{r_c} \right) + \frac{1-\nu}{1+\nu} \left[\frac{2R^2 - r_c^2}{2R_0^2} \right] \right\} \quad (3.8)$$

$$r_c = \sqrt{1,6r^2 + D^2} - 0,675D \quad (3.9)$$

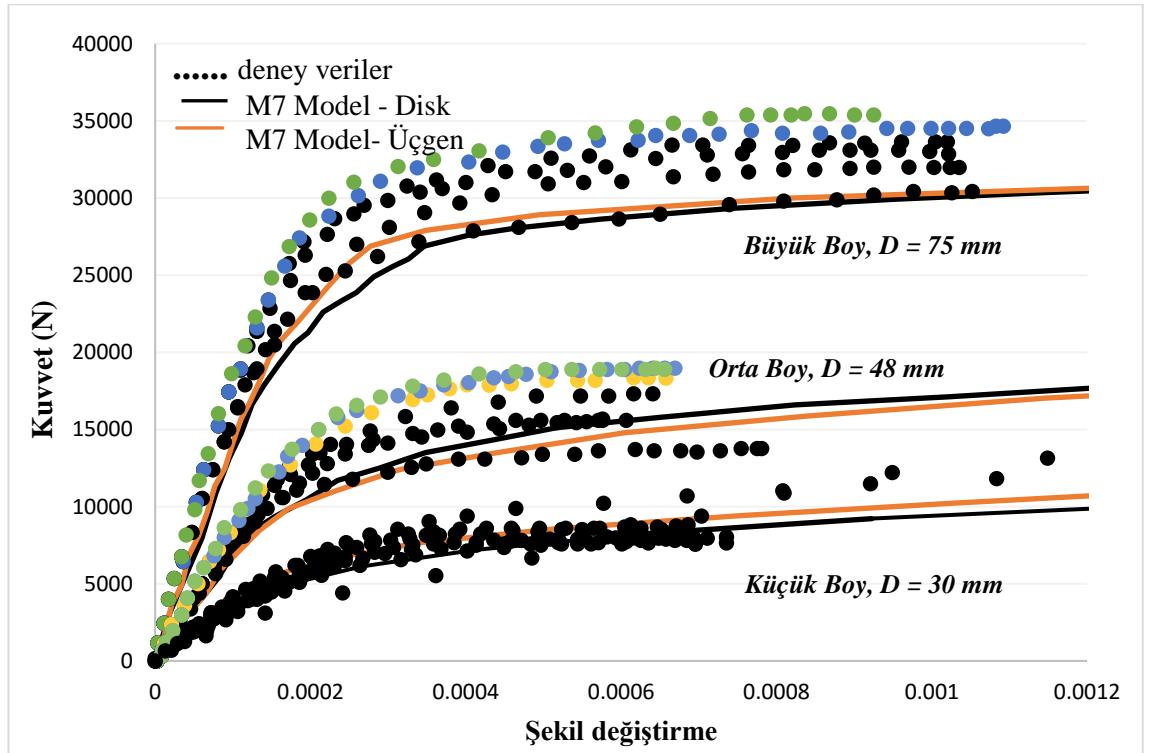
Burada R, numunenin merkezinden mesnete olan mesafedir, r_c eşdeğer yarıçaptır, r yükleme alanının yarıçapıdır, D dairesel plakanın kalınlığıdır ve ν malzemenin Poisson oranıdır. Geliştirilen yöntem Aslında deney yöntemi pik sonrası kırılma dayanıklılığını ölçmek içindir. Denklem (3.9), $r < 0.5D$ aralığında geçerlidir.

Çift eksenli çekme dayanımını hesaplayan formül, üçgen plakanın yükleme kapasitesine ulaştığını varsayan Türker (2015) tarafından Akma Çizgiler Yöntemine (AÇY) dayanarak

elde edilmiştir. Çatlak oluşum durumu, plakanın hasar mekanizması olarak alınabilir. Türker, sünek olmayan gevrek elementlerde kullanılan plastik teorisine dayanan bir yöntem olan AÇY'ini kullanarak harçların gerilme dayanımını hesaplamak için daha önce (bkz. Eşitlik 3.1) verilen basit bir formülü türetmiştir.

Çift eksenli dayanımlar, sonlu elemanlar kodu M7 yardımıyla çeşitli disk boyutları ve üçgen plakaları için tahmin edilen maksimum yükleri kullanarak, deney verilerinden tepe yükleri kullanarak gerilme değerleri hesaplanıp karşılaştırıldı (Şekil 3.29).

Şekil 3.29'de gösterildiği üzere deney sonuçlarıyla karşılaştırılmaktadır. Burada gösterilen grafikte, ayrı ayrı deneylerden elde edilen değerleri noktalarla ve M7 modelini kullanarak elde edilen değer düz çizgilerle gösterilmektedir. Tahmin edilen tek eksenli gerilme dayanım değerleri, deneydeki ortalama gerilme dayanım değerleri ile iyi bir uyumdadır. Küçük plakanın tahmin edilen tek eksenli dayanımı, deneysel ortalama değerden biraz daha yüksektir.



Şekil 3.29. Mikrodüzlem M7 Modelini kullanarak iki eksenli eğilme deneyleri ve Tahmin edilen yük-şekil değiştirme eğrilerinin karşılaştırılması (Abaqus 2017)

Çizelge 3.19. Disklerdeki ve üçgenlerdeki simülasyonun sonuçları

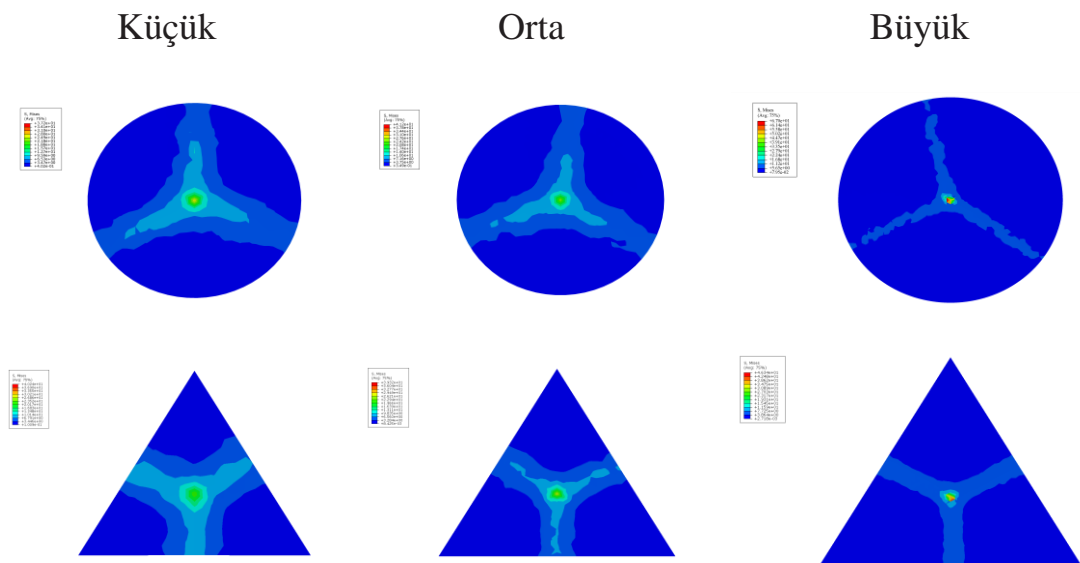
Tip	Numune	Yük (KN)	Gerilme (MPa)	Şekil değiştirme	Deplasman
Disk	Büyük	27	67	0.004	1.2
	Orta	12.6	41.2	0.0038	1.2
	Küçük	6	37.2	0.0021	1.2
Üçgen	Büyük	28	70	0.003	1.2
	Orta	13	39.3	0.0038	1.2
	Küçük	7	36	0.0032	1.2

Çizelge 3.19'teki verilerden ASTM C1550'nin ortalama çift eksenli eğilme dayanımının çift eksenli eğilme deneyi yöntemininkinden yaklaşık% 29 daha büyük olduğu tespit edildi.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

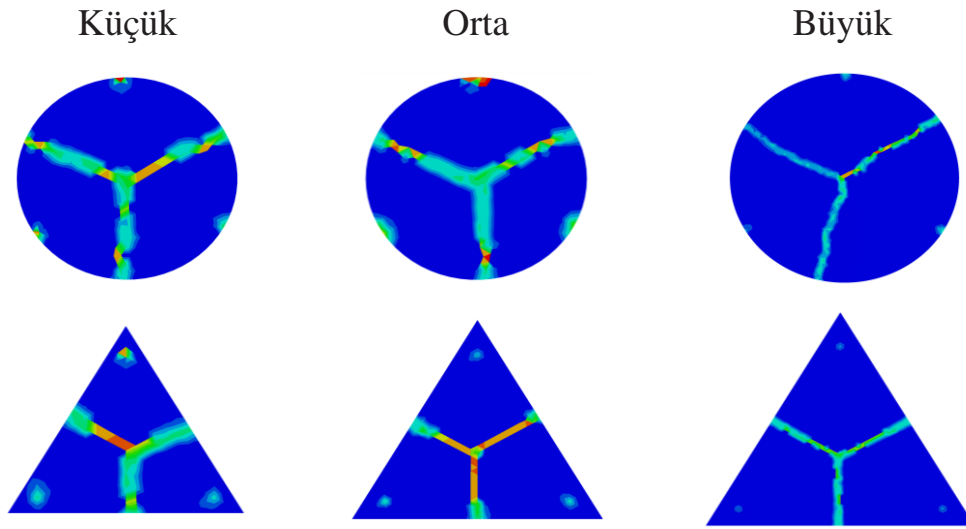
4.1. Kırılma Şekillerinin Sonuçları ve Tartışılması

Şekil 3.30, ASTM C1550'nin alt yüzeyindeki maksimum ana şekil değiştirme dağılımının kontur grafiklerini ve çift eksenli eğilme deney panellerini göstermektedir. İki deney yönteminin temel özelliklerinden bazıları bu bölümde tartışılacaktır.



Şekil 3.30. ASTM C 1550 ve çift eksenli eğilme deney panelinin üst yüzeyindeki maksimum asal çekme gerilmenin kırılma çatlakları

Her iki test yönteminde de, maksimum çift eksenli çekme gerilmesi çatlakların çekme yüzeyinin merkezinde meydana gelmiştir. Bu alanda çatlakların başlaması beklenmekteydi. ASTM C1550 panelinin gerilme alanı, üç destek milinin neden olduğu üçlü simetrik gerilme dağılımı göstermektedir. Bu sonuçlar, ASTM C1550 panellerindeki çatlakların, mesnet pivotları ile deney panelinin merkezi arasında daha yüksek gerilme bölgesinde oluşmaya yatkın olacağını ve böylelikle numunenin hasar durumunda üç parçaya bölünmesine neden olacağını göstermiştir. ASTM C1550 panellerindeki çatlaklar genellikle panellerin merkezinden mesnet desteklerine giden yönde meydana gelir. Çünkü bir panelin gerilme dağılımı üçlü simetriye sahiptir. ASTM C1550 panellerinde çatlakların konumu analiz sonucuyla uyumlu çıktı. Şekil değiştirme dağılımının, kırıldıkları parça sayısından bağımsız olarak beton panellerin alt yüzeyinin merkezinde çift eksenli olarak üniform olduğu doğrulandı.



Şekil 3.31. Disk ve üçgen plakalar için ASTM C1550 test panelinin alt yüzeyindeki maksimum asal şekil değiştirmenin çatlak oluşumları

4.2. Disklerde Boyut Etkisi

Boyut etkisi tipi sorusunu cevaplamak için, Bazant ve arkadaşları tarafından deney verileriyle kalibre edilen M7 modeli benzer boyuttaki üç disklere ek olarak 20, 120 ve 192 mm kalınlıklarına sahip numuneler de deney verilerinin pik yüklerini bulmak için kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılacak ÜPY ve ASTM C1550 yöntemler ve Mikro

düzlem M7 modelinin doğrulanması sonucunda, boyut etkisini bulmak için lif içeren ve içermeyen 3 karışım ele alınmıştır. Karışımlar sırasıyla modellenip analizleri yapıldı.

4.3. Beton İçin Çift Eksenli Üçgen Eğilme Deneyinin Sonlu Elemanlarla Doğrulaması

4.3.1. 0,42 Su-çimento oranına sahip lifsiz üçgen plaka numunelerin simülasyonu

Su-çimento oranı 0,42 lif içermeyen karışım için sonlu elemanlar analizleri sırasında; deney numuneleri elastik davranış gösterdiğinden lineer elastik olarak simüle edilip yük-deplasman grafikleri karşılaştırıldı. Ancak kırılma şekillerini daha net görebilmemiz için mikrodüzlem M7 modelini kullanarak non-lineer analizleri edilerek kırılma şekilleri karşılaştırıldı (bkz. Şekil 3.33-3.34).

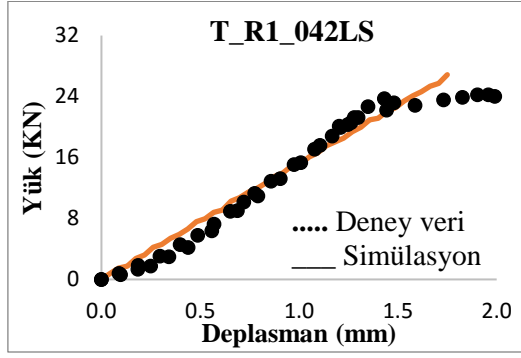
Elastik analizleri sırasında numuneler için ortalama olarak 18000 MPa Elastisite modülü (E), 0,12 Poison oranı(ν) ve normal betonlar için $2,4E^{-9}$ alınan yoğunluk kullanarak yapılan nümerik analizleri deney sonuçları ile doğrulandı.

Mikrodüzlem M7 modeli kullanıldığında, küp basınç deneyinden elde edilen 28 günlük numunenin basınç dayanımı(f_c), 79MPa ve basınç olarak yüklem durumunda kullanılan elastik malzeme parametreleri Çizelge 3.20'de verilmektedir. Diğer tüm ayarlanabilir mikrodüzlem parametreleri varsayılan değerlerde alındı (Caner ve Bazant 2013).

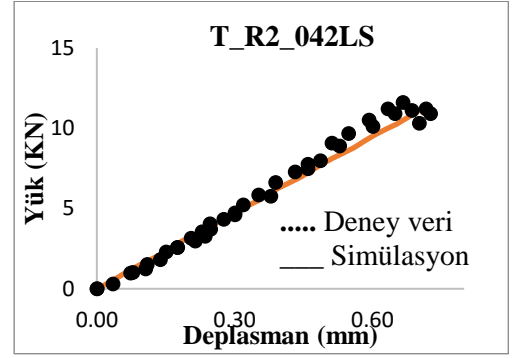
Çizelge 3.20. 0,42 su-çimento oranına sahip numune modelleri için mikrodüzlem M7 modelinin elastik malzeme sabitleri ve parametreleri

Malzeme Parametreleri (birim)	Değer
Elastisite modülü E (MPa) (ortalama)	18000
Poison oranı, ν	0,12
Basınç dayanımı, f_c (28 günlük) (MPa)	79
Yoğunluk (kg/m ³)	2,400
Radyal ölçeklendirme parametresi k1	30 E-6
k2	110
k3	9,66
k4	100
k5	1
k6	1X10e-4
k7	1,8
C4	80

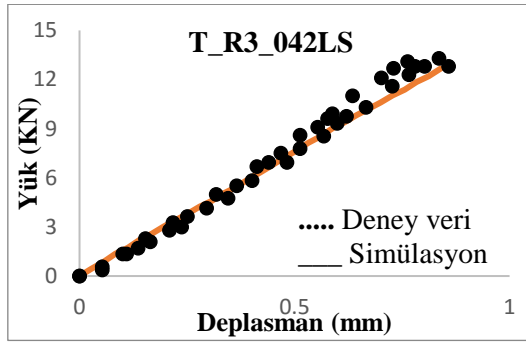
Su-çimento oranı 0,42 LS numuneler için yük-deplasman grafiklerin karşılaştırılması aşağıdaki gibi şekil 3.32’de verilmektedir.



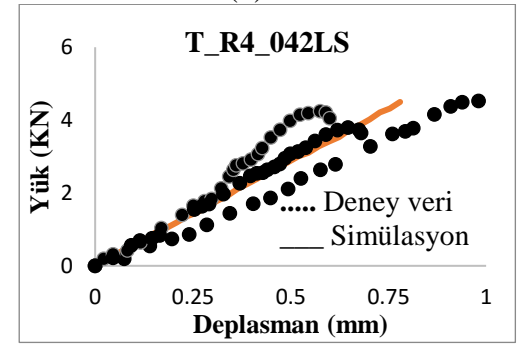
(a)



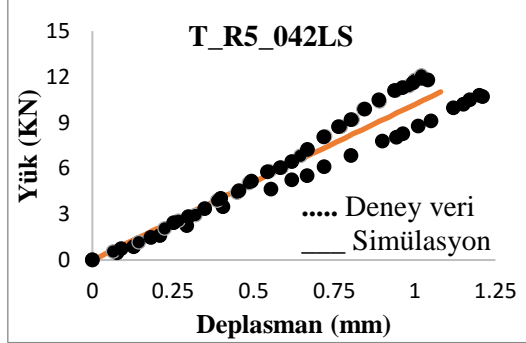
(b)



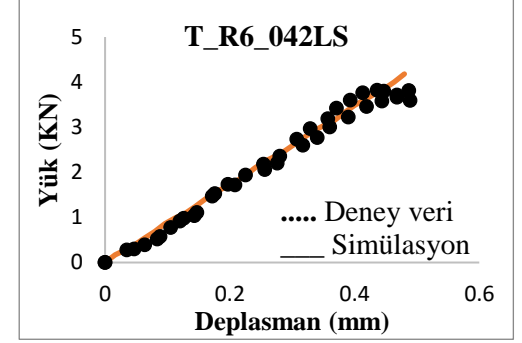
(c)



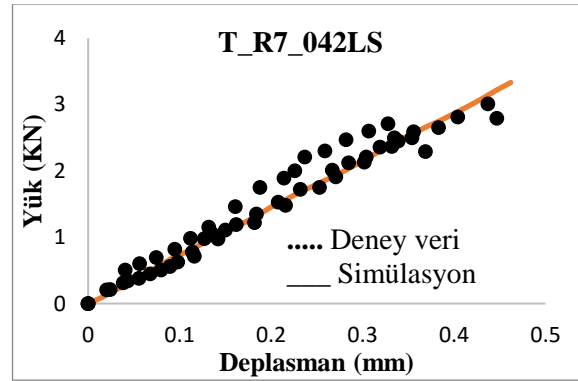
(d)



(e)



(f)

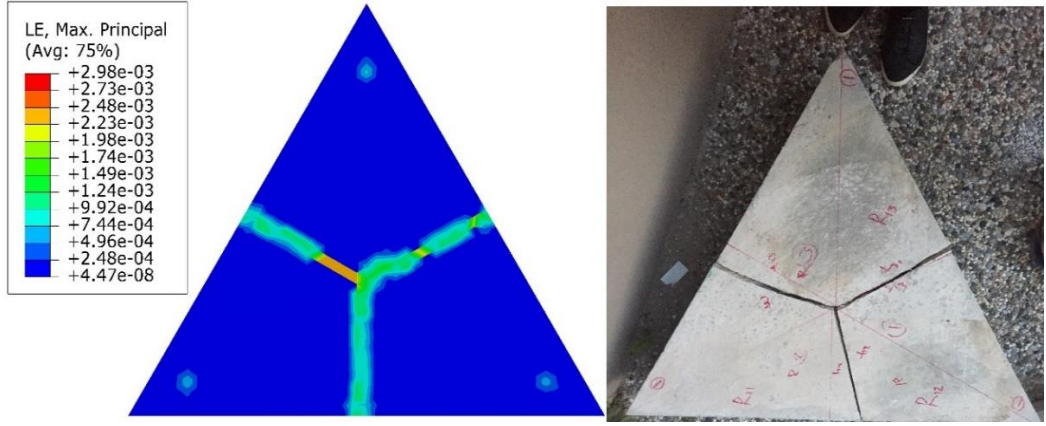


(g)

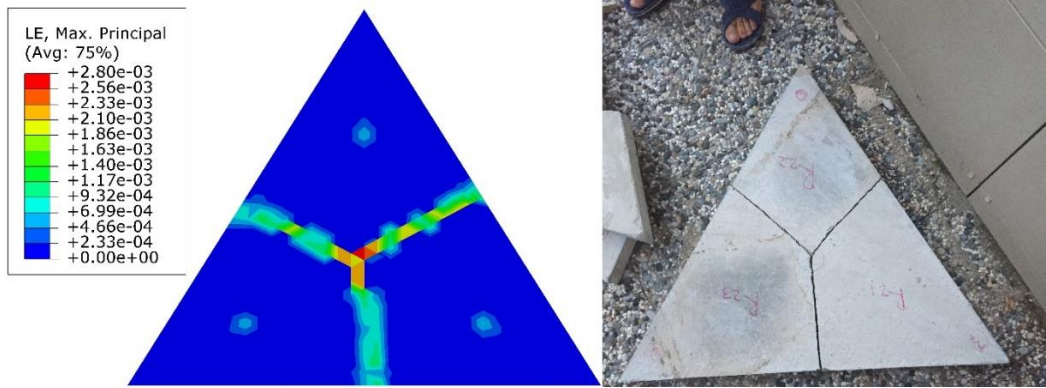
Şekil 3.32. Su-çimento oranı 0,42 lifsiz deney numuneler için M7 modelini kullanarak, (a) R1, (b) R2, (c) R3, (d) R4, (e) R5, (f) R6 ve (g) R7 numunelerin yük-deplasman grafiklerinin karşılaştırılması.

Çizelge 3.21. Çeşitli Boyutlarda 042LS Sonlu Elemanlar Modellerinin Detayları

Numuneler	Boyutlar		Eleman sayısı	Nod
	L	T		
R1	1050	75	18448	4176
R2	875	62.5	8381	2023
R3	700	50	11003	2620
R4	700	30	7189	1941
R5	420	50	9019	2039
R6	420	30	6213	1544
R7	350	25	5750	1441

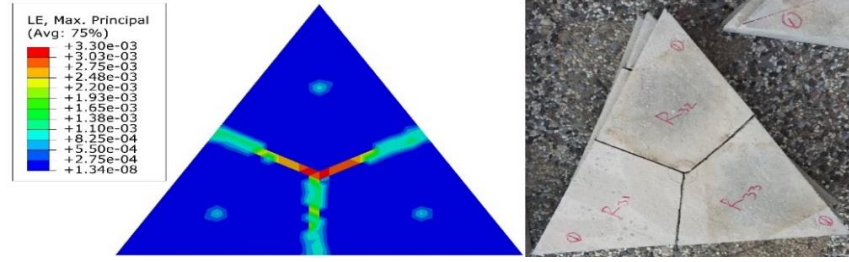


(a)

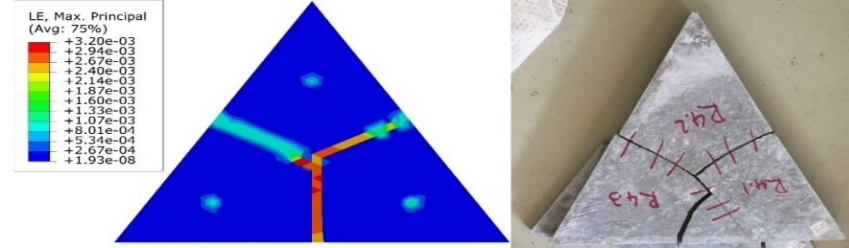


(b)

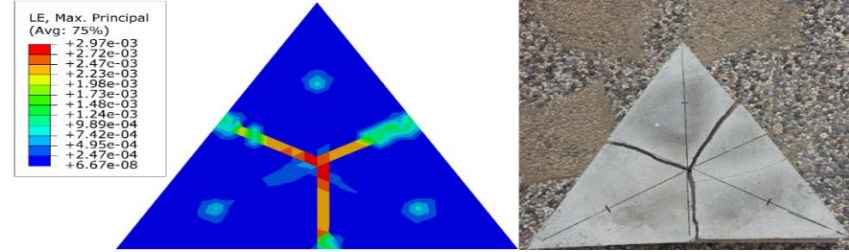
Şekil 3.33. Su-çimento oranı 0,42LS (a) R1 ve (b) R2 numunelerin kırılma sonrasındaki deneysel ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması.



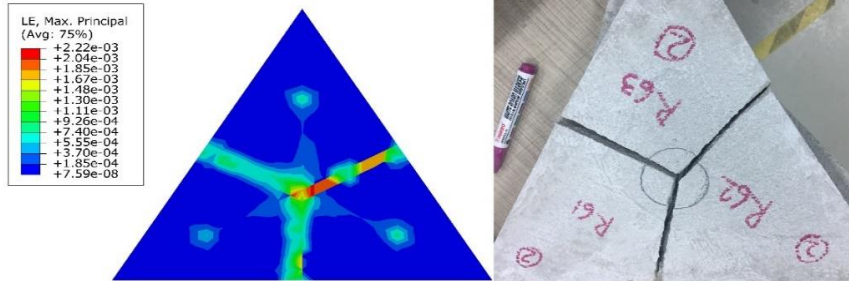
(c)



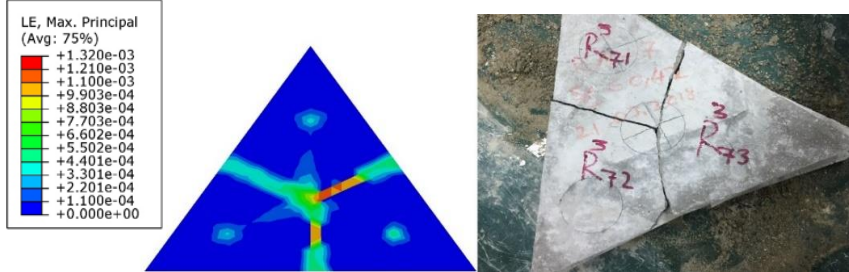
(d)



(e)



(f)

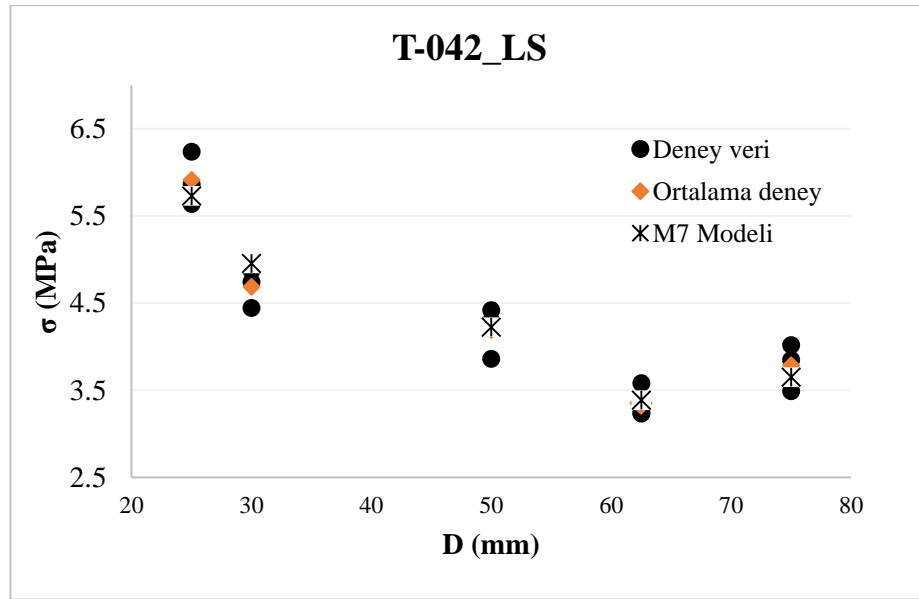


(g)

Şekil 3.34. Su-çimento oranı 0,42LS olan karışımın (c) R3, (d) R4, (e) R5, (f) R6 ve (g) R7 nolu numunelerin kırılma sonrasındaki deneysel ve sayısal sonuçların karşılaştırılması.

M7 tahminleri, deney verilerinin ortalama değerleri ile oldukça uyumludur. Dayanım değerleri D boyutuna karşı çizilmektedir ve Şekil 3.35'te gsterildiği gibi deney sonuçlarıyla karşılaştırılmaktadır. Burada gsterilen grafikte, ayrı ayrı deneylerden elde edilen dayanım değerleri yuvarlak noktalarla ve bunların ortalamaları ise dörtgen noktalarla ve M7 tahmini de çarpılarla gsterilmektedir. Tahmin edilen tek eksenli gerilme dayanımı değerleri, deneydeki ortalama gerilme dayanım değerleri ile iyi bir uyumdadır. Küçük plakanın tahmin edilen tek eksenli dayanımı, deneysel ortalama değerden biraz daha yüksektir.

Şekil 3.35'te gsterilen karşılaştırmada veri noktalarının eklenmesiyle, tip I boyut etkisinin olduğu açıkça gsteriliyor (Bazant ve Planas 1998). Ayrıca deneysel ve sayısal sonuçlarının değerlerinin maksimum yükleri ve gerilmeleri Çizelge 3.22'de verilmektedir.



Şekil 3.35. Su-çimento oranı 042LS numunelerde karakteristik boyuta bağlı deneysel ve nümerik sonuçlarda boyut etkisi eğrilerin karşılaştırılması

Çizelge 3.22. Su-çimento oranı 042LS deneysel ve sayısal sonuçların ortalama yük ve gerilmelerin karşılaştırılması

Numuneler	Boyutlar		Deneysel		Sayısal	
	L	t	yük Pu (KN)	Gerilme (MPa)	yük Pu (KN)	Gerilme (MPa)
R1	1050	75	21.681	3.956	25.720	4.021
R2	875	62.5	14.025	4.113	11.357	4.162
R3	700	50	11.77	4.438	13.093	4.551
R6	420	30	3.838	4.75	3.955	4.645
R7	350	25	2.755	4.986	4.684	4.896

Çizelge 3.22’de verilen deneysel ve Simülasyon sonuçlarından t/r oranı değişken olan R4 ve R5 nolu numuneler karakteristik boyuta bağlı iki eksenli gerilme karşılaştırılmasında dikkat’a alınmamıştır.

4.3.1. 0,62 Su-çimento oranına sahip lifsiz üçgen plaka numunelerin simülasyonu

Su-çimento oranı 0,62 lif içermeyen karışım için de 0,42 lif içermeyen numuneler gibi sonlu elemanlar analizleri sırasında; deney numuneleri elastik davranış gösterdiğinden lineer elastik olarak simüle edilip yük-deplasman grafikleri karşılaştırıldı. Ancak kırılma şekilleri 0,42 lifsiz numunelere benzer sonuç verdiği için burada sadece yük-deplasman grafikleri gösterildi.

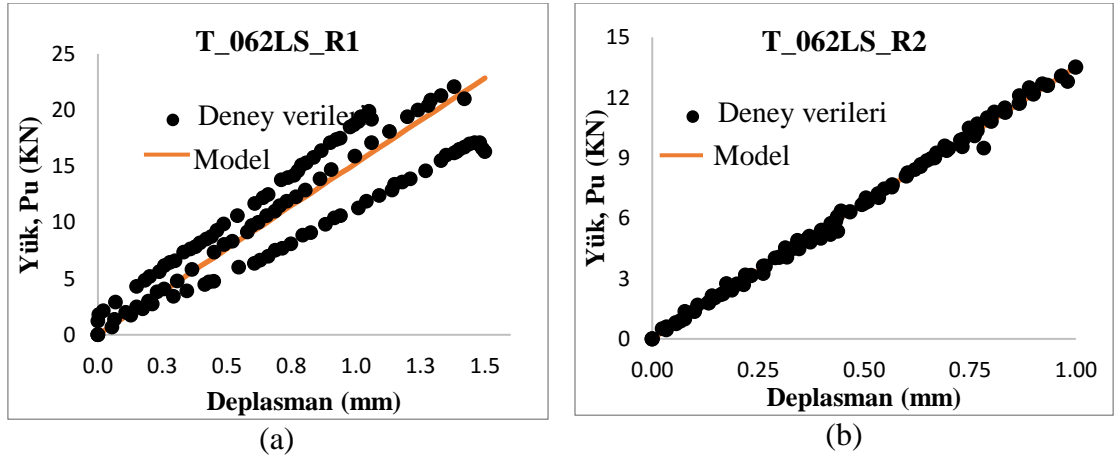
Su-çimento oranı 0,62 olan lifsiz numuneler için elastik analizleri sırasında ortalama olarak 13500 MPa Elastisite modülü (E), 0,13 Poison oranı(ν) ve normal betonlar için $2,4E^{-9}$ alınan yoğunluk kullanarak yapılan sayısal analizleri deney sonuçları ile doğrulandı.

Mikro düzlem M7 modeli kullanıldığında, küp basınç deneyinden elde edilen 28 günlük numunenin basınç dayanımı(f_c), 55MPa ve basınç için kullanılan elastik parametreleri Çizelge 3.23’te verilmektedir. Diğer tüm ayarlanabilir mikro düzlem parametreleri varsayılan değerlerde alındı (Caner ve Bazant 2013).

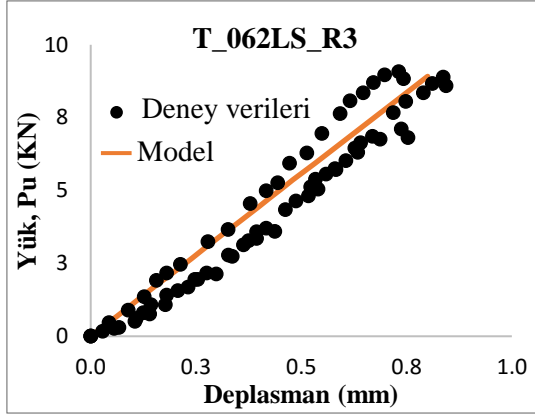
Çizelge 3.23. 0,62 su-çimento oranına sahip numune modelleri için Mikrodüzlem M7 Modelinin Elastik Malzeme Sabitleri ve Parametreleri

Malzeme parametreleri (birim)	Değer
Elastisite modülü E (MPa) (ortalama)	13500
Poison oranı, ν	0,13
Basınç dayanımı, f_c (28 günlük) (MPa)	55
Yoğunluk (kg/m ³)	2,400
Radyal ölçeklendirme parametresi k1	30 E-6
k2	100
k3	11
k4	100
k5	1
k6	1X10e-4
k7	1,8
C4	78,80
d1	1,1

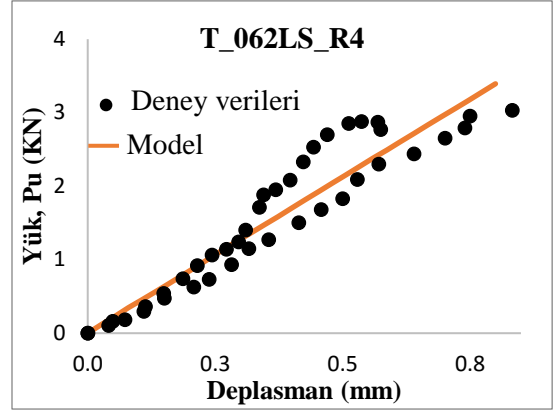
Su-çimento oranı 0,62 LS numuneler için sonlu elemanlar analizlerin detayları 0,42 LS numunelerle aynı (bkz. Çizelge 3.21) ve yük-deplasman grafiklerin karşılaştırılması aşağıdaki gibi şekil 3.36-3.37’de verilmektedir.



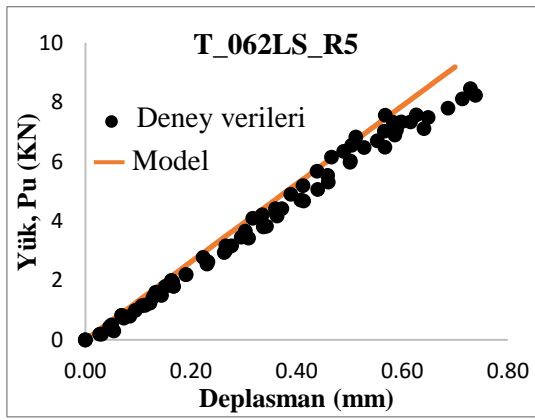
Şekil 3.36. Su-çimento oranı 0,42 lifsiz deney numuneler için M7 modelini kullanarak, (a) R1 ve (b) R2 numunelerin yük-deplasman grafiklerinin karşılaştırılması.



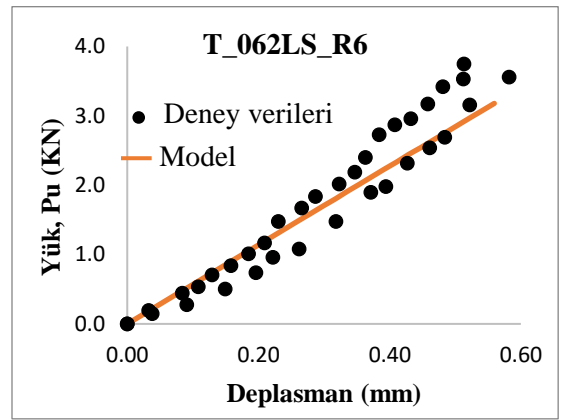
(c)



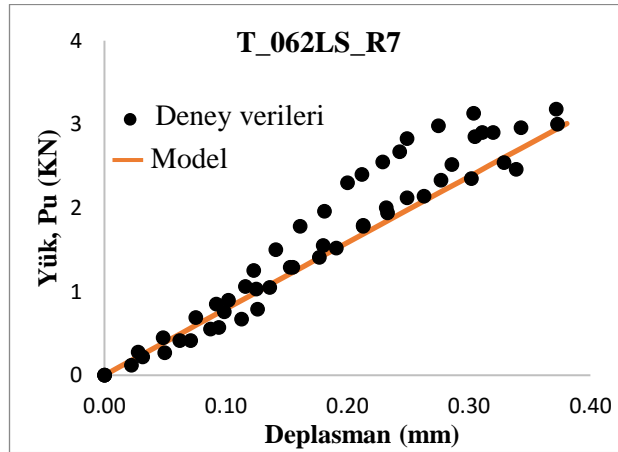
(d)



(e)



(f)

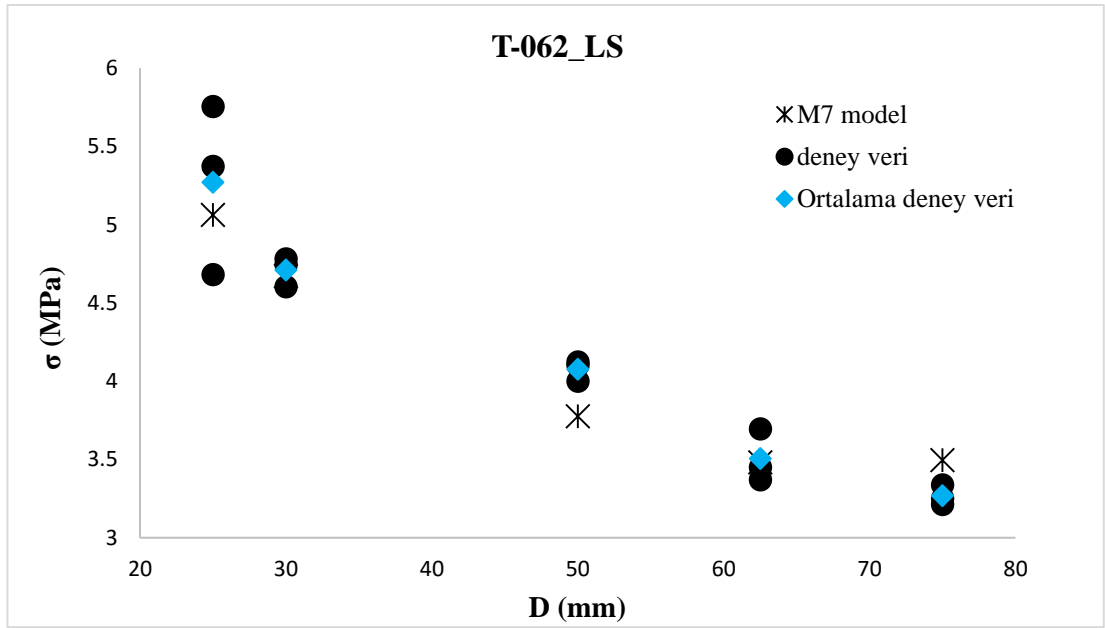


(g)

Şekil 3. 37. Su-çimento oranı 0,42 lifsiz deney numuneler için M7 modelini kullanarak, (c) R3, (d) R4, (e) R5, (f) R6 ve (g) R7 numunelerinin yük-deplasman grafiklerinin karşılaştırılması.

Çizelge 3.24. Su-çimento oranı 0,62LS numunelerde deneysel ve nümerik sonuçların ortalama yük ve gerilmelerin karşılaştırılması

Numuneler	Boyutlar		Deneysel		Nümerik	
	L	T	Yük (KN)	Gerilme (MPa)	Yük (KN)	Gerilme (MPa)
R1	1050	75	15,92	3,27	17,03	3,50
R2	875	62,5	11,86	3,51	11,78	3,48
R3	700	50	8,83	4,08	8,18	3,78
R6	420	30	3,67	4,71	3,64	4,67
R7	350	25	2,85	5,27	2,74	5,06



Şekil 3.38. Su-çimento oranı 0,62LS numunelerde karakteristik boyuta bağlı deneysel ve nümerik sonuçlarda boyut etkisi eğrilerin karşılaştırılması

Şekil 3.38’de görüldüğü üzere lif içermeyen 0,62 su-çimento oranına sahip numunelerde boyut etkisi mevcuttur, ayrıca M7 modelini kullanarak yapılan tahminlerle deneysel ve sayısal karşılaştırma oldukça uyumlu olduğu görülmektedir.

4.3.2. 0,42 Su-çimento oranına sahip lifli üçgen plaka numunelerin simülasyonu

Liflerin betona eklenmesi, betonun çatlama sonrası davranışını geliştirir ve beton numunenin enerji emme kapasitesini artırır. Çelik lifler beton matrisini tutar ve böylece yüklemeye altındaki beton için düzlem dışı doğrultuda pasif bir kısıtlamaya neden olur (Marti 1989). Çift eksenli basınç altındaki çelik liften kaynaklanan kısıtlama, üç eksenli

yüklemeye altındaki düz betona benzer (Hoover ve Bazant 2013, İnce 2013, Mallat ve Alliche 2011, Neville 2011). Bu nedenle, Çelik Lif Takviyeli Beton (ÇLTB)'un çift eksenli dayanımı genellikle lifsiz betonun çift eksenli dayanımından daha büyüktür. Neville 2011 'e göre, ÇLTB'nun çift eksenli dayanımı, lif hacim oranı, lif yapışma ve tutma dayanımı, lif en-boy oranı ve beton dayanımı gibi çeşitli faktörlerden etkilenir. Liflerin döküm yönüne bağlı olarak uyum sağlaması aynı zamanda numunelerin çift eksenli dayanımını da etkiler (İnce 2012). (Chen ve ark. 2018) İki eksenli basınç dayanımının sadece tek eksenli beton basınç dayanımına değil, kırılma tokluğuna da bağlı olduğunu ileri sürmüşlerdir. (İnce 2012, Mallat ve Alliche 2011, Muzyka 2002); Çelik lifinin hacim payını artırarak, betonun son iki eksenli dayanımını arttırılabileceğini bildirmişlerdir. Tan ve arkadaşları ayrıca, artan en boy oranının, çift eksenli basınç dayanımını ve hasar şekil değiştirmesini iyileştirebileceğini, ancak etki lif hacmi oranından etkilenen etki kadar önemli olmadığını bildirmişlerdir. Yin ve arkadaşları betona lif ilavesinin beton numunesini güçlendirdiği ve çekme gerilme çatlaklarının ilerlemesini önlediği ve bunun, hasar modunu yarma çekme hasarından kesme hasar tipine değiştirdiğini ileri sürmüşlerdir. Bu lifin dahil edilmesinin beton numuneleri gevrek davranışlardan sünek davranışlara getirebileceğini göstermektedir (Muzyka 2002, Hoover ve Bazant 2013).

Betonun çift eksenli çekme altındaki davranışı tek eksenli çekmeye benzer ve gerilme oranına bağlı değildir (Konkov 2007, Yazıcı 2010, Kozak 2013). Ancak, Hüseyin ve Marzouk'e göre, iki eksenli çekme gerilme oranı yukarıda belirtilen diğer araştırmacılardan farklı olarak 1'e eşit alındığında, betonun çift eksenli çekme dayanımında küçük bir artış meydana gelmektedir. Ancak, Hüseyin ve Marzouk, aradaki farkın önemli olmadığını ve doğru ve kesin bir doğrulama için gerekli olmadığını belirtmişlerdir. Beton çift eksenli çekme gerilmesi altında hasar gördüğünde, belirgin çekme gerilmesi çatlağı genellikle en büyük gerilme ile yüklemeye yönüne dik konumda meydana gelir (Yazıcı 2007). Lee ve arkadaşları sonucu daha önce belirtilen durumdan farklı olarak elde etmişlerdir.

Mikro düzlem modeli parametreleri, numunenin ortalama cevabına uyacak şekilde bazı önemli ve kritik parametreler ayarlandı, diğer tüm ayarlanabilir mikrodüzlem parametreleri varsayılan değerlerinde alındı (Caner ve Bazant 2013).

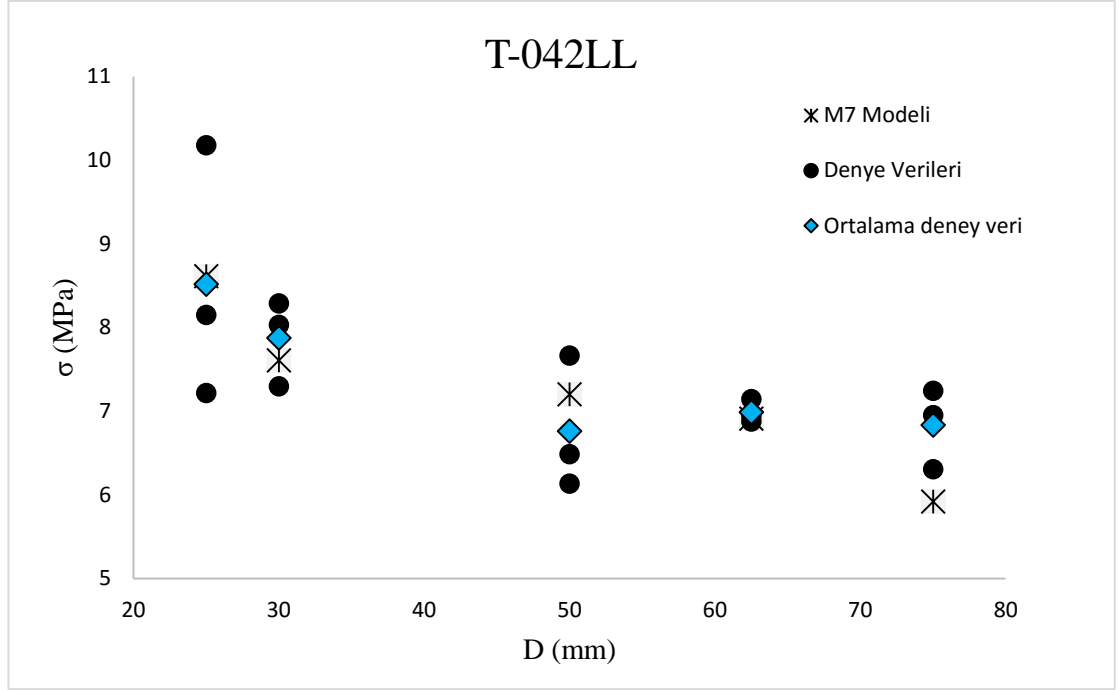
Çizelge 3.25. Su-çimento oranı 042LL numuneler için M7 modelin elastik parametreleri

Malzeme parametreleri (birim)	Değer
Elastisite modülü E (MPa) (Ortalama)	27650
Poison oranı	0.18
Basınç gerilmesi, f_c (MPa)	91
Yoğunluk (kg/m ³)	2,400
Radyal ölçeklendirme parametresi k1	50 E-6
k2	110
k3	5
k4	100
k5	1
k6	1X10e-4
k7	1.8
C4	78,677
d1	1.1
Vf	0.01

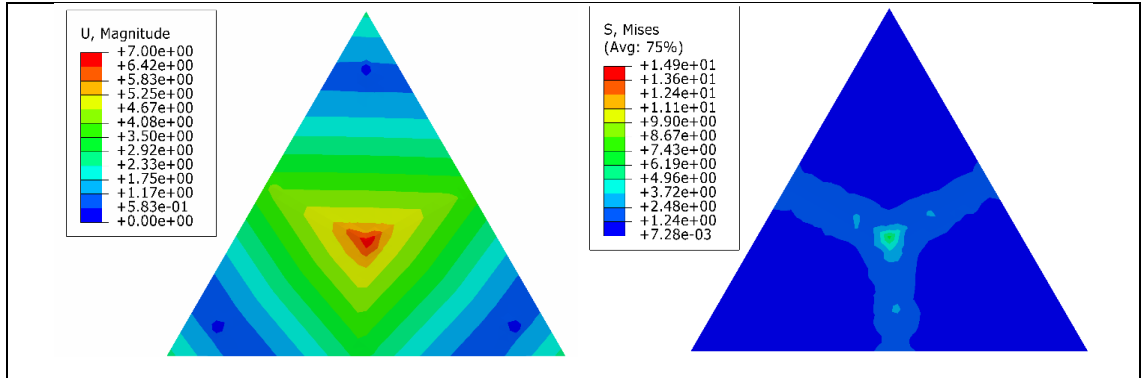
Çizelge 3.26. Su-çimento oranı 0,42LL numunelerde deneysel ve sayısal sonuçların ortalama yük ve gerilmelerin karşılaştırılması

Numuneler	Boyutlar		Deneysel		Sayısal	
	L	T	Yük (KN)	Gerilme (MPa)	Yük (KN)	Gerilme (MPa)
R1	1050	75	21.681	3.956	33.364	5.921
R2	875	62.5	14.025	4.113	23.457	6.912
R3	700	50	11.77	4.438	14.708	7.201
R4	700	30	4.223	4.808	6.509	8.011
R5	420	50	11.657	4.941	14.792	7.101
R6	420	30	3.838	4.75	6.666	7.606
R7	350	25	2.755	4.986	4.562	8.612

Çizelge 3.26’fe verilen 0,42LL numunelerin deneysel ve sonlu elemanlar sonuçlarından t/r oranı değişken olan R4 ve R5 nolu numuneler karakteristik boyuta bağlı iki eksenli gerilme karşılaştırılmasında dikkat’a alınmamıştır.

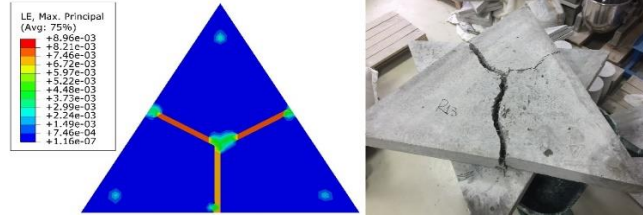


Şekil 3.39. Su-çimento oranı 042LL numunelerde karakteristik boyuta bağlı deneysel ve analitik göçme gerilmelerin karşılaştırılması

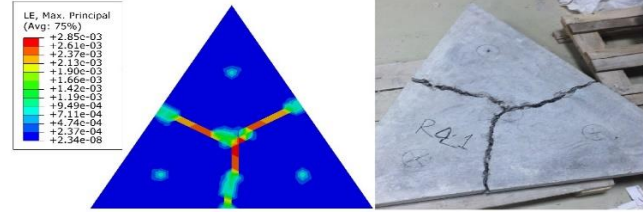


Şekile 3.40. su-çimento oranı 042LL, R1 numunenin deplasman (U) ve gerilmenin (S) Simülasyon sonuçları

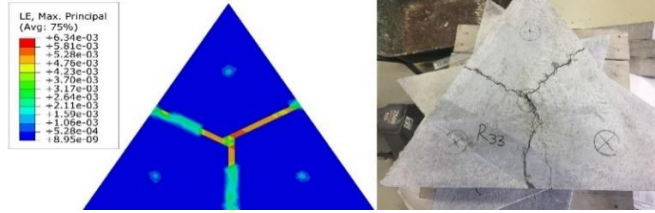
Tüm numunelerde deplasman değerleri aynı ve kırılma çatlakları da aynı oluşmaktadır. Dolayısıyla sadece bir numune örnek olarak gösterildi. Ve numunelerin kırılma şekillerinin karşılaştırılması da Şekil 3.41’de verilmektedir.



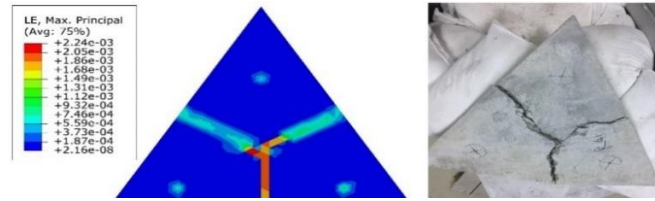
(a)



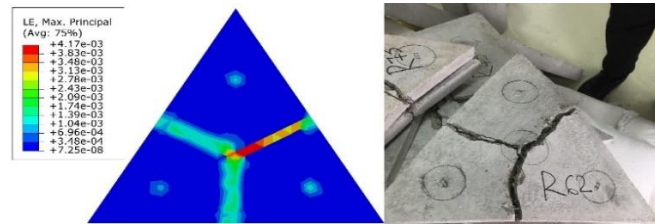
(b)



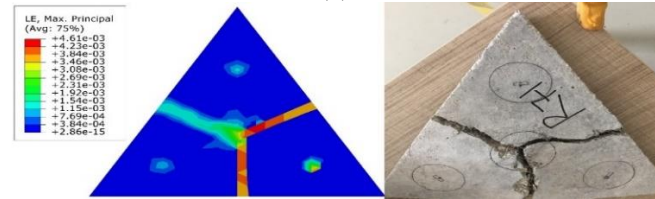
(c)



(d)



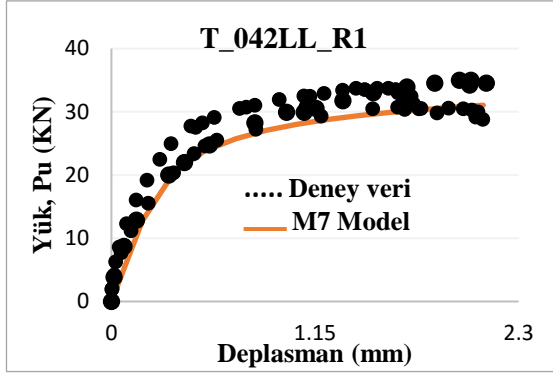
(e)



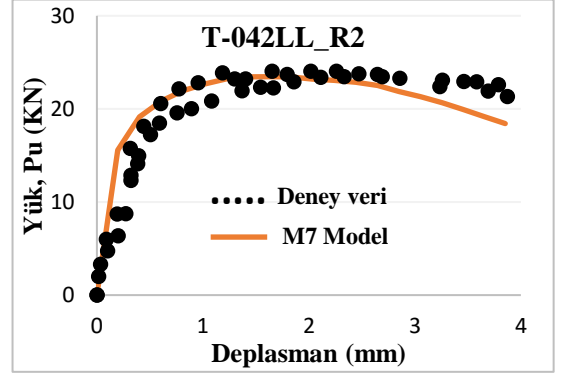
(f)

(g)

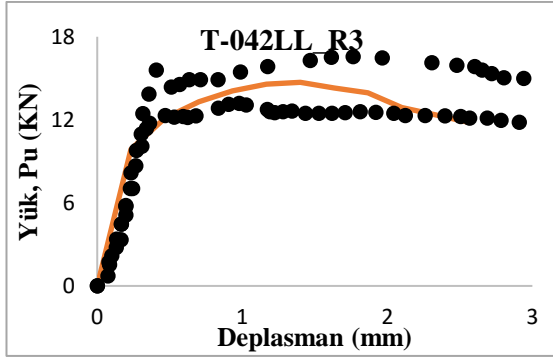
Şekil 3.41. Su-çimento oranı 042LL (a) R1, (b) R2, (c) R3, (d) R4, (e) R5, (f) R6 ve (g) R7 numunelerin kırılma sonrasındaki deneysel ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması.



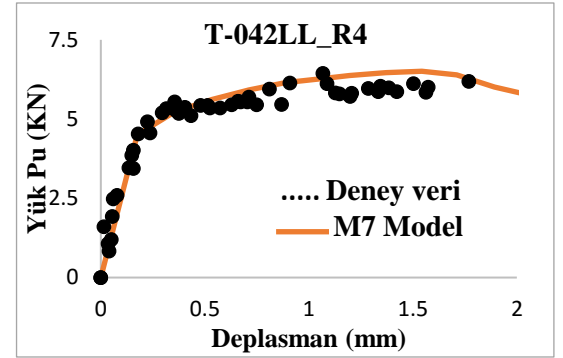
(a)



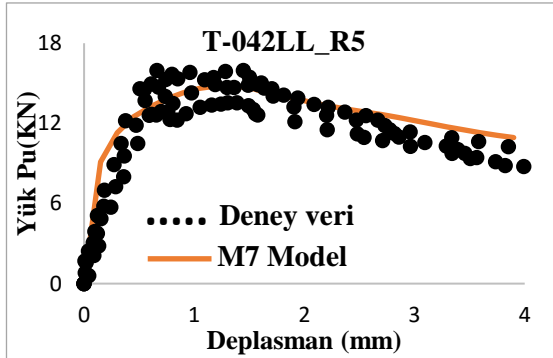
(b)



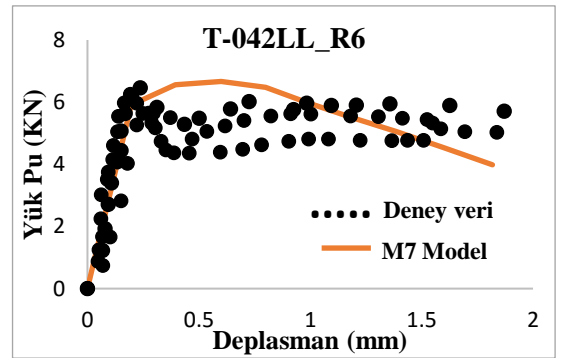
(c)



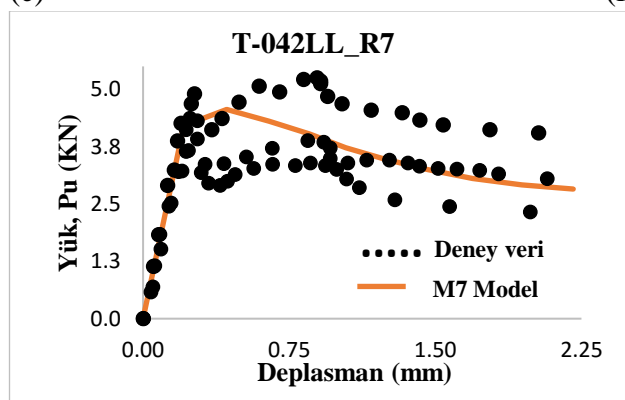
(d)



(e)



(f)



(g)

Şekil 3.42. Su-çimento oranı 042LL, (a) R1, (b) R2, (c) R3, (d) R4, (e) R5, (f) R6 ve (g) R7 numunelerin deneysel ve simülasyon sonuçlarının yük-deplasman grafiklerinin karşılaştırılması

5. SONUÇ

Bir beton panelin çift eksenli eğilme dayanımı üzerindeki boyut etkisi, M7 mikrodüzlem modeli kullanılarak üçgen plaka testleri simüle edilip sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmanın sonucu olarak deneysel çalışmanın ve sonlu elemanlar analizi gösterdi ki;

- Kırılma, her iki panelin alt yüzeyinin ortasındaki maksimum gerilme yüzeyinde başlamaktadır,
- Panellerin kırılma şekilleri gerek disk gereks üçgen plaka test numunelerinde benzerdir ve kırılma, maksimum asal şekil değiştirme meydana geldiği yerlerde başlamaktadır,
- Çatlaklar genellikle destek pivotları ile test panelinin merkezi arasında gelişir ve bu da deney sonucuyla çakışan bir hasar durumunda numunenin üç parçaya ayrılmasına neden olur.
- İki eksenli çekme dayanımı üzerindeki boyut etkisinin; lif içeren ve içermeyen karışımlar için de tahmin edilmiş olmasına rağmen, lifli beton numuneler düz beton numunelerden daha güçlü boyut etkisi göstermektedir.
- Her iki test paneli disk ve üçgen simülasyonundan elde edilen M7 tahminleri, deneysel numunelerin ortalama değerleri ile ve gözlemlenen kırılma davranışları ile oldukça iyi eşleşmektedir.
- Bu sonuçlar, mikro düzlem malzeme modelinin, test edilen numunelerin esas ve kırılma davranışının gerçekçi tahminlerini elde etmek için betonun sonlu elemanlar analizleri için uygun olan teorik bir temel model olduğunu göstermektedir.
- Literatür sonucunda Bazant'ın Tip I boyut etkisi yasası deney sonuçlarını göstermede yeterli yaklaşım olarak kullanılabilir.
- ÜP numunelerde beklenen net boyut etkisi sonucu görülmüştür.
- Lifli olarak simüle edilen modeller deneyselde de olduğu gibi plaka kalınlığı arttığında göçme yüklerde artış, gerilmelerde ise azalma meydana gelmiştir ve daha net ve daha yüksek boyut etkisi görülmüştür.
- Mikro düzlem M7 malzeme modeli diğer malzeme modellerine göre daha pratik ve daha güvenilir olduğunu göstermiştir. Ve lifli betonlar için kullanılabilir olması önemli avantajlarından.

Bu çalışmanın hem deneysel hem de analizler sırasında karşımıza bir takım problemler çıkmıştır. Bundan sonraki çalışmalarda özellikle ÜP numuneler, boyut etkisi ve beton yapıların boyut etkisi konusunda dikkat edilmesi gerekenler şunlardır:

- Numuneler fazla ağır ve büyük tasarlanmaması önerilir. Çünkü deney sırasında taşıma ve yerleştirme esnasında istenildiği gibi korunamaz ve numuneler zarar görebilir ve sayısal aşamasında da analiz süresi uzamaktadır.
- Deney numunelerin kalıpları sehim ve deplasman yapılmayan sert ve rijit bir malzemedan yapılması önerilir.
- Betonlar için önerilen mikro düzlem M7 (Microplane M7) malzeme modelinin diğer malzeme modellerine göre daha pratik ve daha güvenilir olduğundan özellikle lifli betonlarda kullanılmasını önerilir.

KAYNAKLAR

- Abaqus. 2017** Abaqus/Explicit User's Manual, Abaqus Version 6.17, Ds Simulia <http://abaqus.software.polimi.it/v6.14/books/bmk/default.htm>.
- Bayqra, S. H. 2018.** Numune Şekli Ve Boyutunun Lif İçeren Ve İçermeyen Beton Karışımlarının Dayanımına Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, BUÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bursa.
- Bazant, Z. P., Caner, F. C., Carol, I., Adley, M. D., Akers, S. A. 2000.** Microplane model M4 for concrete I: Formulation with work-conjugate deviatoric stress. *Journal of Engineering Mechanics*, 126(9): 944–953. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9399\(2000\)126:9\(944\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(2000)126:9(944))
- Bazant, Z. P. 2000.** Size Effect, *International Journal of Solids and Structures*, 37: 69–80. <https://doi.org/10.1002/9781118846780.ch14>
- Bazant 1991,** Size effect in Brazilian split-cylinder tests. Measurements and fracture analysis, *ACI Materials Journal* , (3): 325-332, <https://www.scholars.northwestern.edu/en/publications/size-effect-in-brazilian-split-cylinder-tests-measurements-and-fr>
- Caner, F. C., Bazant, Z. P., Hoover, C. G., Waas, A. M., Shahwan, K. W. 2011.** Microplane model for fracturing damage of triaxially braided fiber-polymer composites. *Journal of Engineering Materials and Technology*, Transactions of the ASME, 133(2): 021024–12. <https://doi.org/10.1115/1.4003102>
- Carmona, S. 2009.** Efecto del tamaño de la probeta y condiciones de carga en el ensayo de tracción indirecta. *Materiales de Construcción*, 59(294): 7–18. <https://doi.org/10.3989/mc.2009.43307>
- Chen, X., Wu, S., Zhou, J. 2013.** Analysis of mechanical properties of concrete cores using statistical approach. *Magazine of Concrete Research*, 65(24): 1463–1471. <https://doi.org/10.1680/macr.13.00113>
- Comprehensive concrete fracture tests, 2013,** Size effects of Types 1 & 2, crack length effect and postpeak. *Engineering Fracture Mechanics*, 110: 281–289. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2013.008>
- Dabbagh, H., Nosoudi, A., Doost, H. M. 2017.** Linear Numerical Stress Analysis of Concrete Specimens under Different Direct Tension Test Setups, *Journal of stress analysis* , 1(2):1–12.
- Ewelina SYROKA-KOROL, J. T. b 2012.** Numerical studies on size effects in concrete beams, *Architecture Civil engineering enviroment*, 2: 67–78.
- Ferhun C. Caner, A. Abdullah Dönmez, Sıddık, S şener, V. K. 2018.** Double cantilever indirect tension testing for fracture of quasibrittle materials, *International Journal of Solids and Structures*, 13(xxxx): <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2018.11.029>
- Ferhun C. Caner And Zdeneĳk P. Bazant 2000.** Microplane Model M4 For Concrete. *II: Algorithm And Calibration.* , 126(12): 954–961.
- Hoover, C. G. , Bazant, Z. P. 2013,** Comprehensive concrete fracture tests: size effects of Types 1 & 2, crack length effect and post peak. *Engineering Fracture Mechanics*, 110: 281-289.
- İnce, R. 2012.** Determination of the fracture parameters of the double-k model using weigth functions of split-tension specimens. *Engineering Fracture Mechanics*, 96: 416-432.
- İnce, R. 2012,** Determination of concrete fracture parameters based on peak-load method with diagonal split-tension cubes. *Engineering Fracture Mechanics*, 80: 100-114.
- Kim, J., Yi, C., Zi, G. 2012.** Biaxial flexural strength of concrete by two different methods. *Magazine of Concrete Research*, 64(12):, 1057–1065.

<https://doi.org/10.1680/mac.11.00178>

Kirane, K., Bažant, Z. P. 2015. Microplane damage model for fatigue of quasibrittle materials: Sub-critical crack growth, lifetime and residual strength. *International Journal of Fatigue*, 70:, 93–105. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2014.08.012>

Kennedy, G., Goodchild, CH. 2004. Practical Yield Line Design. *Concrete Centre*, Surrey, UK.

Kozak, M. 2003. Çelik lifli betonlar ve kullanım alanlarının araştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Bilimler Dergisi*, 3(5): 26-35.

Kankov, V. 2007, Çelik kılıflı beton kolonlarda boyut etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üni Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

Kupfer, H., Hubert, KH., Hubert, R. 1969. Behavior of Concrete Under Biaxial Stresses. *ACI J*, 66(8): 656– 66.

Kwan AKH, Zheng W and Lee PKK (2001), Elastic modulus of normal- and high-strength concrete in Hong Kong, *Transactions of Hong Kong Institution of Engineers*, 8(2): 10-15.

Mallat, A., Alliche, A. 2011, A Modified Tensile Test to Study the Behaviour of Cementitious Materials. *Strain An International Journal for Experimental Mechanics*, 47: 499–504.

Marti, P. 1989. Size Effect in Double-Punch test on concrete cylinders, *ACI Materials Journal*, 86: 597- 601.

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: 206-212.

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.

Mirkheel, H. 2018. Lifli Betonlardaki Boyut Etkisinin Deneysel Ve Anal İtik Yöntemler İle Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, BUÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa.

Neville, A. M. 2011. Properties of Concrete 5th Edition. Pearson Education Limited, England, 169-174.

Özcan, D. M., N, A. Ş. A. H. İ., Bayraktar, A., Türker, T. Çelik Lif ile Güçlendirilmi Betonarme Kirişlerin Sonlu Eleman Yöntemiyle Modellenmesi , 1–6.

Tang, T., Shah, S. P., Ouyang, C. 2007. Fracture Mechanics and Size Effect of Concrete in Tension. *Journal of Structural Engineering*, 118(11):, 3169–3185. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(1992\)118:11\(3169\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(1992)118:11(3169))

Türker, H. T. 2015. ÇİMENTO Esaslı Malzemelerin Çekme Dayanımlarını Bulabilmek için Yeni Bir Yöntem Önerisi: Üçgen Plaka Yöntemi. Gazi Üniversitesi *Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(4): 693–699. <https://doi.org/10.17341/gummfd.02170>

Yazıcı, Ş. 2017, Çelik lif boyu ve kullanım oranının çelik lifli betonun özelliklerine etkisi, *5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science*, ISITES2017 Baku - Azerbaijan 29-30.

Zhou, J., Qian, P., Chen, X. 2014. Stress-Strain Behavior of Cementitious Materials with Different Sizes. *The Scientific World Journal*, 2014: 1–11. <https://doi.org/10.1155/2014/919154>

Zi, G., Kim, J., Bažant, Z. P. 2014. Size effect on biaxial flexural strength of concrete. *ACI Materials Journal*, 111(3): 319–326. <https://doi.org/10.14359/51686576>

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.

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.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Faiz Agha SHAREEF
Doğum Yeri ve Tarihi : Kapisa- Afganistan_05_05_1993
Yabancı Dil : Farsça*, Türkçe, İngilizce, Arapça, Peştuca

Eğitim Durumu
Lise : Ghazi Mir Masjidi Lisesi, 2011/Kapisa, Afganistan
Lisans : Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2017 /Adana, Türkiye

Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat
Mühendisliği Bölümü, 2019 / Bursa, Türkiye

Çalıştığı Kurumlar : UN(Birleşmiş Milletler), 1 ay, 2013/ Bursa, Türkiye
Ertürkmen İnşaatı, 1 yıl, 2017/ Adana, Türkiye
Bursa İl Göç İdaresi, 8 ay(01 Mart-30 Kasım) 2019/ Bursa,
Türkiye

İletişim
E-posta : faizaghashareef@yahoo.com
Tel. : Türkiye: 0507868962, Afganistan: +93 798847518

Yayımları :

Shreef, F., Deliktaş, B., Türker, H. T. 2019. Determination of the Size Effect on Tensile Strength of Fibrous Concrete by Traingle Plate Test Method, “*TUMTMK 21. Ulusal Mekanik Kongresi Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi*”, 526-534.

Deliktaş, B., Türker, H.T., Shareef, F., Caner, F.C. 2019. Investigating Size Effect on Tensile Strength of Fiber Reinforced Concrete by Simulating Triangle Plate Test. *23th International conferans on computer methods in mechanics, PCM-CMM*, 8-12 September, 526-MS04-MHB, Kraków, Poland.

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
TEZ ÇOĞALTMA VE ELEKTRONİK YAYIMLAMA İZİN FORMU

Yazar Adı Soyadı	Faiz Agha SHAREEF
Tez Adı	Lifli Betonun Çekme Dayanımını Belirlemek İçin Önerilen Üçgen Plaka Deneyini Sayısal Modelleme Ve Analizleri Numerical Modeling And Analyses Of The Triangle Plate Method Proposed To Determine The Tensile Strength Of Fiber Reinforced Concrete
Enstitü	Fenbilimleri
Anabilim Dalı	İnşaat Mühendisliği
Tez Türü	Yüksek Lisans Tezi
Tez Danışman(lar)ı	Prof. Dr. Babür Deliktaş
Çoğaltma (Fotokopi Çekim) izni	<input checked="" type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input type="checkbox"/> Tezimin sadece içindekiler, özet, kaynakça ve içeriğinin % 10 bölümünün fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin vermiyorum
Yayımlama izni	<input checked="" type="checkbox"/> Tezimin elektronik ortamda yayımlanmasına izin veriyorum

Hazırlamış olduğum tezimin belirttiğim hususlar dikkate alınarak, fikri mülkiyet haklarım saklı kalmak üzere Bursa Uludağ Üniversitesi Kütüphane ve Dokümantasyon Daire Başkanlığı tarafından hizmete sunulmasına izin verdiğimi beyan ederim.

Tarih : 28/10/2019

İmza :

