



**T.C.
KTO KARATAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**ATIK BETON AGREGASI İLE ÜRETİLEN MAKRO LİFLİ BETONLARDA
ADERANSIN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

ESRA TOLU

**KONYA
Haziran-2018**

Fen Bilimleri Enstitü Onayı



Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Hüseyin Bekir YILDIZ
KTO Karatay Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Md.

Bu tezli yüksek lisans tezinin yapılması gereken bütün gerekliliklerinin yerine getirdiğini onaylıyorum.



Prof. Dr. Atilla ÖZÜTOK
KTO Karatay Üniversitesi
Anabilim Dalı Başkanı
Mühendislik Fakültesi
İnş. Müh. Böl. Öğr. Üyesi

Esra TOLU tarafından hazırlanan ATIK BETON AGREGASI İLE ÜRETİLEN MAKRO LİFLİ BETONLAR'DA, ADERANSIN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ başlıklı bu çalışma 26.06.2018 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jüri tarafından tezli yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Tez Danışmanı
Dr. S. Kamil AKIN
İnşaat Yüksek Müh.

Jüri Üyeleri

Başkan: Dr. Abdulkorhan İLÇİN

Üye: Dr. S. Kamil AKIN

Üye: Dr. Öğr. Üyesi M. A. Paşalan KEROĞLU

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this seminar document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

ESRA TOLU

Haziran / 2018



ÖZET

ATIK BETON AGREGASI İLE ÜRETİLEN MAKRO LİFLİ BETONLAR'DA, ADERANSIN DENEYSSEL OLARAK İNCELENMESİ

ESRA TOLU

KTO Karatay Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi S.Kamil AKIN

Haziran 2018, 173 Sayfa

Nüfusun hızla artması, tüketim alışkanlıklarımızın değişmesi, doğal kaynaklarımızın azalmaya başlaması gibi durumlar; araştırmalarımızda geri kazanım konusunun önemini ve gerekliliğini anlatmaya, bu konuda çalışmalar yapmaya mecbur bırakmaktadır. Bu tezimizde; mümkün mertebe yapılmış çalışmaların ışığında, günceli takip ederek deneysel bir çalışma yapılmıştır. Bilindiği üzere; beton uzun zamandan beri en sık kullanılan yapı malzemesidir. Betonun kullanım alanının geniş olması araştırmacıları beton üzerinde daha çok gelişime yönlendirmiştir. Bu çalışmada; inşaat atıklarından elde edilen agregaları beton üretiminde kullanarak geri kazanımlı bir beton elde edilecektir. İlerleyen beton teknolojisi betonun zayıf özelliklerini iyileştirmeye çalışan bir çözüm olan lif donatılı betonu geliştirmiştir. Lifli betonlarda dikkat edilmesi gereken ve en çok karşılaşılan durum işlenebilirliğidir. Taze betonun işlenebilirliğini tayin etmek için, TS EN 12350-3 (Vebe Deneyi) ve TS EN 12350-2 (Slump Deneyi) uygulanmaktadır. Geri kazanım agregalardan elde edilen bu beton malzemesine lifler ekleyerek, kompozit bir malzeme olan betonun donatı ile arasındaki aderans durumu incelenecektir. Aderansı belirlemek için, Standart'larda ve halen geçerli olan sertleşmiş beton deneylerinden TS EN 12390-6 (Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini) ve TS EN 12390-5 (Deney numunelerinde eğilme dayanımının tayini) deneyleri uygulanacaktır. Bu deneyler sonucunda elde edilen bulguların, Yönetmelik'te belirlenen değerler ile uygun olup olmadığı belirlenecektir.

Anahtar kelimeler: Aderans, Atık, Agregası, Beton, Çekme Dayanımı, Lif, Lifli Beton

ABSTRACT

EXPERIMENTAL EXAMINATION OF ADHERENCE IN MACRO FIBER CONCRETE PRODUCED FROM WASTE CONCRETE AGGREGATE

ESRA TOLU

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE
OF KTO KARATAY UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CIVIL ENGINEERING

Advisor: Dr.S.Kamil AKIN

June 2018, 173 Pages

The facts such as rapid increase in population, change in our consumption patterns and running short of our natural sources has been obliging us to highlight the importance and necessity of recycling in our researches and to conduct studies in this regard. In this thesis, an experimental study will be carried on in light of researches conducted as much as possible and updated information will be followed. As known, concrete has been the most frequently used construction material for many years. The fact that concrete can be widely used has prompted the researchers for more developments. In this study, recycled concrete will be obtained by use of aggregate gained from construction waste. The advancing technology has developed the fibre reinforced concrete, which is a solution to enhance the weak features of concrete. One feature that requires most attention and the most common when the fibre reinforced concrete is concerned is its workability. TS EN 12350-3 (Vebe Test) and TS EN 12350-2 (Slump Test) are performed in order to determine the workability of fresh concrete. Fibres will be added to this concrete which has been obtained from recycled aggregate, and the adherence between the concrete, which is a composite material, and the reinforcement will be analysed. TS EN 12390-6 (Determination of tensile splitting strength for test specimens) and TS EN 12390-5 (Determination of flexural strength of test specimens) tests for hardened concrete which are still valid will be performed in order to determine the adherence. The findings obtained as a result of the tests will be checked for their conformity to the regulations.

Key words: Adherence, Waste, Aggregate, Concrete, Tensile Strength, Fibre, Fibre Reinforced Concrete

TEŐEKKÖR

Bu tezi yöneten ve çalıőmalarım sırasında değerli bilgisi, tecrübeleri, yardımları ve hoş sohbetleri, gülyüzü ile yanımda olan sayın Hocam Yrd.Doç.Dr.S.Kamil AKIN'a,

Tüm yaşamım ve eğitimim boyunca her zaman her konuda büyük desteklerini gördüğüm başta babam Mustafa TOLU, annem Duygu TOLU, kardeşlerim Emre TOLU ve Nurşah TOLU' ya ve tezimin her aşamasında yanımda olan meslektaşım, nişanlım Osman AĖAOĖLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ESRA TOLU
KONYA-HAZİRAN 2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	
Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	
Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
TABLO LİSTESİ	x
ŞEKİL LİSTESİ	xi
SEMBOL LİSTESİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	3
1.2. Tezin Önemi	3
1.3. Tezin Kapsamı	4
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI VE GENEL BİLGİLER	5
2.1. Atık Agregalı Beton Hakkında Genel Bilgi	5
2.1.1. Atık	5
2.1.2. Agregası	5
2.1.3. Beton	6
2.1.4. Atık Agregalı Beton ve Önemi	6
2.1.5. İnşaat Atıklarının Yönetmelik Durumu	7
2.1.6. İnşaat Atıklarının Çeşitleri	8
2.1.7. İnşaat Atıklarının Hammaddede Olarak Hazırlanması Tekniği	8
2.1.8. Geri Kazanılmış Agregaların Sınıflandırılması	10
2.1.9. Geri Kazanılmış Agregaların Kullanım Alanları	11
2.1.10. Atık Agregası Kullanarak Beton Üretimine Dair Yapılan Çalışmalar	12
2.2. Lifler Hakkında Genel Bilgi	15
2.2.1. Lif ve Çeşitleri	15
2.2.1.1. Doğal Lifler	16
2.2.1.2. Çelik Lifler ve Çeşitleri	16
2.2.1.3. Polipropilen Lifler	18
2.3. Lifli Beton Hakkında Genel Bilgi	19
2.3.1. Lifli Betonun Amacı ve Özellikleri	20
2.3.2. Lifli Betonun Avantajları	22
2.3.3. Lifli Betonun Kullanım Alanları	23
2.3.4. Lifli Betonun Davranışı ve Çalışma Şekli	24

2.3.4.1. Kırılğan Lif-Sünek Matrisli Sistemler	25
2.3.4.2. Kırılğan Matris-Sünek Lifli Sistemler	25
2.4. Çelik Lif ve Polipropilen Lif Takviyeli Kompozitlerin Özellikleri	27
2.4.1. Çelik Lifli Beton Hakkında Genel Bilgi	27
2.4.1.1. Çelik Lifli Betonun Yapısı	27
2.4.1.2. Çelik Lifli Betonun Kullanım Alanları ve Avantajları	29
2.4.1.3. Çelik Lifleri Betonda Kullanım Şekli	30
2.4.1.4. Çelik Lifli Betonun Davranışı ve Çalışma Şekli	30
2.4.2. Polipropilen Lifli Beton Hakkında Genel Bilgi	32
2.4.2.1. Polipropilen Lifli Betonun Yapısı	33
2.4.2.2. Polipropilen Lifli Betonun Kullanım Alanları ve Avantajları	33
2.5. Lifli Betonda İşlenebilirlik ve Deneyler	34
2.5.1. Ve-be Deneyi	34
2.5.2. Slump Deneyi	37
2.6. Aderans Hakkında Genel Bilgi	39
2.6.1. Aderansı Belirleme Yöntemleri (Çekme Dayanımı)	39
2.6.1.1. Doğrudan Çekme Dayanımı Deneyi	41
2.6.1.2. Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi	43
2.6.1.3. Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi	44
3. MATERYAL VE METOD	46
3.1. Deneysel Çalışmalar	46
3.1.1. Deneyselerde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	46
3.1.1.1. Çimento	46
3.1.1.2. Agregalar	47
3.1.1.3. Yüksek Performanslı Akışkanlaştırıcı	48
3.1.1.4. Polipropilen Lifler	49
3.1.1.5. Su	50
3.1.1.6. Çekme Donatısı	50
3.1.2. Deneysel Çalışmanın Amacı ve İçeriği	52
3.1.3. Beton Karışımları	52
3.1.4. Numune Kodları	53
3.1.5. Numune Boyutları	55
3.1.6. Taze Beton Deneyleri	55
3.1.6.1. Birim Hacim Ağırlık Deneyi	55
3.1.6.2. Slump (Çökme) Deneyi	56
3.1.7. Sertleşmiş Beton Deneyleri	57
3.1.7.1. Aderans Durumunun Tayini İçin Doğrudan Çekme Dayanımı Deneyi	57
1.GRUP Grafikler	58
2.GRUP Grafikler	70
3.GRUP Grafikler	82
4.GRUP Grafikler	94
5.GRUP Grafikler	106
3.1.7.2. Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi	119
1.GRUP Grafikler	120
2.GRUP Grafikler	124
3.GRUP Grafikler	128
4.GRUP Grafikler	132

5.GRUP Grafikler	136
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	140
4.1. Aderans Durumunun Tayini İçin Doğrudan Çekme Dayanımı Deneyinden Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi	140
4.2. Yarmada Çekme Dayanımı Deneyinden Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi	141
5. GENEL SONUÇLAR	143
EK-A NUMUNELERİN HAZIRLANMASI	146
EK-B TAZE BETON DENEYLERİ	148
EK-C ADERANS DURUMUNUN TAYİNİ İÇİN DONATI ÇEKME DENEYİ	150
EK-D YARMADA ÇEKME DENEYİ	156
KAYNAKLAR.	157
ÖZGEÇMİŞ	160

KISALTMALAR

ÇED	: Çevresel Etki Değerlendirme
AB	: Avrupa Birliği
RILEM	: Reunion Internationale des Laboratories d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions (Malzeme ve Yapıların Uluslararası Laboratuvarlar Test Toplantısı ve Araştırma)
GKA	: Geri Kazanılmış Agregası
S/Ç	: Su / Çimento oranı
İYA	: İnşaat ve Yıkıntı Atıkları
HTYAKY	: Hafriyat Toprağı ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği
ACI	: Amerikan Beton Enstitüsü
ASTM	: Amerikan Standardı
M.Ö.	: Milattan Önce
KAGDA	: Kalın Agregası Geri Dönüşüm Agregası
GDA	: Geri Dönüşüm Agregası
ÇAAD	: Çatlak Ağzı Açılma Deplasmanı
GPa	: Giga Paskal
MPa	: Mega Paskal
TS	: Türk Standartları

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1 : İnşaat Atıklarının Çeşitleri, Kaynakları, Bileşenleri.....	8
Tablo 2.2 : Lif çeşitlerinin tipik özellikleri.....	15
Tablo 2.3 : Lif takviyeli betonların bazı özelliklerinde görülen artışın yaklaşık değerleri.....	22
Tablo 2.4 : Lifli Betonda Amaç Doğrultusunda Lif Çeşidi.....	23
Tablo 2.5 : Betonda bulunması gereken ince malzeme miktarı.....	28
Tablo 2.6 : Betona ilave edilebilen maksimum tel miktarı kg/m ³	28
Tablo 2.7 : Vebe Sınıfları.....	35
Tablo 3.1 : Kullanılan çimentonun fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri.....	46
Tablo 3.2 : TS EN 933-1 Elek Sistemine Göre Beton Kumu Granülometrisi.....	48
Tablo 3.3 : TS EN 933-1 Elek Sistemine Göre İri Agrega Granülometrisi.....	48
Tablo 3.4 : Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı malzemesinin teknik özellikleri.....	49
Tablo 3.5 : Polipropilen lif özellikleri.....	49
Tablo 3.6 : Kullanılan çelik donatının özellikleri.....	50
Tablo 3.7 : Her bir grup için çekme deneyi numunelerinde kullanılan malzemelerin karışım miktarları ve oranları	51
Tablo 3.8 : Her bir grup için yarma deneyi numunelerinde kullanılan malzemelerin karışım miktarları ve oranları.....	51
Tablo 3.9 : 1m ³ C25/30 sınıfında beton üretmek için gerekli olan malzemeler ve miktarları.....	53
Tablo 3.10: Çekme deneyi için numune kodlamaları.....	54
Tablo 3.11 : Yarma deneyi için numune kodlamaları.....	54
Tablo 3.12 : Yalın ve lifli betonların taze beton deney sonuçları.....	56
Tablo 4.1 : 28 günlük küp numunelerin yarmada çekme deneyi ortalama değerleri...141	

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : İnşaat malzemesi üretim atıklarına uygulanacak işlemler ve sonuçları.....	9
Şekil 2.2 : Çelik liflerin şekilleri.....	18
Şekil 2.3 : Tek eksenli basınç altında normal ve yüksek dayanımlı betonlarda gerilme-şekil değiştirme eğrisi.....	19
Şekil 2.4 : Lifli betonun tipik gerilme şekil değiştirme diyagramı.....	22
Şekil 2.5 : Kırılgan lif – Sünek Matrisli Sistemler.....	25
Şekil 2.6 : Kırılgan Matris – Sünek Lifli Sistemler.....	25
Şekil 2.7 : Çelik liflerle güçlendirilmiş betonda gerilme dağılımı.....	31
Şekil 2.8 : Lif içeriğinin eğilme çekme davranışına etkisi.....	32
Şekil 2.9 : Vebe Ölçer (Konsistometre kıvam ölçer), Çökme Şekilleri.....	36
Şekil 2.10 : Çökme Şekilleri ve Çökmenin Ölçülmesi.....	38
Şekil 2.11 : Doğrudan çekme deneyleri için Kassas tarafından kullanılan numune-başlık düzeni.....	41
Şekil 2.12 : Rüşch'ün kullandığı eksenel çekme deney numune geometrisi.....	42
Şekil 2.13 : Yarma deneyi uygulama düzeni.....	43
Şekil 2.14 : Orta noktadan yüklenmiş kiriş eğilmede çekme deney düzeneği.....	44
Şekil 2.15 : Üçte bir noktalarından yüklenmiş kiriş eğilmede çekme deney düzeneği.....	45
Şekil 3.1 : Numunelerin boyut ve şekilleri.....	55

SEMBOL LİSTESİ

L	: Numune boyu (mm)
D	: Numune çapı (mm)
L / D	: Görünüm oranı, narinlik
σ çekme	: Çekme gerilmesi (N/mm ² , MPa)
P	: Kırılmaya neden olan yük (N)
A	: Numune alanı (mm ²)
Kg / m³	: Birim hacim ağırlık
B	: Numunenin kesit genişliği (mm)
E	: Elastisite modülü (KN/ mm ²)
F_{ct}	: Yarma-çekme dayanımı (MPa)
g	: Yer çekim ivmesi
V_f	: Lif hacmi
D_{max}	: Maksimum tane boyutu
W₀	: Yük-sehim eğrisi altında kalan alan
A_{lig}	: Etkin kesit alanı
Na₂SO₄	: Sodyum sülfat

1. GİRİŞ

Yüksek binalar, yollar, köprüler veya tüneller, metrolar, kanallar gibi her türlü inşaat faaliyetleri ekosistemi belli oranda etkilemektedir. Bu yapıların inşaatı ve sonrasında toprak, su ve hava ortamlarının özellikleri etkilenmekte ve değişmektedir. Bu nedenle, bir inşaat projesi ele alındığında tatbikata geçirilmeden önce bütün etkilerini kapsayan Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) raporlarının hazırlanması gerekmektedir.

Bir inşaat projesinde madde bilançosunun çıkarılması; çevreyi olumsuz etkileyecek ve bertaraf edilmesi gereken unsurların da belirlenmiş olması anlamına gelecektir. İlk kazma, kepçe vurulması ile beraber hafriyat toprağı, inşaat molozu gibi bertarafı gereken atıklar oluşacaktır. Oluşan inşaat atıklarının ve molozlarının bertarafında, geri kazanım çok yararlı bir işlem olarak ortaya çıkmaktadır[1]. Oluşan diğer atıkların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenerek, buldukları ortamda verebilecekleri reaksiyonlar tahmin edilmelidir. Böylece atıkların bekletildiğı, geçici ve nihai depolandığı yerlerde, içindeki maddelerin yüzeysel ve yeraltı sularına olası etkileri öngörülebilir ve alınması gereken önlemler, yapılması gereken işlemler, denetleyici kuruluşlar tarafından işletme prosedürü olarak ortaya konulabilecektir. Böylelikle su ortamlarının (yüzeysel ve yeraltı suları), atmosferin ve toprağın kirlenmesi, dolayısıyla canlıların sağlıklarının tehdidinin önüne geçilecektir.

Maddeyi, malzemeyi, enerjiyi koruma, ürün çevrimini sağlama, ekolojik ve ekonomik döngüyü gerçekleştirme felsefesi ve yaklaşımı moloz atıklarının da değerlendirilmesini zorlamaktadır. Enerji ve hammaddenin korunması çok önemlidir. Sürdürülebilir kalkınma içinde katı atık yasaları ve yönetmelikleri bunu hedeflemektedir. İnşaat atıkları, inşaat molozları bu bağlamda madde akışı yönetmeliğı ile tekrar inşaat malzemesi olarak geri kazanılabilir. İnşaat atıklarının geri kazanımı aşamasında içindeki plastik, ahşap ve tahta gibi malzemelerin ayrılması gerekmektedir. Bu yaş veya kuru ayıklama-ayırma yöntemleri ile sağlanmaktadır. Mümkünse kuru sistem ve yöntemlerle yabancı maddeleri ayırmak ve yüksek kaliteli inşaat malzemesi elde etmek, en uygun ve ekonomik yol olacaktır [2].

Beton sahip olduğu özelliklerinden dolayı en yaygın kullanılan yapı malzemelerinden biridir. Yaşadığımız çevredeki hemen hemen tüm barınma ve alt yapı tesislerinin yapımında kullanılan temel malzeme betondur. Hızla nüfusu artan dünyada, önümüzdeki yıllarda da kullanımı, kolay ve basit yapılabirliğiyle, ekonomikliğıyle ve sahip olduğu teknik özellikleriyle kullanılmaya devam edecektir[3].

Betonarme ise betonla çelik donatının birlikte çalışması sonucunda betonu güçlendiren ve birbirini tamamlayan bir yapı malzemesidir. Birlikte çalışması için çelik donatının beton içinde hareket etmemesi ve birbiriyle kenetlenerek kalıcı bağ oluşturması gerekmektedir. Oluşan bu bağ kuvvetine ise aderans denmektedir.

Betonunun özelliklerinin iyileştirilmesi çabaları ile inşaat mühendisleri; teknolojik gelişmelere paralel olarak daha avantajlı yapı malzemeleri arama yoluna gitmişlerdir. Diğer bir deyişle hem basınç hem çekme, hem de eğilme dayanımı yüksek olan, ekonomik bir yapı malzemesi oluşturulmasına çalışılmaktadır. Beton malzemesinin dayanımı ve diğer mekanik özellikleri çeşitli katkı malzemeleri yardımıyla iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Bu iyileştirme çalışmalarından birisi de lif katkılı betonların üretilmesidir. Lifli betonun üretilmesindeki amaç; malzemenin tokluğunun, darbe yüklerine karşı direncinin, eğilme dayanımının ve diğer mekanik özelliklerinin artırılmasıdır. Günümüzde betonlarda çelik, polipropilen, karbon ve alkali dirençli camlar yaygın olarak kullanılan liflerdendir. 1960'lı yıllardan bu yana yapılan çalışmalarda beton içerisine konulan lifler betonda oluşan çatlakların ilerleme hızını azaltmıştır.

Basınç etkisi altında mekanik davranışları elverişli olan yapı malzemelerinin, çekme ve eğilme etkisi altındaki davranışları çoğu zaman yeterli olmamaktadır. Beton basınç dayanımı arttıkça betonun kırılması sırasında bağıl olarak daha az enerji yuttukları bilinmektedir. Çelik lif donatılı betonlar ise, yüksek enerji yutma kapasitelerine sahip, kırılma anında daha sünek davranış sergileyen malzemelerdir. Bu betonlarda çatlama riski de azalmakta ve üstün dayanıklılık sağlanmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı çelik lif kullanılarak sünekliğı artırılmış yüksek performanslı betonlara talep artmaktadır.

Çelik lif katkılı betonlar son yıllarda; tünellerde, döşeme ve saha betonlarında, şev stabilizasyonunda, onarım malzemesi olarak, baraj yapılarında, liman yapılarının yapımında ve onarımında, yangın korumalarında, beton büz borularında ve betonarme çerçevelerde, beton dayanımına olan olumlu etkileri ve enerji yutma kapasitelerinin yüksek olması nedeniyle yaygın olarak uygulama alanı bulmaktadır [4]- [14].

1.1. Tezin Amacı

Günümüzde betonun değişik alanlarda kullanma ihtiyacının ortaya çıkması, beton teknolojisinde bazı gelişmelerin yaşanmasına neden olmuştur. Bu gelişmelerden birisi de lif katkılı betonların üretilmesidir.

Yüksek basınç dayanımı ile bilinen betonun çekme dayanımı basınç dayanımının %10'u kadardır. Bu denli düşük çekme dayanımını iyileştirmek için beton içerisine liflerin konulması bir yöntemdir. Bu yöntemle; betonun süneklik, çekme dayanımı, tokluk vb. özelliklerinde gelişme göstermektedir.

Bu çalışmadaki amaç; inşaat atık agregalarından üretilen beton içerisine lif ilave ederek beton ile çelik donatı arasındaki bağı yani aderans dayanımını hangi mertebede geliştireceği incelenmiştir.

1.2. Tezin Önemi

Betonda kullanılan cam, sentetik, karbon ve çelik liflerin en önemli etkisi, betonda çatlak gelişimine engel olmasıdır. Bu nedenle, betondaki iç gerilmelere bağlı olarak oluşan mikro çatlakların büyümesi ve ilerlemesi, liflerin gerilme aktarma özelliği ile önlenmektedir. Lifler, şekil ve miktarlarına bağlı olarak beton matrisinde oluşan bazı gerilmeleri taşımakta ve uygun beton-matris oranlarında gerilmeleri aktarmaktadır.

Üniform bir şekilde dağılan lifler, beton içerisinde oluşan çatlakları önlemekte ve çatlakların beton içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirdiği bilinmektedir. Bu özelliğinden dolayı lifli betonun çekme ve eğilme dayanımı artırılan faktörler darbe etkisine karşı da dayanımı arttırmaktadır.

En büyük yükten sonra lifli betonlarda artan deformasyonlar sonucunda, yükün azalma hızı, normal betona göre çok daha yavaştır. Dolayısıyla lifli betonun tokluğu normal betona göre daha fazladır.

Bu nedenle betonarme kazık, yol, su boruları, genel olarak büyük fabrika inşaatlarının döşeme betonlarında ve prefabrike yapı elemanları üretiminde lifli betonların tercih edilmeleri halinde daha iyi sonuçlar alınacağı bilinmektedir.

1.3. Tezin Kapsamı

İnşaat sektörünün ana malzemelerinden biri olan betonun artan kullanımı ile birlikte, beton içine ikinci faz olarak adlandırılan elemanların katılması, mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar yoğunluk kazanmıştır. Özellikle betona süneklik kazandırabilme çalışmalarına ağırlık verilmiştir. Bu amaçla, çelik, sentetik, cam ve ahşap esaslı lif malzemelerinin beton içerisine katılması sonunda süneklik, çekme dayanımı, tokluk vb. özelliklerinde önemli artışlar gözlenmiştir.

Lifli betonlarda, bütün lif çeşitlerinde sağlanması gereken en önemli özellik liflerin beton içerisinde homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonra da bozulmaması.

Bilinen beton yüksek basınç dayanımı, düşük çekme dayanımına sahiptir. Çekme dayanımı tayini TS EN 12390-5 ve 12390-6'ya göre silindir ve kiriş numuneler kullanılarak yapılır. Ancak betonun direkt çekme altındaki davranışının incelenmesi ve direkt çekme dayanımının tayini kolay değildir. Önceleri beton numunelere direkt çekme uygulanması ile yapılan deneylerde karşılaşılan çekme numunesinin çekme cihazının çenelerine bağlandığı zaman kesit değişimi olan bölgelerdeki gerilme yığılmaları nedeni ile numunenin kırılarak, çenelerden ayrılması gibi olumsuzluklar araştırmacıları silindir ve kiriş numuneler ile yapılan dolaylı çekme dayanımı tayini deneylerine yöneltmiştir. Betonun direkt çekme altındaki dayanımını ölçmek için yapılan çalışmalar bu nedenle azdır. Bu çalışma kapsamında da; dolaylı çekme dayanımı ile inşaat atık agregalarından üretilen lifli betonda donatı aderansının değişimi incelenmiştir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI VE GENEL BİLGİLER

2.1. Atık Agregalı Beton Hakkında Genel Bilgi

2.1.1. Atık

İnsanların sosyal ve ekonomik faaliyetleri sonucunda işe yaramaz hale gelen, kullanım süresi dolmuş, yaşadığımız ortamdan uzaklaştırılması gereken maddelere genel olarak “**atık**” denmektedir. 2015 yılında yayınlanan Atık Yönetimi Yönetmeliği’ne göre ise atık; üreticisi veya fiilen elinde bulunduran gerçek veya tüzel kişi tarafından çevreye atılan veya bırakılan ya da atılması zorunlu olan herhangi bir madde veya materyal olarak tanımlanmaktadır [5].

2.1.2. Agregata

Kum, çakıl, kırmataş, cüruf ve diğer mineral bileşikli bağlayıcıların belli oranlarda bir araya getirilerek oluşmuş şekline “**agregata**” denilmektedir. Başka bir deyiş ile Agregata, çeşitli büyüklüklerde kırılmış veya kırılmamış, yapay veya her iki cins yoğun mineral malzemelere denilmektedir. Kum ve çakıl en çok kullanılan agregata türleridir. İnce ve iri agregata olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Çakıl, bir doğal iri agregata sınıfındandır. Bazı hallerde iri agregata olarak çakıl yerine, doğal taş blokların konkasör denilen aletlerle parçalanması sonunda elde edilen kırma taş da kullanılmaktadır. Doğal kumun bulunması halinde, öğütücü denilen aletler yardımıyla yapay ince agregatanın da elde edilme imkânı vardır.

Ayrıca agregata; Sağlam olmalı, aşınmamalı, suyun etkisiyle yumuşamamalı, dağılmamalıdır. Çimento bileşenleriyle zararlı bileşik meydana getirmemelidir ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemeli. Tanelerin biçimi, dokusu iyi olmalıdır. Tanelerin büyüklük bakımından dağılımı, amaca ve standartlara uygun olmalıdır. Agregata içinde zararlı maddeler bulunmamalıdır [6].

2.1.3. Beton

Agrega, bağlayıcı madde (çimento) ve suyun belli oranlarda ve ortamlarda karıştırılması ile elde edilen, belli bir rijitlik kabiliyeti olan ve belli oranlarda sıkışabilen malzemelere “**beton**” denir[7].

2.1.4. Atık Agregalı Beton ve Önemi

Doğal hayatı korumak için yapılan çevresel çalışmaların en önemlisi, doğal kaynakların kullanımının azaltılmasını sağlayan atıkların geri dönüşümüdür.

Geri dönüşüm; atıkların hammadde gibi kullanılarak yeni bir maddeye dönüştürülmesi işlemine denir.

Geri kazanım; atıkların yeniden kullanılarak enerji elde etmek veya fiziksel ya da kimyasal işlemlerden geçirilerek yeni bir ürün elde etmek için toplanmasına denir.

Geri kazanım ile doğal kaynakların korunmasına katkı sağlanmaktadır. Doğal kaynaklarımız tüm dünya nüfusunun artması ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi nedeniyle ile her geçen gün azalmakta. Bu nedenle malzeme tüketimini azaltmak, değerlendirilebilir nitelikli atıkları geri dönüştürmek sureti ile doğal kaynaklarımızı verimli kullanmamız gerekmektedir.

Kalkınmakta olan ülkelerin tabii kaynaklarından uzun vadede ve maksimum bir şekilde faydalanabilmeleri için atık israfına son vermeleri, ekonomik değeri olan maddeleri geri kazanma ve tekrar kullanma yöntemlerini araştırmaları gerekmektedir.

Özellikle son yıllarda ülkemizde; geri kazanılabilir atıkların ekonomik değer kazanması ve bu konudaki yasal zorunlulukların yürürlüğe girmesi ile bu tür malzemeleri toplayan veya geri dönüşümünü yapan işletmeler ve sanayi kuruluşları oluşmaya başlamış bulunmaktadır. AB ülkelerinin tamamında atık geri dönüşüm oranı %45, geri kazanım oranı ise %50 dir. Türkiye ise; geri kazanım olarak İtalya ve İngiltere gibi ülkelerin ortalamasını geçmiş ve AB ortalamasına yaklaşmıştır!!!

İnşaat sektöründe en önemli sorunlardan birisi hammaddedir. Geri kazanım yoluna gidilerek önemli miktarlarda ekonomik kazanç sağlanabilir.

İnşaat sektörü; imalat süreçlerindeki girdileri asgari düzeye indirmeye, hammaddelerin kullanılmasını, enerji tüketimini, emisyonları mümkün olduğu kadar azaltmayı amaçlamaktadır. Bu sektörde tüketilen malzemelerin başında beton, asfalt, ahşap, alüminyum, demir gibi malzemeler gelmektedir.

Özellikle betonun ağırlıkça %75 lik kısmını oluşturan agregaların doğal kaynaklardan çıkarılması, nüfus artışına bağlı artan yapı dolayısıyla beton talebi ve buna ters olarak azalan doğal kaynaklar düşünüldüğü zaman, beton üretiminde yeni kaynakların bulunması gerekliliği açıktır.

Talep ve tüketim açısından bakıldığında geri kazanımın özellikle inşaat alanında yaygın bir şekilde uygulanmasının önemli miktarlarda hammadde kaynağı sağlayacağı dolayısıyla da ekonomik anlamda kazanç sağlayacağı öngörülmektedir[8].

2.1.5. İnşaat Atıklarının Yönetmelik Durumu

18 Mart 2004 tarihli ve 25406 sayılı Resmi Gazete'nin "**Hafriyat Toprağı İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği**" Çevre Kanunu'nun 8.Madde'sine göre; "Her türlü atık ve artığı, çevreye zarar verecek şekilde, ilgili yönetmeliklerde belirlenen standartlara ve yöntemlere aykırı olarak doğrudan ve dolaylı biçimde alıcı ortama vermek, depolamak, taşımak, uzaklaştırmak ve benzeri faaliyetlerde bulunmak yasaktır."[22].

İlk olarak bu atıkların;

- Kaynakta azaltılması
- Toplanması
- Taşınması
- Geri kazanılması ve değerlendirilmesi
- Geçici biriktirilmesi
- Bertaraf edilmesi yapılmalıdır.

2.1.6. İnşaat Atıklarının Çeşitleri

İnşaat atıklarının çeşitleri, kaynakları ve bileşenleri açısından 4 grupta inceleyebiliriz:

Tablo 2.1. İnşaat Atıklarının Çeşitleri, Kaynakları, Bileşenleri [9]

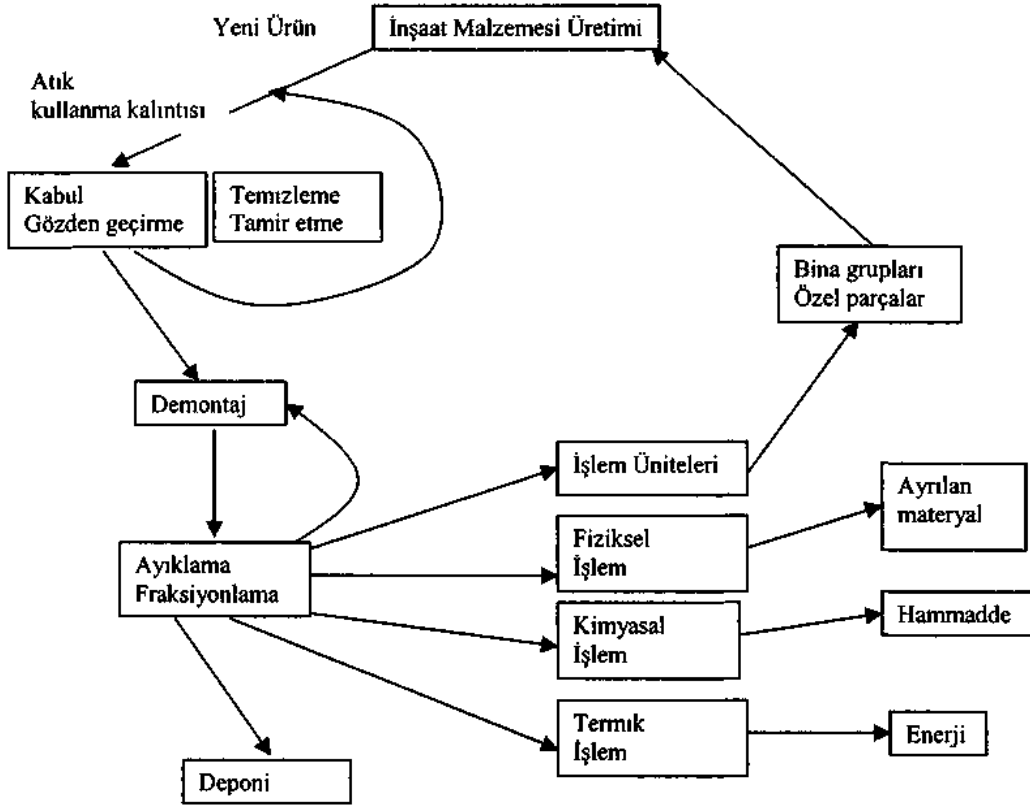
ÇEŞİTLERİ	KAYNAKLARI	BİLEŞENLERİ
1)Hafriyat Atıkları	Hafriyat faaliyetleri	Bitkisel toprak, toprak, kum, çakıl, taş, kil
2)Yol, Yıkıntı Atıkları	Demiryolu, karayolu,havaalanı pistlerinin tamirat, tadilat, yapım ve yıkım faaliyetleri	Beton,kırılmış asfalt, yol kaplama malzemeleri, kaldırım taşı,kum,çakıl
3)Yıkıntı Atıkları	Okul,konut,hastane,endüstriyel tesisler vb. gibi yapıların yıkım faaliyetleri	Demir içeren ve içermeyen beton, çatı konstrüksiyonu ve örtü malzemeleri, tuğla, taş, briket vb. sıva, alçı, diğer malzemeler
4)Karışık Yıkıntı Atıkları	Binaların seçici olmayan yıkımları, tadilatı, güçlendirilmesi, bakımı sırasındaki yıkımlar	Beton, sıva, kum, duvar malzemeleri, çakıl, ahşap, plastik, seramik, metal vb.

2.1.7. İnşaat Atıklarının Hammadde Olarak Hazırlanması Tekniği

İnşaat faaliyetleri atıklarını, her türlü inşaatı ve faaliyetlerde kullanılan malzeme ve hammaddeleri dikkate alarak sınıflandırmak mümkündür.

Şekil 2.1.'de inşaat malzemesi üretim atıklarına uygulanacak işlemler ve sonuçları görülmektedir.Bu şekilden anlaşılacağı gibi inşaat malzemesi üretimi sırasında oluşan atıkların bir kısmı tekrar üretime hammadde olarak döndürülebilir. Diğer kısımlarında

ikincil hammadde, geri kazanılan maddeler ve enerji elde etmek mümkündür. Değerlendirilemeyen kısımlar ise depolanmaktadır.



Şekil 2.1. İnşaat malzemesi üretim atıklarına uygulanacak işlemler ve sonuçları [10]

Ülkemizde de son yıllarda eski küçük yapıların, yolların yıkılarak veya bozularak yenilerinin yapılması yaygınlaşmıştır. Bu sırada oluşan molozlar "Moloz-İşleme Merkezlerinde" yeniden işlenerek geri kazanılabilir ve yine inşaat sektöründe kullanılabilir.

Her türlü inşaat artıklarının geri kazanılması, kaynakları azalan ve mevcut kaynaklarını ekonomik kullanmak, doğayı korumak isteyen gelişmiş ülkelerde yaygın bir şekilde gerçekleştirilmektedir.

2.1.8. Geri kazanılmış agregaların sınıflandırılması

RILEM (Reunion Internationale Des Laboratoires D'essais Et De Recherches Sur Les Materiaux Et Les Constructions) komitesi tarafından üç çeşit geri kazanılmış agregaya tanımlanmıştır [11] . Bunlar:

- 1.Tip : Öncelikle duvar molozlarından elde edilenler
- 2.Tip : Öncelikle beton molozlarından elde edilenler
- 3.Tip: Doğal agregaya (%80) ile geri kazanılmış agreganın (%20) karışımı ile elde edilenler

Geri Kazanılmış Agregaya (GKA) ile üretilen beton karışımları genellikle doğal agregaya ile üretilen yöntemlerle gerçekleştirilir. Ancak, birim su içeriği belirlenirken geri kazanılmış agreganın daha fazla olan su emmesinin dikkate alınması gerekir. RILEM komitesinin GKA ile üretilen betonun oranları için göze çarpan tavsiyeleri şu şekilde özetlenmiştir:

- GKA ile üretilen farklı beton sınıfları karışımlarında, betonun karakteristik basınç dayanımı belirlenirken amaçlanan hedef dayanımdan daha yüksek standart sapmalar hesaba dikkate alınmalıdır.
- Doğal kum ve geri kazanılmış iri agregaya birlikte kullanıldığında, gerekli sıkıştırılabilirlik için gereken s/ç oranı, geleneksel betondaki oranlarda olacaktır.
- Aynı çökme değeri için GKA'nın su miktarı geleneksel betona göre %5 daha fazla olmalıdır.
- GKA ile üretilen beton için kum-agregaya oranı, doğal agregaya kullanılması durumu ile aynı oran olmalıdır.
- GKB'nun s/ç oranı ve gerekli işlenebilirliği elde etmek için GKA özellikleri ve kaynağına bağlı olarak, uygun ayarlama ve deneme karışımlarının yapılması zorunludur [12].

2.1.9. Geri Kazanılmış Agregaların Kullanım Alanları

Yıkıntı atıklarından elde edilen birçok ürün yeniden kullanılabilir. Beton atıklarının işlenmeden yeniden kullanımı, beton blokların erozyon önleyici [13] ve dolgu malzemesi [12,14] olarak kullanımı gibi birkaç örnekle sınırlı kalmaktadır. Buna karşı İnşaat ve Yıkıntı Atıkları (İYA) n'dan elde edilen betonlar daha ufak parçalara kırılıp eleklerden geçirilerek ince ve iri agrega elde edilebilmektedir. Beton atıkları en çok bu uygulama ile GKA olarak kullanılabilir[15,16].

Bazı çalışmalarda, inşaat ve yıkıntı atıklarından ayrılmış ve kırılarak elekten geçirilmiş belirli büyüklükteki beton atıklarının, doğal agregaların yerine beton üretiminde kullanılabilmesi savunulmaktadır[17,16]. Bazı araştırmacılar ise; bir kısım özelliklerinin standartlara uymaması dolayısı ile düşük standartlı agrega olarak taşıyıcı ve yapısal olmayan beton uygulamalarında kullanımının uygun olabileceğini belirtmektedirler[14].

Yıkıntılardan elde edilmiş molozlar genellikle diğer inşaatlarda dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır[16]. Park (2003), çalışması ile beton kaldırımların taban ve taban altlığında %100 geri kazanılmış agregaların kullanılabilmesini sonucuna varmıştır[18]. GKA, Amerika Birleşik Devletleri ve İngiltere' de geniş bir şekilde kaldırımlarda kullanılmaktadır. Geri kazanılmış agregaların (kaba ve ince agreganın) yol taban malzemesi olarak kullanılması doğal yol taban malzemesi ile karşılaştırılabilir nitelik taşımaktadır. Hollanda'da kırılan beton atıklarının %95'i yol taban malzemesi olarak kullanılmaktadır[19,20].

Bunların dışında GKA kanalizasyon dolgularında, yol yapım çalışmalarında taban malzemesi olarak çevre düzenlemesi, su kanalları, drenaj malzemesi, dolgu malzemesi ve beton blok üretimi işlerinde kullanılabilir[17,21]. Beton agregalarının kullanım alanlarını boyutları ile ilişkilendirerek;

- 80-200 mm beton agregaları; dolgu malzemesi olarak hidrolik işlerinde,
- 0-80 mm beton agregaları; standartları yerine getirmek şartı ile beton imalatında, yol inşaatlarında zemin malzemesi olarak, toprak dolgu malzemesi olarak ve park sahalarında,
- Geri kazanılmış kum; Çoğunlukla yol kaplamalarının altında ya da yol alt temel malzemesi olarak,

- 0-56 mm geri kazanılmış kargir; zemin dolgusu olarak ve sertleşmemiş zemin oluşturmak için park sahalarında,
- Asfalt agregaları; yollar ve park alanları kaplamalarında, yeni asfalt içinde kullanımı şeklinde sınıflandırılmaktadır.

Türkiye'de, Hafriyat Toprağı ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği'nde (HTYAKY) geri kazanılmış ürünlerin, ilgili standartları sağlamak şartı ile gerekli işlemlerden sonra orijinal malzemeler ile birlikte veya ayrı olarak, yeni beton üretiminde, yol, otopark, kaldırım, yürüyüş yolları, drenaj çalışmaları, kanalizasyon borusu ve kablo döşemelerinde dolgu malzemesi olmak üzere, alt ve üst yapı inşaatlarında, spor ve oyun tesisleri inşaatları ile diğer dolgu ve rekreasyon çalışmalarında öncelikli olarak kullanılacağını hükme bağlamıştır[22].

Bitkisel toprak ayrı olarak toplanıp; park, bahçe, yeşil alan yapımında rekreasyon amaçlı kullanılabilir.

Hafriyat toprağı; dolgu, rekreasyon, katı atık depolama alanında günlük örtü malzemesi olarak, çimento sanayisinde hammadde olarak kullanılabilir[9].

2.1.10. Atık Agrega Kullanarak Beton Üretimine Dair Yapılan Çalışmalar

1980'li yılların başlarından beri Almanya, Hollanda, Avusturya, İsveç, Macaristan gibi ülkelerde inşaat malzemesi atıkları, çeşitli tesislerde işleme tabi tutularak geri kazanılmakta ve değerli malzeme olarak yeniden kullanıma sokulmaktadır. Bu tesisler, özellikleri, işlem yaptıkları ve geri kazanmış oldukları atık çeşitleri şöyledir:

Heilbronner Baustoff - Recycling GmbH: 1984 yılından beri inşaat atıklarından yeni inşaat malzemeleri hazırlamakta ve değerlendirmektedir. 11 Kasım 1984 tarihinden beri Heilbronn'daki tesise aşağıdaki atık türleri gelmekte ve işlem görmektedir.

- Asfalt atıkları
- Asfalt - stabilize yol çalışmaları karışımı
- Kırılmış, yıkılmış beton yapılar ve atıkları

- Tuğla, kiremit, sıva, taş, çakıl, taşlı moloz, taşlı hafriyat atıkları

Tesise gelen bu atıklardan temiz tekrar kullanılabilir inşaat malzemesi hazırlamak için teslim edilen atıklarının temiz olmasına dikkat etmek gerekmektedir. Temiz asfalt atıklar bu tesise ücretsiz olarak kabul edilmektedir. Temiz atıklardan temiz ve maddi değeri yüksek malzeme üretilebilen bu tesiste, diğer atıklar için bir ton atık başına 1 ila 2 Euro arasında değişen ücretler alınmaktadır. Bu atıkların deponide bertaraf edilmesi durumunda ödenmesi gereken ücret daha fazla olmaktadır.

İnşaat atıkları işlem merkezine gelen atıklardan;

- 0 - 16/22 mm recycling asfaltı
- 0-56 mm recycling mineral betonu
- 0 - 5 6 mm recycling dona karşı koruma malzemesi
- Hendek ve kanal dolguları için mıcır
- Dolgu malzemesi
- Geçiş tabakaları malzemesi
- Şedde inşaatı malzemesi
- Kanal dolgu malzemesi
- Zemin stabilizasyonu malzemesi
- Park yerleri malzemesi
- Tarla ve orman yollarında yük taşıyıcı tabaka oluşturulmasında kullanılan malzeme vb. üretilmektedir.

Stuttgart - Bad Cannsart İAİM: Aralık 1982'den beri inşaat atıkları işlemekte olan bu tesise;

- Yol bozumundan gelen atıklar
- Parçalanmış beton yapılar, bloklar
- Border taşları, betonları
- Parçalı kayalar, taşlar v.s.
- Çatı malzemesi atıkları
- Alçısız sıva atıkları, yıkılmış duvar atıkları vb. gelmektedir.

Tesise gelen inşaat atıklarının içinde bulunan metal,tahta, ahşap vb. inşaat malzemeleri ayıklanmaktadır. Geri kalan atıklar arka arkaya devreye giren kırıcılar tarafından parçalanmaktadır.Parçalanmış olan atıklar ise elekten geçirilip fraksiyonlarına ayrılarak dane boyutlarına göre depolanmaktadır.Atık getiren araçlar tesisteki uzman ustalar tarafından ekspertiz edilmekte ve buna göre birim atık ücreti belirlenmektedir. Günde 800 ton dolayında atık işlenebilmektedir.

İAİM'de aşağıdaki malzemeler geri kazanılmaktadır:

- Ön eleme ürünü (0 - 25 mm)
- Don koruma malzeme ürünü (0-32 mm)
- Asfalt katkı maddesi (0-16 mm)
- Dolgu malzemesi (0 - 100 mm) [2]

RAKSHVIR M., BARAI V.S.(2006), tarafından yapılan çalışmada geri dönüşüm agregalarının çeşitli mekanik ve fiziksel özellikleri araştırılmıştır.Geri dönüşüm agregaların doğal agregalardan farklı davrandığı ve geri dönüşüm agregalarından yapılan betonların da kendine özgü davranışlar sergilediği gözlemlenmiştir.Bu çalışmada beton karışımında kullanılan geri dönüşüm agregalarının oranı arttıkça betonun basınç mukavemetinin %10 kadar azaldığı gözlemlenmiştir.Geri dönüşüm agregalarının su emmelerinin doğal agregalardan fazla olduğu beton karışımı sırasında gözlemlenmiştir.

TU T., CHEN Y., HWANG C.(2006), yaptıkları çalışmada geri dönüşüm agregasını kullanarak yüksek mukavemetli beton elde etmek için 10 grup deney yapmışlardır.Deneyler sonucunda birim ağırlığı, su emme kapasitesi, elek analizi, kuru birim ağırlığı ve aşınmasının genel olarak doğal agregadan daha kötü olduğu görülmüştür.Bunlara rağmen iyi bir tasarım hesabı yapıldığında geri dönüşüm agregalarını da kullanarak yüksek mukavemetli beton üretildiği görülmüştür [7].

2.2. Lifler Hakkında Genel Bilgiler

2.2.1. Lif ve Çeşitleri

Beton özelliklerini olumlu yönde değiştirerek iyileştirmek amacıyla taze beton içerisine çeşitli yöntemlerle değişik miktarlarda katılan, belirli boy/çap (narinlik oranı) oranına sahip olan metalik, polimerik, mineral veya tabii yapıdaki malzemelere “**lif (fiber)**”denilir. Lifler; çelik, plastik, cam, karbon gibi değişik malzemelerden farklı tip ve boyutlarda üretilmektedirler.

ACI (Amerikan Beton Enstitüsü) komitesi bir lifi tanımlayan en iyi nümerik parametrenin lif boyunun eşdeğer lif çapına bölünmesiyle elde edilen “boy/çap” (aspect ratio) oranı olduğunu kabul eder. Bu orana kısaca “narinlik oranı” da denilmektedir. Eşdeğer lif çapı ise; alanı lifin kesit alanına eşit bir dairenin çapı olarak tanımlanmaktadır. Lifi tanımlayan diğer etkenler ise lifin geometrik yapısı ve çekme gerilmesidir[23].

Lif çeşitlerinin tipik özellikleri Tablo 2.2.’de verilmektedir[24].

Tablo 2.2. Lif çeşitlerinin tipik özellikleri

Lif Tipi	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (10^3 MPa)	En Yüksek Uzama (%)	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)
Akrilik	207-414	2,1	25-45	1,1
Asbest	552-966	83-138	~0,6	3,2
Pamuk	414-690	4,8	3-10	1,5
Cam	1035-3795	69	1,5-3,5	2,5
Naylon	759-828	4,1	16-20	1,1
Polyester	724-863	8,3	11-13	1,4
Polietilen	~690	0,14-0,4	~10	0,95
Polipropilen	552-759	3,5	~25	0,90
Pamuk-yün (Suni ipek)	414-621	6,9	10-25	1,5
Taş yünü(mineral yün)	483-759	69-117	~0,6	2,7
Çelik	276-2760	200	0,5-3,5	7,8

2.2.1.1. Doğal Lifler

Bu liflerin en önemli özellikleri kolayca elde edilebilmeleridir. Ancak bu liflerin alkali ortamda parçalanma eğiliminde olmaları bir sorun oluşturmaktadır. Bu sorunu çözmek adına betonun alkalitesini azaltacak katkıları kullanılmalıdır. Bilinen en eski doğal lifler saman ve at yeleği olup Portland çimentosuyla kullanılan diğer doğal lifler ise bambu, hindistan cevizi, şeker kamışı ve ahşap gibi liflerden oluşmaktadır [25]. Bazalt, son dönemde lifler ve iplerden oluşan kumaşlar üretmek için kullanılan malzemeler arasında yer almaktadır. Bazalt kayacının yüksek sıcaklıkta ergitilmesiyle elde edilen bazalt lifler çevre kirliliği oluşturmayan, korozyona dayanıklı, yalıtkan ve elastik yapıda bir ürün sınıfındadır. Bazalt liflerin, betonun özelliklerinin iyileştirilmesine etkilerinin değerlendirildiği ilk araştırmalardan birisi Sim (2005) tarafından yapılmıştır. Bazalt kumaş ise inşaat sektöründe benzer ürünler olan karbon ve sentetik lifli kumaşların alternatifi olarak karşımıza çıkmakta, ayrıca yüksek mekanik özellikleri, kimyasal dayanımları, ses ve ısı izolasyon özellikleri ile başta otomotiv sektörü olmak üzere havacılık, savunma sanayi, gemicilik vb. birçok sektörde kullanılmaktadır [26].

Bazalt lifler ve epoksi reçine kullanılarak betonarme yapılarda kullanılan çelik formunda üretilen bazalt lifli donatı da Amerika, Rusya ve Ukrayna gibi ülkeler başta olmak üzere birçok ülkede, bazı yapı elemanlarında donatı çeliğine alternatif olarak kullanılan ürünlerdir. Lifli donatı, özellikle korozyon riski bulunan yapı elemanlarında donatı çeliği için önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Donatı çeliğinden daha yüksek dayanıma sahip olan bazalt lifli donatı, çelik donatıya oranla yaklaşık üç kat daha hafiftir. Aynı zamanda termal genleşme katsayısı da betonun genleşme katsayısına oldukça yakındır. Alkali reaksiyonlara karşı yüksek direnci de dikkate alındığında, birçok alanda donatı çeliğine alternatif olma potansiyeli bulunmaktadır [27,28].

2.2.1.2. Çelik Lifler ve Çeşitleri

Paslanmaz çelik lifler metalik liflerden en çok kullanılanlarıdır. Liflerin paslanmaz çelikten yapılıyor olması hem metallerin korozyona uğrama kusurunu ortadan kaldırmakta hem de çeliğin yüksek elastisite modülü ve dayanımı çelik lifi diğer tüm liflerden daha üstün bir hale getirmektedir.

Çelik lifler, düşük karbonlu çelik C 1008'den üretilirler. En önemli özellikleri, yüksek ve üniform çekme gerilmesine karşılık düşük uzama özellikleridir. Çekme gerilmeleri ortalama olarak 1200 MPa'nın üzerinde olup elastik limitleri % 0,2'nin altındadır[24].

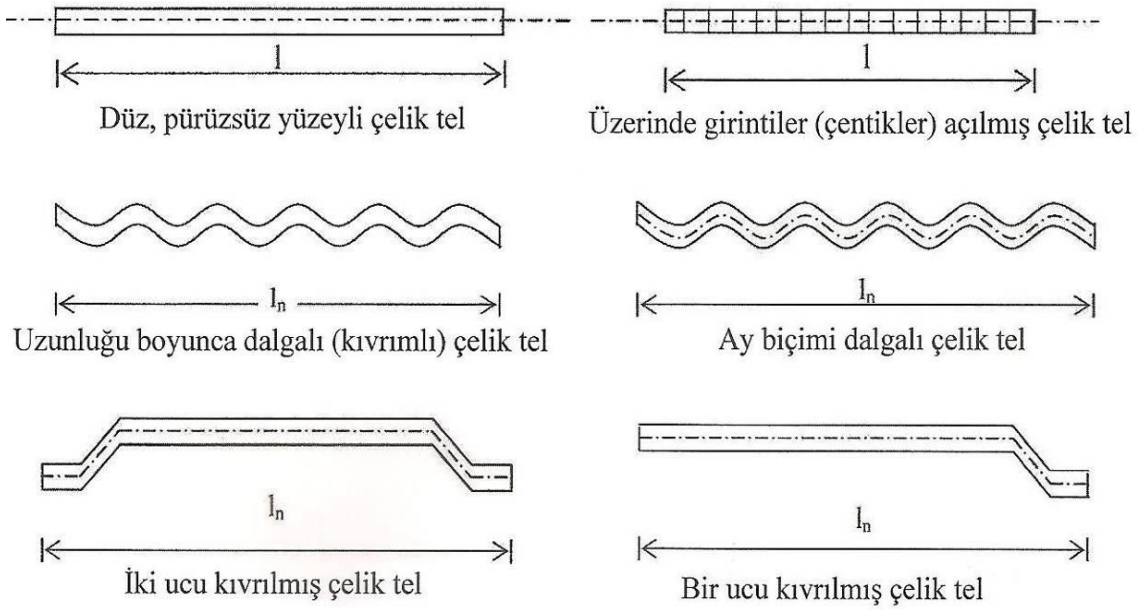
Beton takviyesinde kullanılabilecek çelik lifleri sınıflandıran ve özelliklerini belirten Amerikan Standardı ASTM A 820-96' da [29] çelik lifler 4 değişik şekilde sınıflandırılmıştır. Bunlar :

- Tip 1: Soğuk çekilmiş çelik lifler,
- Tip 2: Plakadan kesilmiş çelik lifler,
- Tip 3: Haddelenip çekilmiş çelik lifler,
- Tip 4: Diğer lifler

Bu lifler sadece oluşma biçimine göre sınıflandırılmıştır. TS 10513-92'ye [30] göre beton takviyesinde kullanılan, çelik lifler şekillerine göre üç grupta toplanmıştır:

- 1) Düz, pürüzsüz yüzeyli teller
- 2) Bütün uzunluğunca deforme olmuş teller
 - a) Üzerinde girintiler (çentikler) açılmış teller
 - b) Uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) teller
 - c) Ay biçimi dalgalı teller
- 3) Sonu kancalı teller
 - a) İki ucu kıvrılmış teller
 - b) Bir ucu kıvrılmış teller

Çelik liflerin şekilleri Şekil 2.2.'de verilmektedir.



Şekil 2.2. Çelik liflerin şekilleri (TS 10513, 1992)[30]

TS 10513 - 92' de çelik liflerin özellikleri ile ilgili iki önemli parametre vardır:

- Liflerin çekme-kopma dayanım ortalaması en az 345 N/mm^2 olmalıdır. Her bir lif için çekme-kopma dayanım 310 N/mm^2 'den az olmamalıdır.
- $16 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ 'lik ortamda, 3.18 mm 'lik bir iç çap çevresinde yapılan lif eğilme deneyine tabi tutulan liflerin %90'ının kırılmaksızın 90° eğilme yapabilmesi gerekmektedir.

2.2.1.3. Polipropilen Lifler

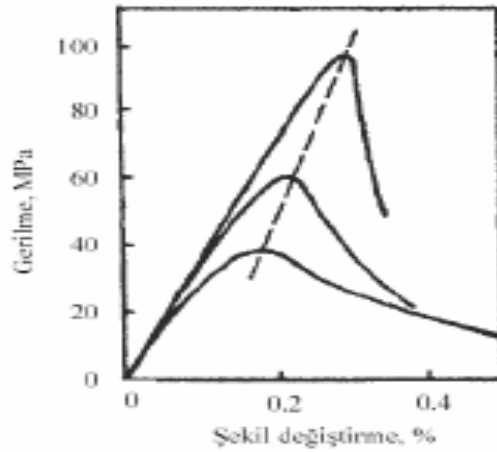
Polimerik lifleri doğal ve sentetik olmak üzere iki grupta toplamak mümkün. Doğal polimerik lifler; pamuk, sisal, hint keneviri gibi bitkisel kökenli yada yün, deri gibi hayvansal kökenli liflerden oluşmaktadır. Sentetik polimerik liflerin başlıcaları ise polipropilen, naylon, polietilen, aramid ve perlondur.

Polipropilen lifler ilk olarak 1960' larda betonda kullanılmıştır. Çimento esaslı malzemelerin takviyesinde en yaygın olarak kullanılan polimerik lifler; polipropilen liflerdir. Çekme dayanımları yüksek olan bu liflerin, elastisite modülleri düşüktür. Bu liflerin betonda kullanım miktarları oldukça düşüktür[51].

2.3. Lifli Beton Hakkında Genel Bilgi

Beton, üzerinde yapılan çalışmalarla basınç mukavemeti günden güne artan ve bu özelliğinden fazlasıyla yararlanan bir malzeme olmaktadır. Ancak artan basınç dayanımı betonun diğer mekanik kusurlarını kapatmamaktadır. Yüksek dayanımın yanında boşluk oranının minimuma indirilmesiyle basınç dayanımı ve durabilitesi artan betonun çekme dayanımı hep düşük seviyelerde kalmaktadır. Bununla beraber artan basınç mukavemetleri betonu daha da gevrek bir malzeme haline getirmektedir.

Betonda dayanım arttıkça eksenel şekil değiştirme kapasiteleri artmakta, tepe noktası geçildikten sonra gerilme düşüşü ani olmakta ve gevrek bir kırılma meydana gelmekte.



Şekil 2.3. Tek eksenli basınç altında normal ve yüksek dayanımlı betonlarda gerilme-şekil değiştirme eğrisi [31]

Betonun özelliklerini geliştirmek için sürekli olmayan çelik güçlendirme malzemelerinin kullanımıyla ilgili deneysel ve patent çalışmaları 1910 yılından bu yana devam etmektedir. Betonun çok düşük çekme dayanımına sahip olması nedeniyle beton elemanlarının tasarımında statik çekme gerilmelerinden kaçınılır. Dinamik yükleme durumlarında çekme gerilmeleri kaçınılmazdır. Çekme gerilmeleri ise bir çatlaktan pek çok çatlak yayılmasına neden olarak betonda göçmeye neden olur. Bu dağılı çatlaklar ise boyut etkisini doğurur. Çatlak gelişimine karşı betonun direncini ve sünekliliğini artırmak için betonun liflerle güçlendirilmesi etkili bir yoldur[24].

2.3.1. Lifli Betonun Amacı ve Özellikleri

Tasarım ve uygulama teknikleri açısından normal betonlardan farklı özellikleri olan betonlara “**özel beton**” denilmektedir. Bu tip betonlar şu şekilde üretilirler:

- Özellikleri değişik agrega kullanılarak,
- Katkı maddeleri eklenerek,
- Bileşimi değiştirerek normal agrega ve çimento kullanarak,
- Yapım tekniğinde değişiklik yaparak,
- Bu yöntemlerin bir kısmını aynı zamanda kullanarak.

Özel Amaçlı Betonlar;

- 1) Ağır betonlar
- 2) Hafif betonlar
- 3) Ateşe dayanıklı betonlar
- 4) Pompa betonu
- 5) Püskürtme betonu
- 6) Plastik maddeli betonlar
- 7) Prepakt Beton
- 8) Silindirle sıkıştırılmış beton
- 9) Kendiliğinden yerleşen beton
- 10) Vakum betonu
- 11) Endüstriyel zemin betonları
- 12) Renkli ve dekoratif beton
- 13) Grobeton
- 14) Ferrocement beton
- 15) **Lifli Beton**

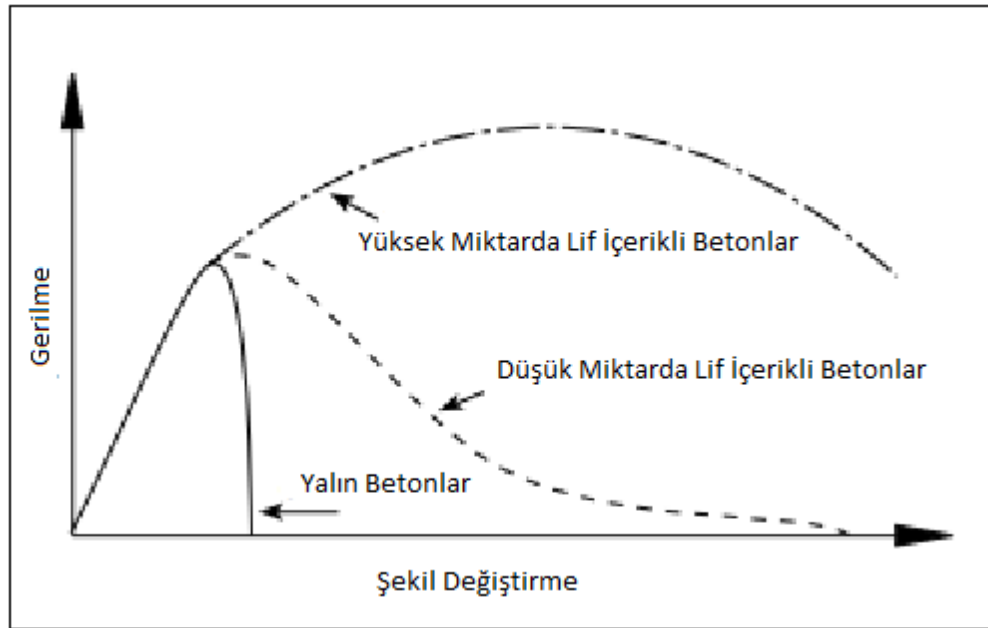
Lifli Beton da özel beton sınıfına girmektedir. Lifli Betonun gelişim süreci M.Ö. yıllara kadar dayanmaktadır. M.Ö. yıllarda; at yelesi, keçi kılı gibi lifler kullanılmaktaydı. 1900’lü yıllarda; asbest, çelik, cam, polipropilen, gibi lifler kullanılmaya başlandı.

Kerpiç, tuğla, harç gibi yapı elemanlarında saman çöpü, keçi kılı, insan saçı, at yelesi gibi lifler tercih edilirken, beton gibi yapı elemanlarında ise; çelik, polipropilen, karbon ve alkali dirençli cam lifler, doğal lifler tercih edilmektedir.

Geleneksel betonda kullanılan cam, sentetik, karbon ve çelik liflerin en önemli etkisi, betonda çatlak gelişimine engel olması. Bu nedenle, betondaki iç gerilmelere bağlı olarak oluşan mikro çatlakların büyümesi ve ilerlemesi, liflerin gerilme aktarma özelliği ile önlenmekte. Lifler, şekil ve miktarlarına bağlı olarak çimento matrisinde oluşan bazı gerilmeleri taşımakta ve uygun çimento-matris oranlarında gerilmeleri aktarma yapmaktadır[32].

Lifli beton üretilirken amaç; Betonun zayıf özelliklerinin belirgin olarak iyileştirilmesi ve güçlendirilmesi için beton içerisine değişik malzemeler katılarak teknik özellikleri geliştirilebilmektedir. Lifli betonlarda, bütün lif çeşitlerinde sağlanması gereken en önemli özellik liflerin beton içerisinde homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonra da bozulmaması. Beton içerisinde homojen olarak dağılı bulunan lifler betonda;

- Çatlak oluşmasını geciktirir,
- Çatlak yayılımını ve ilerlemesini önler veya geciktirir,
- Betonun enerji yutma kapasitesini (sünekliğini) önemli oranda geliştirir,
- Betonun çekme, eğilme, darbe dayanımı lifler sayesinde yüksek olur,
- Betonun tokluğunu arttırmaları.



Şekil 2.4. Lifli betonun tipik gerilme şekil değiştirme diyagramı [33]

2.3.2. Lifli Betonun Avantajları

Lifli Betonun Avantajlarını ise şöyle sıralayabiliriz:

Tablo 2.3. Lif takviyeli betonların bazı özelliklerinde görülen artışın yaklaşık değerleri

Mekanik Özellik	Artış (%)
Tokluk-Enerji Yutabilme	100-1200
Darbe Dayanımı	100-1200
İlk Çatlak Dayanımı	25-100
Çekme Dayanımı	25-100
Eğilme Dayanımı	50-100
Yorulma Dayanımı	50-100
Deformasyon Kapasitesi	50-100
Basınç Dayanımı	±25
Elastisite Modülü	±25
Kavitasyon-Erozyon Dayanımı	300

Lifli betonların avantajları olduğu kadar dezavantajları da bulunmaktadır. Genel olarak betonda lif içeriğini arttırdığımızda bu sefer işlenebilirlik sorunu karşımıza çıkar. Bu durumda da akışkanlaştırıcı katkıları kullanarak sorun çözülebilmektedir. Lifleri betonda hangi amaç için kullanacaksak o yönde lif çeşidi seçmemiz dezavantajları minimum düzeyde tutmamıza yardımcı olacaktır[34].

Tablo 2.4. Lifli Betonda Amaç Doğrultusunda Lif Çeşidi

AMAÇ	LİF ÇEŞİDİ
Taze beton çatlaklarının önlenmesi	Cam, sentetik (polipropilen, naylon, poliefin) lifler
Sertleşmiş betonda eğilme ve çekme dayanımının artırılması	Çelik, karbon lifler
Enerji yutabilme kapasitesinin artırılması	Çelik, polipropilen lifler
Aşınma dayanımının artırılması	Çelik lifler

Lifli Beton kullanma amacına göre oranları ise şu değişkenlere bağlıdır:

- Kullanılacak lif çeşidi,
- Liflerin boyutları,
- Liflerin geometrik şekilleri,
- Lif ile beton arasındaki kenetlenme özellikleri

2.3.3. Lifli Betonun Kullanım Alanları

Lifli betonun kullanım alanları şunlardır:

- Endüstriyel Yapılarda - döşemelerde dinamik yüklemeler ve termal etkilere karşı,
- Su yapılarında - kavite hasarları ve dinamik yüklemeler için,
- Püskürtme beton uygulamalarında - hasır çelik kullanılmaması, esneklik ve zaman tasarrufu için,
- Şev ve tünel kaplamalarında - stabilite sağlanması için,

- Havaalanı, liman ve karayolu döşemelerinde - tekrarlı yükler ve yorulma durumuna karşı,
- Kabuk yapılarda - mimari nedenler ve ince kesitler için,
- Depreme dayanıklı yapılarda - sünekliği arttırmak için,
- Yangına dayanıklı yapılarda - termal ve mekanik şok etkilerine karşı,
- Önyapımlı betonarme elemanlarda-çatlak oluşumunun engellenmesi için kullanılmaktadır[34].

Ayrıca lifli betonlar; püskürtme beton, sifcon, reaktif pudra betonu olarakta kullanılabilir. Örneğin; Uşak'ta demiryolu tünel tamirinde çelik lifli püskürtme beton kullanılmıştır.

2.3.4. Lifli Betonun Davranışı ve Çalışma Şekli

Malzemeler iç yapılarına göre;

- Metaller
- Seramikler
- Polimerler
- Kompozitler olarak ayrılırlar.

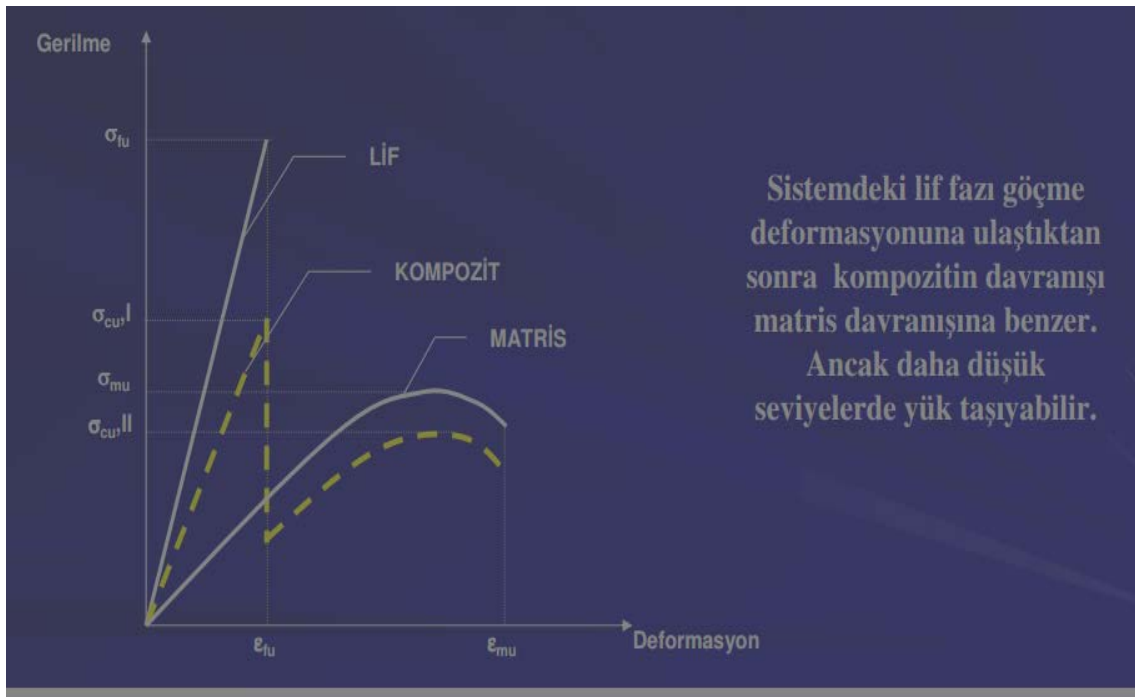
Kompozit malzemeler ise iç yapılarına göre;

- Partiküllü kompozitler
- Tabakalı kompozitler
- **Lifli kompozitler** olarak ayrılır.

Liflerle donatılı kompozitler matris ve lif fazının davranışına göre;

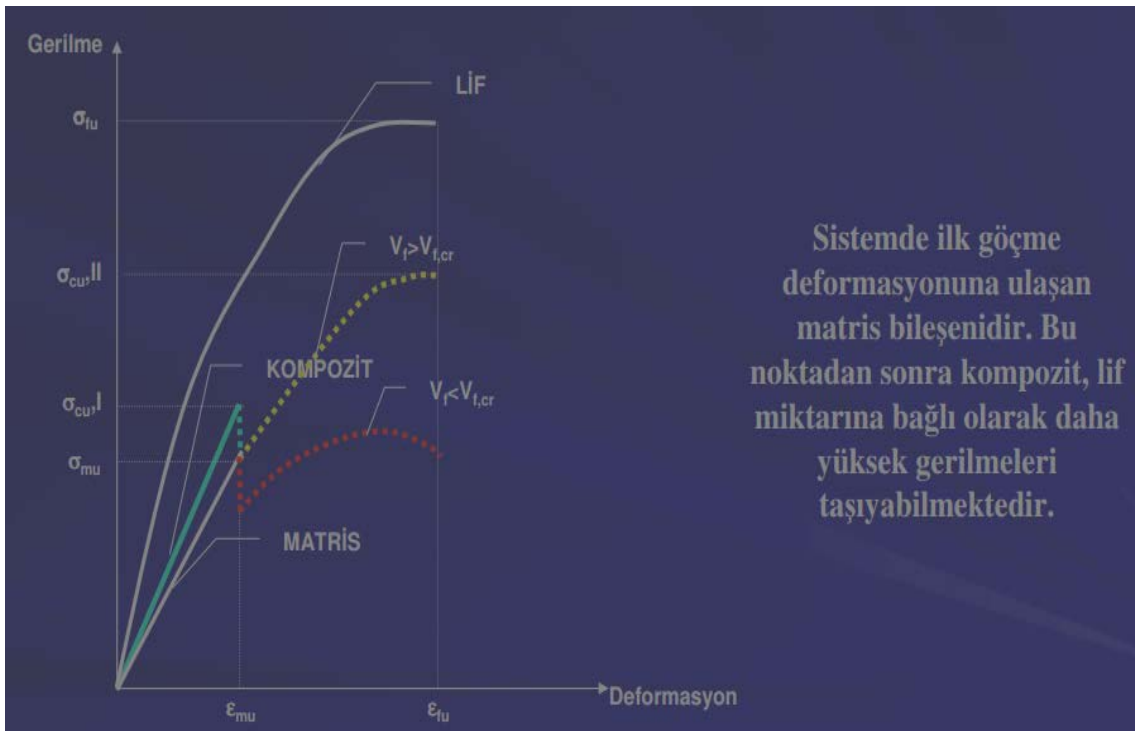
- Kırılgan Lif – Sünek Matrisli Sistemler
- Kırılgan Matris – Sünek Lifli Sistemler olarak ayrılır.

2.3.4.1. Kırılğan Lif – Sünek Matrisli Sistemler



Şekil 2.5. Kırılğan lif – Sünek Matrisli Sistemler

2.3.4.2. Kırılğan Matris – Sünek Lifli Sistemler



Şekil 2.6. Kırılğan Matris – Sünek Lifli Sistemler

Genel olarak en çok kullanılan sistem Kırılğan Matris – Sünek Lifli Sistemlerdir. Bu sistemlerde kırılma davranışları şu şekillerde yorumlanabilir:

- Lif miktarı kritik oranın altında ise; matris kırıldıktan sonra kompozit daha düşük seviyede yük taşımaktadır.
- Lif miktarı kritik oranında ise; matris kırıldıktan sonra kompozitin davranışı liflerin kopması ve matristen sıyrılması şeklindedir.
- Lif miktarı kritik oranın üzerinde ise; başlangıçta matris ve lifler tarafından taşınan gerilme matrisin göçmesi ile birlikte kompozit bünyesindeki gerilme bir miktar düşmekte, daha sonra lif miktarına bağlı olarak kompozit daha yüksek bir gerilmeyi taşıyabilmektedir [35].

Bu sistemlerde Matrisi oluşturan elemanlar; çimento, su, agrega, mineral ve kimyasal katkılarıdır. Çimento seçerken; normal betonlarda olduğu gibi lifli betonlarda da istenen performansa ve betonun kullanılacağı ortama uygun çimento seçimi yapılmalıdır. Çimento hamuru ile matrisin diğer bileşenleri arasındaki bağ tamamen fiziksel bir bağ olmalıdır. Çimento, hidrasyon reaksiyonlarını ve betonun performansını engelleyecek herhangi bir zararlı oluşum göstermemelidir. Su; temiz ve içilebilir nitelikte olmalıdır. Hidrasyon olayını etkileyen, liflerin bozulmasına neden olan asit, klor, sülfat, organik madde vb. zararlı bileşenler içermemelidir. Agregayı seçerken işlenebilirliği arttırmak ve homojen lif dağılımı elde edebilmek için iri agrega miktarı sınırlandırılmalıdır. İyi bir aderans için çakıl yerine kırmataş tercih edilmelidir. Dayanımı ve dayanıklılığı arttırmaya yönelik olarak lifli betonlarda uçucu kül, silika dumanı, taş tozu vb. mineral katkıları kullanılabilir. Betonda lif içeriğinin artışıyla ortaya çıkan işlenebilirlik sorununu ise akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları kullanarak gidermek mümkün olacaktır.

2.4. Çelik Lif ve Polipropilen Lif Takviyeli Kompozitlerin Özellikleri

2.4.1. Çelik Lifli Beton Hakkında Genel Bilgi

Çelik lifli beton, içerisinde homojen dağıtılmış küçük teller bulunan ve ince veya ince-kaba agrega kullanılarak üretilmiş bir kompozit malzemedir [24].

Çelik lif donatılı betonlar, 60'lı yılların başında geliştirildi ve lif tipleri üzerinde yıllar boyu süregelen araştırmalar ve uygulamalar, bu malzemeyi dünya çapında çeşitli uygulamalarda bilinen bir teknoloji haline getirdi. Günümüzde halen, dizayn ve hesap metotları geliştirilmektedir[36].

Çelik liflerin beton içerisine karıştırıldığında hangi ölçüde kullanılabileceği, lifin geometrik şekline ve lif ile beton matris arasındaki kenetlenme dağılımına bağlıdır. Bu nedenle birçok değişik geometrik formda çelik lif üretilmekte ve kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalar beton üzerindeki; eğilme dayanımında, basınç gerilmeleri altında ve enerji yutma kapasitelerinde en büyük iyileştirmeyi düz ve ucu hafif kıvrımlı liflerin sağladığını göstermiştir[24].

Yüzeyi pürüzlü, dalgalı ya da uçları kıvrılmış liflerin beton matrisinden sıyrılması, düz liflere göre daha zordur. Temel olarak lif, çeliğin doğası gereği çok yüksek çekme dayanımına sahiptir. Fakat çelik lifin bu yüksek performansının ne kadarının beton kesitte kullanılabileceği lifin tipine ve matrise aderansına bağlıdır. Liflerin belirli bir gerilmeden sonra matristen sıyrılması betonun performansını olumsuz etkiler. Bu sıyrılma olayı direkt olarak matrisin yapısı ile ilgili olmasına karşın kullanılan lifin özelliklerine de bağlıdır.

2.4.1.1. Çelik Lifli Betonun Yapısı

TS 10514 göre çelik lif takviyeli betonun yapısı ve kalitesi aşağıdaki maddeler halinde tanımlanmaktadır:

- Çimento miktarı en az 320 kg/m³ olmalıdır,
- Kum (0 mm – 4 mm) miktarı, toplam agregâ kütlesinin % 40 - % 45 olmalıdır (750 kg/m³ - 850 kg/m³),
- En büyük tane büyüklüğü, doğal agregâ için 28 mm, kırma taş için 32 mm olmalıdır. 14 mm'den büyük agregâ oranı, % 15 - % 20 ile sınırlanmalıdır,
- Betonun karakteristik basınç mukavemeti en az 20 MPa olmalıdır,
- Su / çimento oranı en çok 0.55 olmalıdır,
- Betona işlerlik sağlaması amacı ile akışkanlık verici katkıları kullanılabilir,
- Betonda bulunması gereken 0.25 mm'den küçük ince malzeme miktarı Tablo 2.5.'de verilmektedir.

Tablo 2.5. Betonda bulunması gereken ince malzeme miktarı (TS 10514, 1992)[37]

En Büyük Agregâ Tane Büyüklüğü (mm)	İnce Malzeme Miktarı (< 0,25 mm)	
	Kg/m ³	L/m ³
8	525	180-185
16	450	150-155
32	400	130-135
Not - (Çimento özgül kütlesi: 3,1 kg/ℓ) - (Kum yoğunluk: 2,65 kg/ℓ) olarak hesaplara katılacaktır.		

TS 10514 göre betona karıştırılacak en fazla tel miktarı, agregânın en büyük tane çapına ve uzunluk/çap oranına bağlı olarak Tablo 2.6.'daki gibi belirlenmiştir.

Tablo 2.6. Betona ilave edilebilen maksimum tel miktarı kg/m³ (TS 10514, 1992)[37]

En Büyük Tane Çapı D _{max} (mm)	Uzunluk/çap					
	60		75		100	
	Normal	Pompa	Normal	Pompa	Normal	Pompa
4	160	120	125	95	95	70
8	125	95	100	75	75	55
16	85	65	70	55	55	40
32	50	40	40	30	30	25

2.4.1.2. Çelik Lifli Betonun Kullanım Alanları ve Avantajları

Çelik lif donatılı betonlar için ilk uygulama alanlarından biri, elastik zemine oturan beton plaklar oldu. Bugün milyonlarca metrekare çelik lif donatılı zemin betonu dökülmektedir. Mikro çatlaklar arasında köprü görevini gördükleri ve gerilmeleri geniş bir alana transfer ettikleri için çelik lifler, kırılğan beton yapısını esnek ve dayanıklı hale getirmektedir. Sonuçta, gerilmelerin beton içindeki dağılımı değişmekte, yük taşıma kapasitesi belirgin bir şekilde artmaktadır. Tutkallı çelik lifler kolayca betona katılmakta ve homojen dağılmaktadır[36].

Çelik liflerin betonda kullanılmasının başlıca altı yararı vardır. Bunlar;

- Yüksek taşıma kapasitesine sahip sünek beton,
- Donatı korozyonunun oluşmadığı düzgün beton yüzeyinin elde edilmesi,
- Etkin çatlak kontrolü,
- Donatı işçiliğinde belirgin azalmalardır[31] .
- Basınç dayanımını doğrudan etkilediği, % 25 seviyesinde basınç dayanımı artışı görülebileceği gibi bazen de bu düzeyde bir dayanım kaybı ortaya çıkabileceği bilinmektedir. Bu durum beton içerisinde gelişigüzel dağılan liflerin yönelimi ile doğrudan ilgilidir. Yükleme doğrultusuna dik olan lifler betonun basınç gerilmesinde herhangi bir işlev yüklenmezken diğer lifler paralellikleri ölçüsünde basınç gerilmesi artmasına karşı duyarlıdırlar[39].
- Beton gibi çimento bileşenli kompozitlerin yarı-gevrek davranışı çeşitli özelliklerde lifler kullanılarak sünek davranışa doğru geliştirilebilir [38].

Betonda yeterli dozajda çelik liflerin varlığı hem dayanım hem de enerji yutma kapasitesini geliştirir. Lif miktarı ve lif narinliğinin çelik lifli betonun eğilme dayanımı, kırılma enerjisi ve tokluğu üzerinde önemli bir etkisi vardır. Lif miktarı ve narinliğindeki artışla eğilme dayanımı, kırılma enerjisi ve tokluk belirgin artış gösterir. Literatürde çelik lifli betonun sünekliğinin yalın betonun sünekliğinin yaklaşık 50 katı olduğu belirtilmektedir[38].

Çelik lifli betonların performansını etkileyen en önemli faktörler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Çelik lifin tipi,
- Çelik lifin geometrisi,
- Çelik lifin kullanım oranı (hacimce),
- Çelik lifin narinlik oranı,
- Liflerin beton içerisindeki dağılımı,
- Liflerin beton içerisindeki yönelimi,
- Lifli betonun matris mukavemeti,
- Lifli betonun hazırlanma metodudur[40].

2.4.1.3. Çelik Lifleri Betonda Kullanım Şekli

Çelik liflerin kullanımında; çelik korozyona maruz kaldığı için dikkat edilmesi gerekir. Gerekirse galvaniz kaplı çelik lifler kullanılmalıdır. Düz veya uçları çengelli çelik lifler tercih edilmelidir.

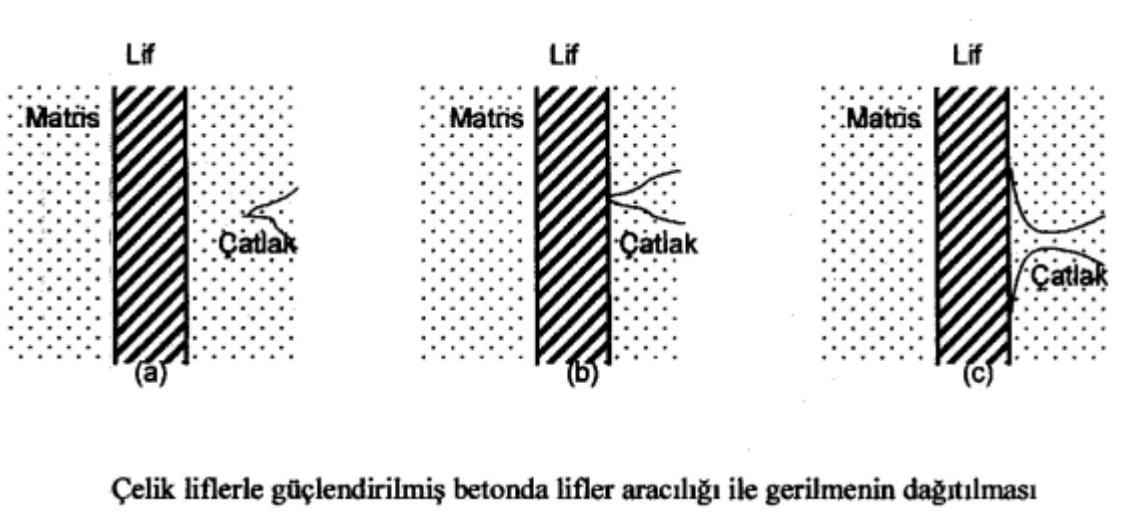
- Lif boyu $l=30\sim60$ mm arasında olmalı,
- Hacimce % 0.5~2 oranında olmalı,
- Görünüm oranı ise; $l/d = 60\sim100$ arasında olmalıdır.

(l =uzunluk, d =çap)

2.4.1.4. Çelik Lifli Betonun Davranışı ve Çalışma Şekli

Beton içerisine dağılmış olan lifler matriste ilerleyen çatlağın yol açtığı gerilmeleri kendi üzerlerine alırlar ve matrisin çatlamamış bölgelerine iletirler. Betonda lif bulunmaması halinde ise betona herhangi bir gerilme uygulandığında meydana gelen mikro çatlaklar gerilmenin artması ile çeşitli yönlere yayılarak belirli bir gerilme değerinde betonun parçalanmasına neden olmaktadır. Çatlak oluştuktan sonra ilerlerken yayılma için gereken enerji düşüktür ve genellikle çatlağın oluşması için gereken enerjinin yarısı olarak kabul edilir. Beton içerisinde lif bulunması halinde, başlangıçta mikroçatlağı meydana getiren enerji, lifler aracılığı ile çatlağın yanındaki sağlam bölgelere aktarılmaktadır. Bu nedenle çatlağın yayılması için daha fazla enerji gerekmektedir. Böyle bir enerjinin bulunması halinde bile, bu enerjinin büyük bir bölümü yine lifler tarafından taşınır ve bu taşıma liflerin matristen sıyrılması için gereken kuvvete kadar devam eder. Beton kırıldıktan sonra bile çelik lifler kırılan beton

parçalarını bir arada tutarak nihai yükten daha fazla bir yükün taşınmasına yardım etmektedir.



Şekil 2.7. Çelik liflerle güçlendirilmiş betonda gerilme dağılımı

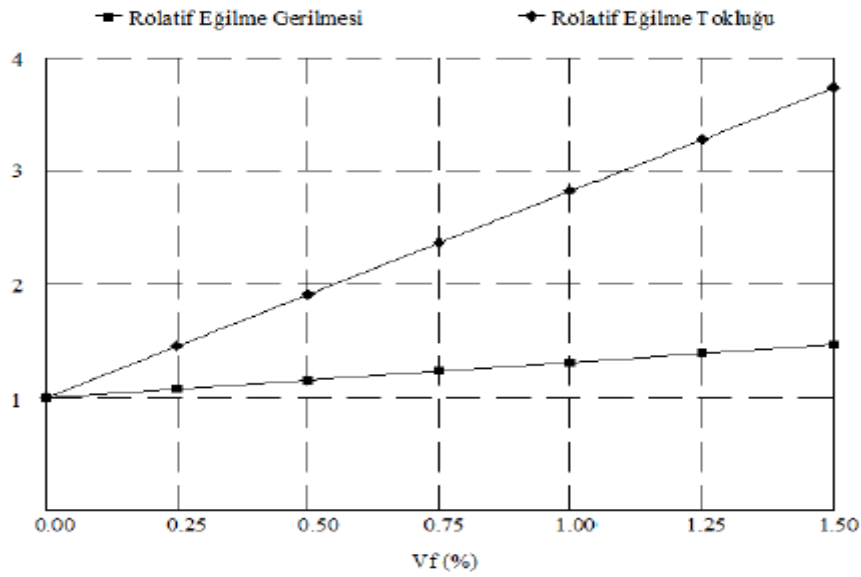
Çelik tellerin betondaki esas etkisi çatlak sonrası davranışta görülmektedir. Eğer uygun bir karışım tasarlanırsa; ilk çatlak oluştuğundan sonra matristeki rastgele dağılmış olan kısa çelik teller köprüleme etkisi ile çatlak ilerlemesini önlemektedir. Tellerin betondan sıyrılması sırasında, çatlak genişlemesi geciktirilmiş ve çatlak ilerlemesi önlenmiştir. Tellerin matristen sıyrılarak çıkması fazla enerji gerektirdiğinden toklukta belirgin bir artış elde edilmektedir[38].

Lifli betonlarda lifler ve agregaların birlikte etkileşim içerisinde olduğu bir toklaşma mekanizması vardır. Lifli kompozitte lifler ve agregalar çatlak köprülerdir. Çatlak açıldıkça liflerin çatlak köprüleme özelliği daha baskın hale gelir. Böylece, lifler üzerinden gerilmelerin geçtiği bir köprü görevi görürler. Çatlak açıldıkça lifler matristen sıyrılır ve bir miktar enerji sönmülendir. Uçları kancalı olan liflerde, lif sıyrılırken kancanın plastik deformasyonu ile bir miktar daha enerji sönmülendir ve kompozitin tokluğu artar. Geleneksel sıkıştırma işlemi görmüş çelik lifli betonlarda basınç gerilmeleri altında dayanımın artmasından çok basınç göçmesindeki süneklik gelişir.

Yalın betonların en büyük zaafı olan çekmeye karşı gösterdikleri düşük performanstır. Bu nedenle lif takviyesi asıl olarak betonun yüksek şekil değiştirmesini ve çekme dayanımını arttırmaktadır.

Basınç yüklemeleri altında kompozitin enerji yutma kapasitesindeki artış, statik yüklemeler altında ani ve patlama şeklindeki göçmenin önlenmesi ve dinamik yüklemeler altında ise enerjinin sönümlenmesi açısından önemlidir. Çelik lifli betonların çekme gerilmeleri altındaki mekanik performansı basınç gerilmeleri altındaki mekanik performansa göre belirgin bir şekilde daha yüksektir.

Lif oranındaki artış eğilme çekme, yarma çekme gerilmelerini arttırırken en çok tokluk değerinde fark oluşturmaktadır. Şekil 2.8’de artan lif hacminin çekme gerilmesi ve tokluk üzerinde rölatif değişimi görülmektedir.



Şekil 2.8. Lif içeriğinin eğilme çekme davranışına etkisi [41]

2.4.2. Polipropilen Lifli Beton Hakkında Genel Bilgi

Polimer liflerde betonla kullanılan ve en iyi sonuç veren lifler polipropilen liflerdir. Polipropilen lif katkıli betonlarda yarmada çekme dayanımı artarken, basınç dayanımı ve elastisite modülleri pek değişmemekte. Sentetik lifler çoğunlukla yüksek performanslı betonlarda taze beton özelliklerini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Yüksek performanslı betonlarda su oranı, akışkanlaştırıcı kimyasallarla minimuma çekilebilir. Ayrıca betondaki boşluk oranını minimuma indirmek adına daha ince malzemeler kullanılabilir. Bu ince malzemeler, karma suyunun çoğunu tutması sebebiyle betonda plastik rötre şekil değiştirmesine neden olacaktır. Betona sentetik lif katılması oluşacak rötre çatlaklarını engelleyerek betona çok önemli bir katkı yapmış

olmaktadır. Polipropilen ve polyester lifler en çok kullanılan polimer lifler arasında yer almaktadır. Bunun haricinde son yıllarda kullanımı yaygınlaşan poliolefin kökenli polimer liflerde mevcuttur[51].

2.4.2.1. Polipropilen Lifli Betonun Yapısı

Polipropilen Lifler; 2-5 kg/m³ arasında dozaj ile betona ilave edilebilmektedir. Lif miktarı arttıkça daha yüksek performans elde edilebilmektedir.

Polipropilen Lifler betonun her noktasına homojen olarak dağılarak üç boyutlu bir donatı sistemi oluştururlar. Böylece; her türlü dış yüklemelere ve oluşan iç gerilmelere karşı koyarak, çatlama riskini azaltırlar. Bu sentetik lifler betonun enerji yutma kapasitesini artırarak, çatlak başlangıcında çatlağın önünü keser ve ilerlemesini önler.

2.4.2.2. Polipropilen Lifli Betonun Kullanım Alanları ve Avantajları

Polipropilen lifli betonlar; temel kazığı, öngermeli kazıklar, kaplama panelleri, yürüyüş yolları, marinaların iskele elemanları, yol yamaları, büyük çaplı sualtı borularının kaplamaları, zemin betonları, dış kaplamalar, havaalanı zeminleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Polipropilen lifli betonların avantajlarını ise şu şekilde sıralayabiliriz :

- Yüksek süneklik ve enerji yutma kapasitesine sahiptir.
- Uyumu artırır ve segregasyonu azaltır.
- Darbe ve kırılma direncini artırır.
- Yangına karşı dayanıklıdır, korozyon riskinin olmaması.
- Alkali dayanımlı kimyasal inert malzemedir.
- Beton pompa ve hortumlarında aşınmayı azaltır
- Güvenli, kullanımı kolaydır.
- Nakliyesi basittir.
- Ekonomik olarak hasır demir ve çelik tele alternatiftir[51].

2.5. Lifli Betonda İşlenebilirlik ve Deneyler

Lifli betonun işlenebilirliğini etkileyen faktörler;

- Maksimum tane çapı,
- Tane dağılımı,
- Lif hacmi,
- Lif tipi,
- Lif görünüm oranı,
- Su/çimento oranı,
- Sıkışık hava miktarı.

Karışımındaki lif hacmi ve lif görünüm oranı (l/d) lifli betonlarda işlenebilirliği azaltan en önemli iki parametredir.

Lifli betonlar için 2 çeşit işlenebilirlik deneyi uygulanmaktadır. Bunlar; Ve-be deneyi ve Slump deneyidir. En uygun olanı Ve-be deneyidir. Slump deneyi daha çok göreceli olarak kullanılmaktadır [35].

2.5.1. Ve-be Deneyi (Çökme Deneyi ve Abrams Hunisi)

Vebe süresinin belirlenmesi yoluyla taze betonun kıvamını tayin etmek amacı ile yapılır. Bu deney, agrega en büyük tane büyüklüğü 63 mm'den daha fazla olan betonlara uygulanmaz. Vebe süresi 5 sn'den daha az ve 30 sn'den daha fazla olan betonların kıvamı Vebe Deneyi için uygun değildir. ($5\text{sn} \leq \text{Vebe Süresi} \leq 30\text{sn}$)


Taze beton, kalıp (çökme hunisi) içerisine sıkıştırılarak doldurulmaktadır. Kalıp yukarı doğru çekilerek alınır ve taze beton kütlesi serbest bırakılır. Saydam bir disk beton kütlesi üzerine, betona temas edinceye kadar indirilerek betonun çökmesi kaydedilir. Titreşim masası çalıştırılır ve saydam diskin alt yüzünün çimento şerbeti ile tamamen kaplanması (temas etmesi) için geçen süre "Vebe Süresi" ölçülür.

Bu deney için gereken cihazlar; silindirik şekilli kap, kalıp (çökme hunisi), disk, titreşim masası, sıkıştırma çubuğu, kronometre, tekrar karıştırma kabı, kepçe, kürek [42].

Vebe deneyi; öngerilmeli ve lifli beton uygulamalarında düşük işlenebilirliğe sahip karışımlar için uygun bir yöntemdir.

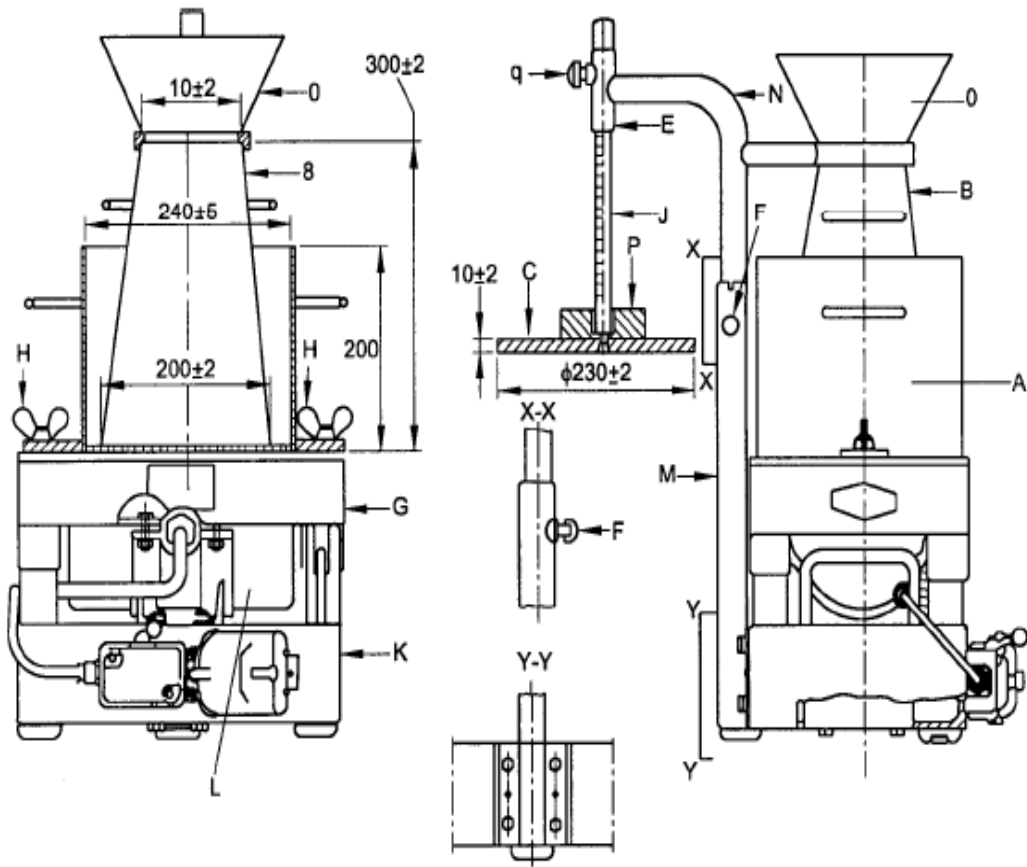
Vebe sınıfları Tablo 2.7.'de olduğu gibi belirlenmiştir:

Tablo 2.7. Vebe Sınıfları

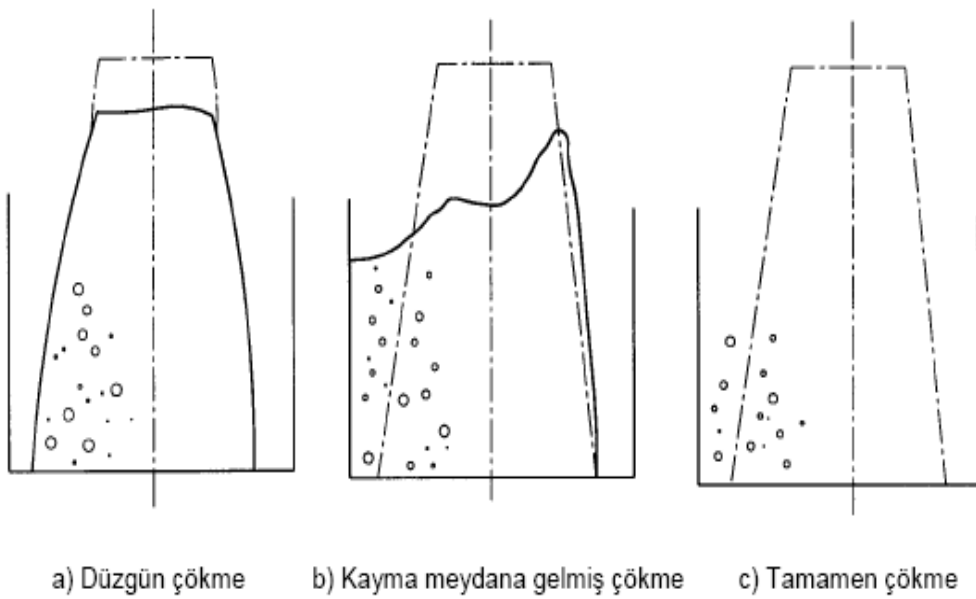
Sınıf	Vebe Süresi (sn)	
V0	≥ 31	 Aşırı kuru Akıcı
V1	30-21	
V2	20-11	
V3	10-6	
V4	5-3	

Vebe sınıfları aşırı kurudan (V0), akıcıya (V4) doğru sıralanmaktadır. 5 sn' den kısa ve 30 sn' den uzun vebe süreleri elde edilen betonlar, bu deney ile işlenebilirlikleri değerlendirilemeyecek betonlardır.

Ölçüler mm'dir.



Şekil 1 - Vebe ölçer (Konsistometre kıvam ölçer)



Şekil 2 - Çökme şekilleri

Şekil 2.9. Vebe Ölçer (Konsistometre kıvam ölçer), Çökme Şekilleri [42]

2.5.2. Slump Deneyi (Çökme Deneyi)

Slump deneyi, taze beton kıvamını tayin etmek amacı ile yapılır. Çökme deneyi, 10mm ile 200mm arasında çökme değerine sahip betonların kıvamındaki değişimleri ölçmektedir. Bu sınırlar dışında, çökme değerinin (slump değerinin) ölçülmesi yoluyla kıvam tayini uygun değildir ve bu durumda diğer kıvam tayini deneyleri kullanılmalıdır.

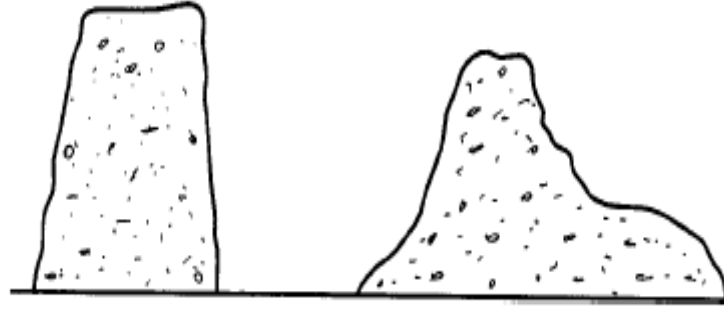
Deney esnasında, taze betondaki çökmenin, kalıbın (çökme hunisinin) çekilmesinden sonraki bir dakikalık süreden sonra da devam etmesi, çökme deneyinin bu betonun kıvamını tayin etmek için uygun olmadığını göstermektedir. Agregada en büyük tane büyüklüğü 40mm'den daha fazla olan betonlarda çökme deneyi uygun değildir.

Taze beton, kesik huni şekilli kalıp içerisine sıkıştırılarak doldurulup, kalıbın yukarı doğru çekilerek alınmasından sonra, taze beton kütleindeki çökme mesafesi, betonun kıvam ölçüsü olarak kullanılır.

Bu deney için gereken cihazlar; kalıp, sıkıştırma çubuğu, huni doldurma başlığı, cetvel, taban plakası, kepçe, kürek, kronometre.

Deney, ancak taze beton çökmesinin düzgün şekilde gerçekleşmesi halinde geçerli olur. Numunenin kayması halinde, yeni numune kullanılarak deney tekrarlanmalıdır. Ardı ardına yapılan iki deneyde de beton kütlelerinden kayarak ayrılan parça olması, taze betonun düzgün çökme deneyi yapılması için gerekli plastiklik ve kohezyona sahip olmadığını gösterir [43].

Slump Deneyi için Çökme Şekilleri ve Çökmenin Ölçülmesi Şekil 2.10.'da gösterilmiştir:



a) Düzdün çökme

(b) Kayma meydana gelmiş çökme

Şekil 1 - Çökme şekilleri



Şekil 2 - Çökmenin ölçülmesi

Şekil 2.10. Çökme Şekilleri ve Çökmenin Ölçülmesi [43]

2.6. Aderans Hakkında Genel Bilgi

Aderans; birbirinden farklı iki malzemenin beraber çalışma durumuna denir. Mesela; beton harcının agrega yüzeyine yapışması, boyanın ince bir tabaka halinde çatlamadan duvarda yüzeyde durması adersa örnektir. Ama adersa en güzel örnek; betonarme donatısı ile betonun birbiri içerisinde beraber çalışmasıdır. Donatı ve betonun birbirlerine etkisi sonucu bazı şekil değişiklikleri meydana gelir. Bu durum sonucunda malzemeler arasında gerilme geçişleri olur. Malzemeler arasında kayma olmadan oluşan bu gerilme geçişine “adersa” denir. Adersa; çelik çubuk ile beton arasındaki kesme gerilmelerine karşılık gelmektedir. Donatıdaki gerilme, moment değişimine paralel olarak artar veya azalır. Betona özgü olan büzme ve sünme gibi deformasyonlar, donatıyı da etkiler. Nervürlü demirler adersa artırıcı etkisinden dolayı betonarme yapılarda kullanılması zorunlu hale getirilmiştir. (2007 Deprem Yönetmeliği’nde düz çelikler yerine nervürlü çeliklerin kullanılması zorunludur.)

Diğer taraftan önemli bir husus ise adersa boyudur. Adersa boyu; beton ile betonarme çeliğinin beraber çalışmasını sağlayan en kısa boydur. Betonarme yapı içerisinde çelik eklerinde, filizlerde, kiriş-kolon mesnet bağlantılarında adersa boyu önem arz etmektedir.

Aderansta diğer önemli bir husus ise betonarme imalatında sıkıştırma işleminin doğru yapılmasıdır. Ayrıca gerekli durumlarda adersa artırıcı katkı maddesi kullanılabilir. Örneğin; Soğuk derz olan yerlerde, eski beton ile yeni betonun kaynaşması gibi [44].

2.6.1. Aderansı Belirleme Yöntemleri (Çekme Dayanımı)

Beton çekme dayanımı; betonda çekme etkisi oluşturacak kuvvetlerin neden olacağı kırılmaya ve şekil değiştirmeye karşı, betonun gösterebileceği direnme kabiliyeti olarak tanımlanabilir [47].

Çekme deneyi; malzemelerin statik (darbesiz) yük altındaki mukavemet özelliklerini saptamak ve malzemelerin özelliklerine göre sınıflandırılmasını sağlamak amacıyla uygulanan deneydir.

Yapıdaki betona doğrudan çekme kuvveti uygulanmamaktadır. Fakat beton elemanlarının üzerlerine gelen basınç ve eğilme kuvvetleri betonun içerisinde çekme kuvvetlerinin oluşmasına sebep olur. Betonda büzülme olması durumunda yer alacak şekil değiştirmelerin agrega taneleri ve betondaki donatı tarafından engellenerek serbestçe yer almaması nedeniyle de beton içerisinde çekme kuvvetleri oluşmaktadır.

Çekme dayanımı standartlarda 28 gün olarak verilse de çekme dayanımının zamanla gelişimi incelenmelidir. Bu belirleme; yarma ve eğilme deneyleri ile her yaş için en az 6 numune alınarak yapılabilir. Ortalama dayanımlar bulunarak her yaş için bir çekme dayanımı hesaplanabilir.

Betondaki basınç ve çekme dayanımları birbiriyle alakalıdır. Betonun çekme dayanımı, basınç dayanımının % 9~10'u kadar olmaktadır. Betonun kalitesine ve yaşına bağlı olarak, bu oran % 7~17 arasında değişmektedir. Yapıların tasarım hesaplarında kullanılan dayanım türü genellikle basınç dayanımıdır. Fakat betonun çekme kuvvetine karşı direnme kabiliyeti çok düşük olduğundan, çekme dayanımının değeri betonun içerisindeki çatlakların ve kırılmaların oluşmasına neden olmaktadır.

Çekme dayanımı özellikle lifli betonlarda kullanılmaktadır. Betonun çekme dayanımı 3 farklı yöntemle bulunur:

- 1) Doğrudan Çekme Dayanımı Deneyi (Çekme yükleri doğrudan uygulanır)
- 2) Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi (Çekme yüklerinin dolaylı olarak uygulanması)
- 3) Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi (Beton kirişlere eğilme yüklerinin uygulanması)

Eğilmedeki çekme dayanımı, yarmadaki çekme dayanımından daha büyük olur. Yarmadaki çekme dayanımı da, doğrudan çekme dayanımından daha büyük olur.

Eğilmede Çekme Dayanımı>Yarmada Çekme Dayanımı>Doğrudan Çekme Dayanımı

2.6.1.1. Doğrudan Çekme Dayanımı Deneyi

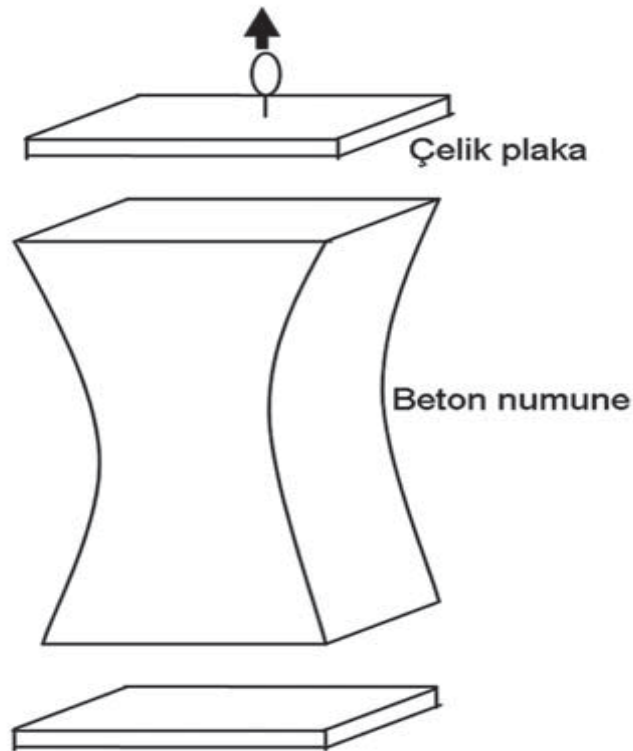
Betonun doğrudan çekme yükleri altındaki dayanımını belirlemek için standart bir deney yöntemi olmadığı için, kullanılan çekme numuneleri özel boyutlu olmaktadır. Numunelere doğrudan çekme yükleri uygulamak için özel çekme başlıkları yapılır.

Silindirik veya prizmatik olarak hazırlanan numunelerin alt yüzeyleri tutkallanır ve çelik plakalara yapıştırılır. Çelik plakaların ağırlık merkezlerine sabitlenmiş çubuklardan P kuvveti uygulanır. Çekme dayanımı;

$$\sigma_{\text{çekme}} = P/A \quad (\text{denklem 2.1.})$$

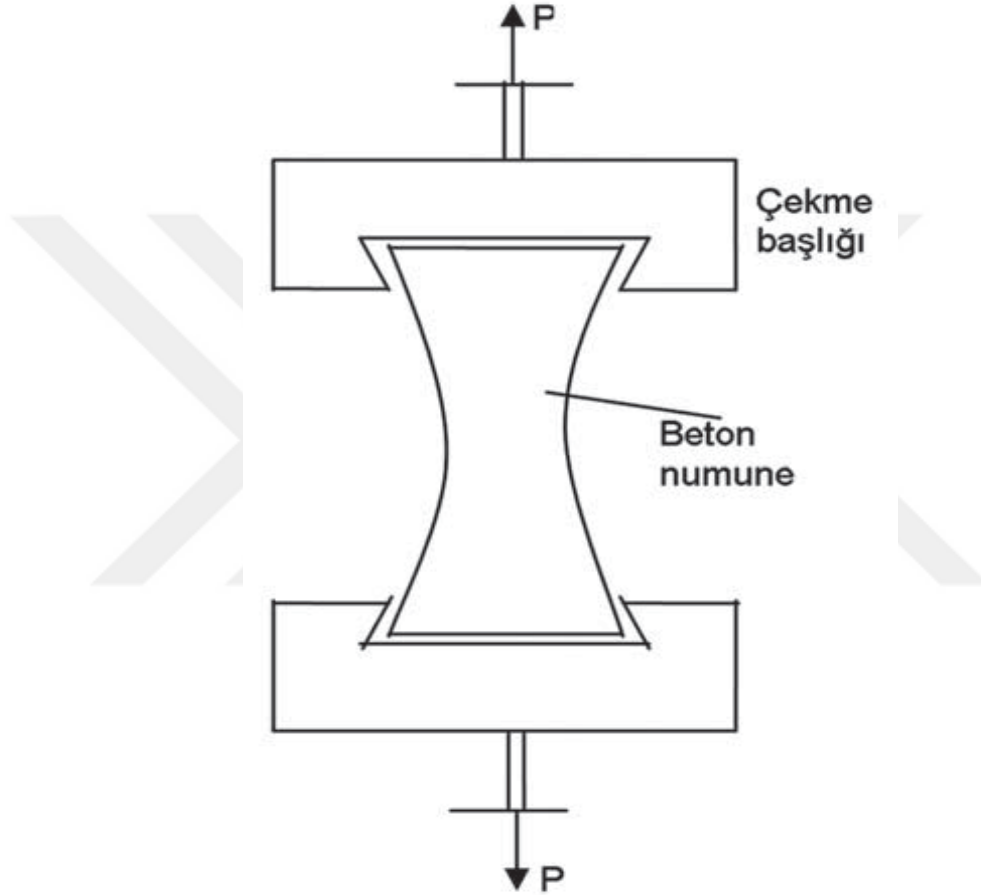
formülünde değerler yerine koyularak bulunur.

Doğrudan çekme deneyinde, numune kesit alanının tümü çekme gerilmesinin etkisi altındadır. Numune içerisinde yüksek çekme gerilmesi oluştuğunda, kesit alanının tümü üzerinde etkili olur. Betondaki çatlak, beton kesit alanının en zayıf noktasında başlar.



Şekil 2.11. Doğrudan çekme deneyleri için Kassar tarafından kullanılan numune-başlık düzeni

Kassas ve Erdoğan tarafından yürütülen bir araştırmada, beton numunelere şekil 2.11.'de görülen metal başlık düzeni takılmıştır. Numunelerin alt ve üst yüzeyleri, metal başlık düzenine çok kuvvetli bir yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Bu yöntemle, numunelere oldukça üniform dağılımlı çekme yükü uygulanabileceği sonucuna ulaşılmıştır[45].



Şekil 2.12. Rüşch'ün kullandığı aksenal çekme deney numune geometrisi

Yaklaşık 20 yıl kadar önce Rüşch betonda aksenal çekme deneyleri yapmayı başarmıştır. Rüşch'ün kullandığı deney numune geometrisi şekil 2.12'de gösterilmiştir. Prizma ve silindir şeklindeki bu deney numunesinde pres çenesinin numuneyi kavradığı yerdeki yerel kırılmayı önlemek için iki uçta kesit büyütülmüştür. Yük, beton deney numunesine yüksek dayanımlı yapıştırıcılar ile tutturulan, çelik plakalardan yararlanarak uygulanmıştır [46].

2.6.1.2. Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi

Deney yöntemi TS 3129 ile başlamış olup, şu an yürürlükte olan TS EN 12390-6 (Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini) standardı ile devam etmektedir.

Genellikle silindir şeklinde numuneler kullanılır. Numune deney presine, numune eksenine presin alt tablasına paralel olacak şekilde yerleştirilir. Uygulanan basınç yükü altında numune kırılır ve kırılma yükü ölçülür. Silindir numunenin kırılma şekli ortadan ikiye yarılarak gerçekleşir. Basınç yükü uygulanarak, betonda çekme gerilmeleri oluşacaktır. Numune üzerindeki çekme gerilmesi;

$$\sigma_{\text{çekme}} = 2.P / \pi.L.D \quad (\text{denklem 2.2.})$$

formülü ile hesaplanır[48].

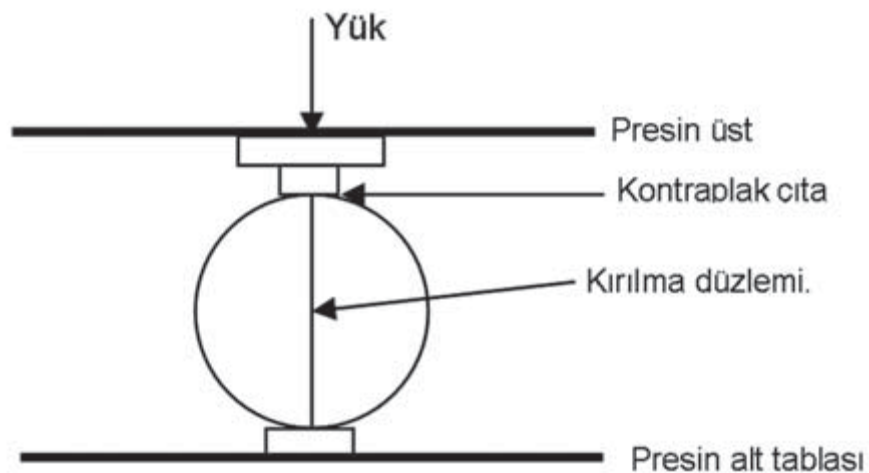
P = Kırılmaya neden olan basınç yükü,

L = Silindir numune boyu,

D = Silindir numune çapı,

$\sigma = \text{N/mm}^2$

Küp numuneler için $\sigma_{\text{çekme}} = P / L.D$ formülü ile hesaplanır.



Şekil 2.13. Yarma deneyi uygulama düzeni

2.6.1.3. Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi

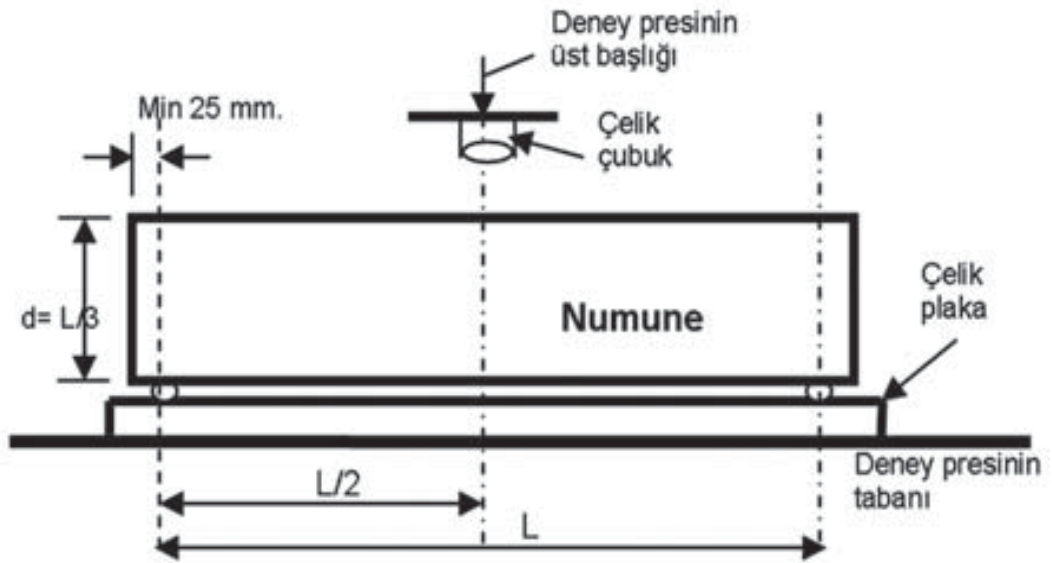
Deney yöntemi TS 3285 Standardı ile başlamış olup, yürürlükte olan TS EN 12390-5 standardı (Deney numunelerinde eğilme dayanımının tayini) ile devam etmektedir.

Bu deney için kiriş numuneler hazırlanır. Bu kiriş numuneler genellikle; kare kesitli olmaktadır.

Beton kirişin oturtulduğu mesnetlerin arasındaki mesafenin orta noktasından yüklenmesi durumunda çekme dayanımı;

$$\sigma_{\text{çekme}} = 3.P.L / 2.b.d^2 \quad (\text{denklem 2.3.})$$

formülü ile hesaplanır.



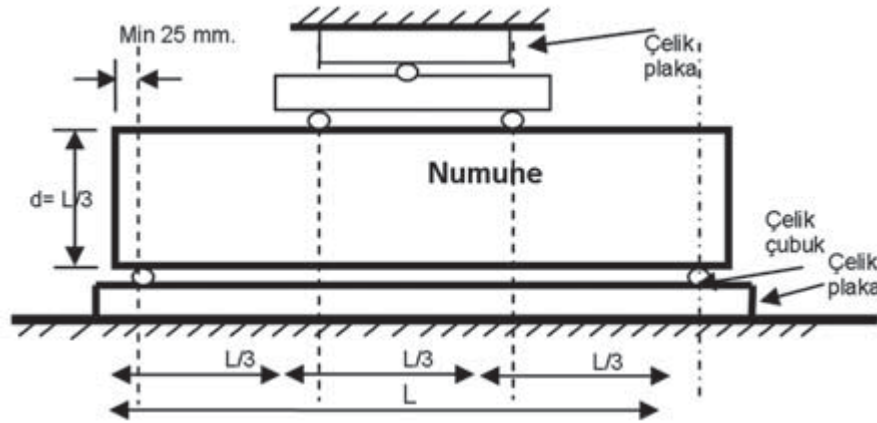
Şekil 2.14. Orta noktasından yüklenmiş kiriş eğilmede çekme deney düzeneği

Beton kirişin oturtulduğu mesnetlerden $L/3$ uzaklıktaki iki noktadan yüklenmesi durumunda çekme dayanımı;

$$\sigma_{\text{çekme}} = P.L / b.d^2 \quad (\text{denklem 2.4.})$$

formülü ile hesaplanır.

Bu deney yöntemi ise; ilk olarak yürürlüğe TS 3284 standardı ile girmiş olup, şuan TS EN 12390-5 standardı ile yürürlüktedir.



Şekil 2.15. Üçte bir noktalarından yüklenmiş kiriş eğilmede çekme deney düzeni

Eğilmede çekme dayanımı deneyinde; kiriş kesitinde tarafsız eksenden uzaklaştıkça, elde edilen gerilme dayanımı daha yüksek olmaktadır. Eğilme yükü altındaki kirişte, en büyük çekme gerilmesi, kiriş kesitinin en altında oluşmaktadır. Betondaki çatlaklar burada başlamakta ve iç kısımlara doğru ilerleme göstermektedir. Kiriş kesitinin en alt bölgesinden tarafsız eksene doğru yaklaşıldıkça kiriş kesitinde oluşan çekme gerilmeleri daha az olmaktadır [49].

3. MATERYAL VE METOD

Bu bölümde, deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri, fiziksel özellikleri, harç karışımlarında kullanılan malzeme oranları ve gerçekleştirilen deneysel çalışmalara yer verildi.

3.1. Deneysel Çalışmalar

Bu bölümde üretimde kullanılan malzemeler, bu malzemelerin özellikleri ve yapılan taze ve sertleşmiş beton deneyleri verildi.

3.1.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

3.1.1.1. Çimento

Numunelerde kullanılan çimento; TS EN 197-1'e uygun olarak Konya Çimento tesisinde üretilen Portland Çimento 42.5 R olup, fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 3.4.'de verilmektedir.

Tablo 3.1. Kullanılan çimentonun fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri

Fiziksel Özellikler	
Özgül Yüzey (Blaine) (mm ² /g)	335
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3,20
Priz Başlangıcı (dakika)	180
Priz Sonu (dakika)	246
Mekanik özellikler	
Basınç Dayanımı (2.gün-MPa)	26,8
Basınç Dayanımı (28.gün-MPa)	59,8
Kimyasal özellikler	
Cl- (%)	0,008
SO ₂ (%)	2,5
C ₃ S (%)	58
C ₂ S (%)	15
C ₃ A (%)	4,3
Toplam Alkali (%)	0,56
Kızdırma Kaybı (%)	2,1

Hazırlamış olduğumuz numunelerde çekme deneyleri için kullanılan her bir grup için toplam çimento miktarı 33,6 kg.dır.

Hazırlamış olduğumuz numunelerde yarma deneyi için kullanılan her bir grubun toplam çimento miktarı 11,2 kg.dır.

3.1.1.2. Agregalar

Üretilen karışımlarda kum, kırma taş 1, kırma taş 2, atık agrega 1 ve atık agrega 2 olmak üzere 5 tip agrega kullanılmıştır. Kullanılan kum kırma taş agrega kumudur.

Hazırlamış olduğumuz numunelerde çekme deneyleri için kullanılan her bir grubun toplam agrega miktarı ;

Kum (0-4 mm) : 138,6 kg

Kırma taş 1 (4-11 mm) + Atık agrega 1 (4-11 mm) :46,56 kg

Kırma taş 2 (11-22 mm) + Atık agrega 2 (11-22 mm) :46,68 kg dır.

Hazırlamış olduğumuz numunelerde yarma deneyi için kullanılan her bir grubun toplam agrega miktarı :

Kum (0-4 mm) : 46,2 kg

Kırma taş 1 (4-11 mm) + Atık agrega 1 (4-11 mm) :15,52 kg

Kırma taş 2 (11-22 mm) + Atık agrega 2 (11-22 mm) :15,56 kg dır.

Beton bileşimlerinde her grup için agrega granülometrisi sabit tutulmuştur.Kullanmış olduğumuz iri ve ince agregalar için “TS EN 933-1 Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler” standardına uygun olacak şekilde elek analizi yapılmıştır.

Tablo 3.2. TS EN 933-1 Elek Sistemine Göre Beton Kumu Granülometrisi

Elek Açıklığı (mm)	Elekten Geçen Malzeme	
	Min. (%)	Max.(%)
8	100	100
4	95	100
2	55	90
1	30	80
0,5	15	45
0,25	3	20

Tablo 3.3. TS EN 933-1 Elek Sistemine Göre İri Agrega Granülometrisi

Elek Açıklığı (mm)	Elekten Geçen Malzeme				
	1.No'lu Mıdır	2.No'lu Mıdır	3.No'lu Mıdır	Balast	Tuvenan Çakıl veya Karışık Mıdır
40	100	100	100	100	100
31,5	100	100	100	0-20	95-100
16	95-100	60-95	0-20	0-10	50-70
8	60-90	0-15	0-5	0-3	20-34
4	0-15	0-4	-	-	0-10
2	0-4	-	-	-	-

3.1.1.3. Yüksek Performanslı Akışkanlaştırıcı

Sika firması tarafından üretilen yüksek performanslı akışkanlaştırıcı grubundan olan “Sika-Viscocrete-Hi-Tech-36” beton katkı malzemesi kullanılmıştır. Bu akışkanlaştırıcı; betonun kıvamını uzun süre korumasında, betona kendiliğinden yerleşme özelliği kazandırmasında, geçirimsiz, yoğun ve düzgün yüzeyli, yüksek performanslı beton üretiminde oldukça etkilidir.

Numunelerin üretiminde kullanılan akışkanlaştırıcı kimyasal malzemesinin teknik özellikleri Tablo 3.4.’ de verilmektedir.

Tablo 3.4. Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı malzemesinin teknik özellikleri

Viscocrete Hi Tech 36 Akışkanlaştırıcının Teknik Özellikleri	
Görünüm	Sıvı
Renk	Açık Kahverengi
Yoğunluk (kg/l)	1,03-1,07
pH	3-7
Klorür İçeriği (%)	≤0,1
Alkali Miktarı (%Na ₂ O Eşdeğeri Olarak)	≤0,3
Donma Noktası (°C)	-4

Hazırlanmış olduğumuz numunelerde çekme deneyleri için kullanılan her bir grubun toplam akışkanlaştırıcı miktarı 0,336 kg.dır.

Hazırlanmış olduğumuz numunelerde yarma deneyi için kullanılan her bir grubun toplam akışkanlaştırıcı miktarı 0,112 kg.dır.

3.1.1.4. Polipropilen lifler

Bu çalışmada Enduro 600 makro-sentetik polipropilen lif kullanılmıştır. Dalgalı,kabartma yüzeyli, gri-parlak görünümde olan bu lifler tabliye betonları,saha betonları,otopark alanları,yol inşaatı,püskürtme beton gibi birçok alanda kullanılmaktadır.Ayrıca yüksek performanslı ve en son teknolojiye sahip makro sentetik bir liftir.

Tablo 3.5. Polipropilen lif özellikleri

Enduro 600 makro-sentetik polipropilen liflerin teknik özellikleri	
Boy (mm)	50
Çap (mm)	0,70-0,75
Narinlik (l/d)	71,43-66,67
Yoğunluk (g/cm ³)	0,91
Çekme Mukavemeti (MPa)	400-650
Elastisite Modülü (MPa)	7000

Hazırlamış olduğumuz numuneler için hacimce %0, %0,5, %1, %2 oranlarında lif kullanılmıştır. Bu oranlar şu miktarlarda numunelere ilave edilmiştir :

%0 lif : 0 kg

%0,5 lif : 0,332 kg

%1 lif : 0,637 kg

%2 lif : 1,274 kg

3.1.1.5. Su

Numunelerin hazırlanmasında içme suyu niteliğine sahip şehir şebekesinden sağlanan TS EN 1008'e uygun su kullanılmıştır.

Hazırlamış olduğumuz numunelerde çekme deneyleri için kullanılan her bir grubun toplam su miktarı 21 kg.dır.

Hazırlamış olduğumuz numunelerde yarma deneyi için kullanılan her bir grubun toplam su miktarı 7 kg.dır.

3.1.1.6. Çekme Donatısı

Aderans deneylerinde S 420, Ø 10 çapında, uzunluğu 1m. Olan nervürlü çelik çubuklar kullanılmıştır. Kullanılan nervürlü çelik donatıların mekanik özellikleri Tablo 3.6.'da verilmektedir.

Tablo 3.6. Kullanılan çelik donatıların özellikleri

S420 (Nervürlü) çeliğinin özellikleri	
Çekme Dayanımı (N/mm ²)	500
Akma Dayanımı (N/mm ²)	420
Min.Kopma Uzaması (%)	10
Elastisite Modülü (N/mm ²)	200000
Ø10 çelik çubuğunun özellikleri	
Çap (mm)	10
Alan (cm ²)	0,785
Birim Ağırlık (kg/m)	0,617
Hacim (m ³)	0,098

Yapmış olduğumuz çalışmamızda çekme ve yarma deneyi için numuneler üretirken kullanmış olduğumuz malzemelerin miktarlarının genel tablosu ise şu şekildedir :

Tablo 3.7. Her bir grup için çekme deneyi numunelerinde kullanılan malzemelerin karışım miktarları ve oranları

1.2.3.4.5. GRUP ÇEKME DENEYİ İÇİN KULLANILAN MALZEMELER	MİKTAR (Kg)	ORAN (%)
Kum (0-4 mm)	138,6	48,33
Kırma Taş1 + Atık Agregal(4-11 mm)	46,56	16,24
Kırma Taş2 + Atık Agregal2(4-11 mm)	46,68	16,28
Çimento	33,6	11,72
Su	21	7,32
Katkı Malzemesi	0,336	0,11
TOPLAM	286,776	100

Tablo 3.8. Her bir grup için yarma deneyi numunelerinde kullanılan malzemelerin karışım miktarları ve oranları

1.2.3.4.5. GRUP YARMA DENEYİ İÇİN KULLANILAN MALZEMELER	MİKTAR (Kg)	ORAN (%)
Kum (0-4 mm)	46,2	48,33
Kırma Taş1 + Atık Agregal(4-11 mm)	15,52	16,24
Kırma Taş2 + Atık Agregal2(4-11 mm)	15,56	16,28
Çimento	11,2	11,72
Su	7	7,32
Katkı Malzemesi	0,112	0,11
TOPLAM	95,592	100

Hazırlanan numunelere ait görseller EK-A'da yer almaktadır.

3.1.2. Deneysel Çalışmanın Amacı ve İçeriği

Bu tez çalışmasında aynı su, çimento, kum, katkı malzemesi oranına sahip betonlara farklı oranlarda katılan atık agregalar ve makro sentetik polipropilen lifler ile oluşan kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi amaçlandı.

Numuneler üretildikten sonra beton gruplarında, belirli boylardaki aderans durumunu tayin edebilmek için çekme deneyleri ve yarma deneyleri yapıldı.

3.1.3. Beton Karışımları

Çekme deneyleri numune grupları için; eşit su, çimento, katkı malzemesi, kum miktarlarına sahip numune betonlara iri agrega olarak atık agreganın % 0-25-50-75-100 oranlarında olduğu, polipropilen lif içeriğinin % 0-0,5-1-2 olduğu ve aderans çekme boyunun 5-10-15 cm olarak belirlendiği 60 farklı karışım hazırlanmıştır. Hata payını düşürmek için de hazırlanan her karışım, 3 numune olarak hazırlandı. Toplamda 180 tane numune beton karışımı hazırlandı.

Yarma deneyleri numune grupları için; eşit su, çimento, katkı malzemesi, kum miktarlarına sahip numune betonlara iri agrega olarak atık agreganın % 0-25-50-75-100 oranlarında olduğu, polipropilen lif içeriğinin % 0-0,5-1-2 olduğu 20 farklı karışım hazırlandı. Hata payını düşürmek için ise her karışım 3 numune olarak hazırlandı. Toplamda 60 tane numune beton karışımı hazırlandı.

Üretmiş olduğumuz beton numuneler beton sınıfı olarak C25/30 standartlarındadır. 1m^3 C25/30 sınıfında beton üretmek için gerekli olan miktarlar belirlendikten sonra, kullanacağımız küp numune boyutlarına, oluşturulan gruplar için gerekli olan numune sayılarına göre toplam ihtiyacımız olan beton hacmi hesaplandı. Bu durumda çekme deneylerimiz için toplamda $0,6\text{ m}^3$ beton üretilirken, yarma deneylerimiz içinse $0,2\text{ m}^3$ beton karışımı hazırlandı. Toplamda ise $0,8\text{ m}^3$ hacminde C25/30 sınıfında beton üretildi.

Beton üretiminde kullanılan malzemeler, miktarları ve oranları Tablo 3.9.'da verilmiştir.

Tablo 3.9. 1 m³ C25/30 sınıfında beton üretmek için gerekli olan malzemeler ve miktarları

1 M³ BETON (C25/30) İÇİN KULLANILAN MALZEMELER	MİKTAR (Kg)	ORAN (%)
Kum (0-4 mm)	1155	48,33
Kırma Taş1 + Atık Agregal (4-11 mm)	388	16,24
Kırma Taş2 + Atık Agregal2 (11-22 mm)	389	16,28
Çimento	280	11,72
Su	175	7,32
Katkı Malzemesi	2,8	0,11
TOPLAM	2389,8	100

3.1.4. Numune Kodları

Numune kodlamaları çekme deneyleri için; atık agregal, lif ve aderans çekme boyunu belirtecek şekilde, yarma deneyleri için ise; kullanılan atık agregal ve lif miktarına göre oluşturuldu.

- 1.grup numuneler; hacimce %0 atık agregal içeriğine sahip olup diğer gruptaki numuneler ile karşılaştırma yapacağımız referans numuneler olarak üretildi.
- 2.grup numuneler; hacimce %25 atık agregal içerecek şekilde üretildi.
- 3.grup numuneler; hacimce %50 atık agregal içerecek şekilde üretildi.
- 4.grup numuneler; hacimce %75 atık agregal içerecek şekilde üretildi.
- 5.grup numuneler; hacimce %100 atık agregal içerecek şekilde üretildi.

Ayrıca 1.2.3.4.5. grup numunelere % 0-0,5-1-2 oranlarında makro sentetik polipropilen lif ilave edildi. %0,5 lif oranı 0,332 kg, %1 lif oranı 0,637 kg, %2 lif oranı 1,274 kg olacak şekilde numuneye eklendi.

Numune kodlaması yapılırken ilk gruptaki sayı ve harf atık agregal yüzdesini ve atık agregal olduğunu "0A", ikinci gruptaki sayı ve harf kullanılan polipropilen lif yüzdesini ve lif olduğunu "0L", üçüncü gruptaki sayı ve harf ise cm. cinsinden kenetlenme boylarını ve aderansa ait olduğunu "5A" göstermektedir.

Örneğin; 0A-0L-5A kodlu numune “%0 atık agrega kullanıldığını, %0 polipropilen lif kullanıldığını, 5cm kenetlenmede aderans çekme boyu deneyi yapıldığını” göstermektedir.

Çekme ve yarma deneyleri için üretilen karışımların numune kodlamaları Çizelge 3.10 ve 3.11’ de verilmiştir.

Tablo 3.10. Çekme deneyi için numune kodlamaları

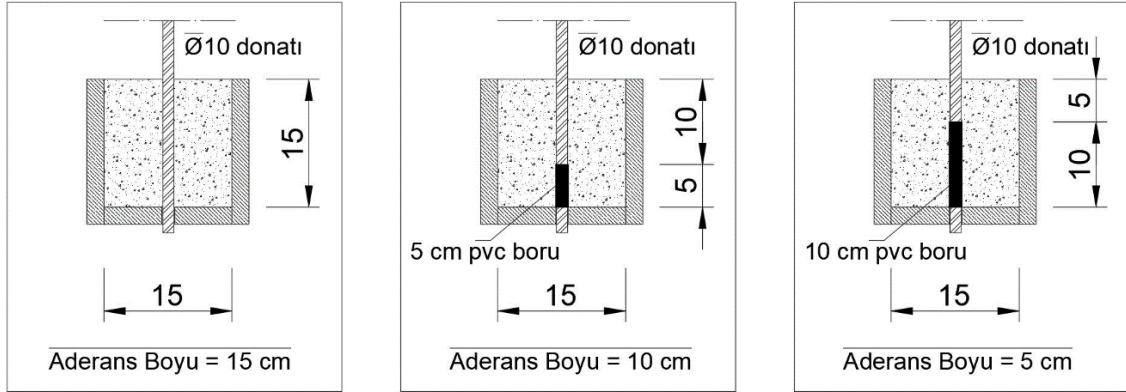
	1. GRUP	2. GRUP	3. GRUP	4. GRUP	5. GRUP
NUMUNE KODLAMALARI	0A-0L-5A	25A-0L-5A	50A-0L-5A	75A-0L-5A	100A-0L-5A
	0A-0L-10A	25A-0L-10A	50A-0L-10A	75A-0L-10A	100A-0L-10A
	0A-0L-15A	25A-0L-15A	50A-0L-15A	75A-0L-15A	100A-0L-15A
	0A-0,5L-5A	25A-0,5L-5A	50A-0,5L-5A	75A-0,5L-5A	100A-0,5L-5A
	0A-0,5L-10A	25A-0,5L-10A	50A-0,5L-10A	75A-0,5L-10A	100A-0,5L-10A
	0A-0,5L-15A	25A-0,5L-15A	50A-0,5L-15A	75A-0,5L-15A	100A-0,5L-15A
	0A-1L-5A	25A-1L-5A	50A-1L-5A	75A-1L-5A	100A-1L-5A
	0A-1L-10A	25A-1L-10A	50A-1L-10A	75A-1L-10A	100A-1L-10A
	0A-1L-15A	25A-1L-15A	50A-1L-15A	75A-1L-15A	100A-1L-15A
	0A-2L-5A	25A-2L-5A	50A-2L-5A	75A-2L-5A	100A-2L-5A
	0A-2L-10A	25A-2L-10A	50A-2L-10A	75A-2L-10A	100A-2L-10A
	0A-2L-15A	25A-2L-15A	50A-2L-15A	75A-2L-15A	100A-2L-15A

Tablo 3.11. Yarma deneyi için numune kodlamaları

	1. GRUP	2. GRUP	3. GRUP	4. GRUP	5. GRUP
NUMUNE KODLAMALARI	0A-0L	25A-0L	50A-0L	75A-0L	100A-0L
	0A-0,5L	25A-0,5L	50A-0,5L	75A-0,5L	100A-0,5L
	0A-1L	25A-1L	50A-1L	75A-1L	100A-1L
	0A-2L	25A-2L	50A-2L	75A-2L	100A-2L

3.1.5. Numune Boyutları

Numunelerin aderans durumlarını çekme deneyi ile tespit edebilmek için 15x15x15 cm boyutlarında 36 adet prizma numune ve yarma deneylerini yapabilmek için 15x15x15 cm boyutlarında 12 adet prizma numune üretildi.



Şekil 3.1. Numunelerin boyut ve şekilleri

3.1.6. Taze Beton Deneyleri

Üretilen betonlarda taze beton deneylerinden birim hacim ağırlık deneyi ve slump (çökme) deneyleri yapıldı.

3.1.6.1. Birim hacim ağırlık deneyi

Üretilen numuneler kalıplara yerleştirilmeden önce, hacmi belirli olan bir kap içerisine vibrasyonla yerleştirildi ve taze betonun ağırlığı bulundu. Elde edilen bu ağırlık değerinin, hacime bölünmesiyle TS EN 12350-6'ya göre birim ağırlıklar elde edildi.

Çekme ve yarma deneylerimiz için üretmiş olduğumuz her bir numune aynı ağırlığa ve hacime sahip olduğu için tüm numunelerimizin birim hacim ağırlığı;

$$7966 \text{ gr} / 15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3 = 2,36 \text{ gr} / \text{cm}^3$$

olarak bulundu.

3.1.6.2. Slump (Çökme) Deneyi

Taze betonun kıvamı ve işlenebilirliği hakkında bilgi sahibi olmak amacıyla yapılır. Çökme konisi içerisine beton üç kademede şişlenerek yerleştirildikten sonra çökme konisinin yukarı kaldırılması ve betonun kendi ağırlığıyla yayılması sonrasında ilk konumuna göre yükseklik farkı ölçülerek çökme miktarı TS EN 12350-2 ' ye göre belirlendi. Taze beton deney sonuçları Tablo 3.12' de verilmektedir.

Tablo 3.12. Yalın ve lifli betonların taze beton deney sonuçları

	NUMUNE KODLARI	ÇÖKME (cm)	YAYILMA (cm)
1.GRUP	0A-0L-XA	23	48
	0A-0,5L-XA	18	50
	0A-1L-XA	13	45
	0A-2L-XA	8	43
2.GRUP	25A-0L-XA	20	44
	25A-0,5L-XA	25	50
	25A-1L-XA	19	39
	25A-2L-XA	18	30
3.GRUP	50A-0L-XA	25	45
	50A-0,5L-XA	24	40
	50A-1L-XA	21	40
	50A-2L-XA	20	39
4.GRUP	75A-0L-XA	25	48
	75A-0,5L-XA	20	40
	75A-1L-XA	12	40
	75A-2L-XA	10	37
5.GRUP	100A-0L-XA	21	34
	100A-0,5L-XA	22	42
	100A-1L-XA	20	40
	100A-2L-XA	13	42

Taze beton deneylerine ait görseller EK-B'de gösterilmektedir.

3.1.7. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Sertleşmiş beton deneyleri kapsamında küp numunelerde aderans durumunu tayin etmek için çekme deneyleri ve yarmada çekme deneyleri yapıldı.

3.1.7.1. Aderans Durumunun Tayini İçin Doğrudan Çekme Dayanımı Deneyi

28 gün olarak üretilen her grup beton için; aderans deneylerinde kullanılmak üzere 36 adet Ø 10 nervürlü donatılı (St 37), 15x15x15 cm ölçülerinde küp numuneler kullanıldı. Aderans örneklerinin, donatı derinliği 5, 10, 15 cm olarak seçildi. Numuneler üretimini takip eden gün kalıptan çıkarılmış ve deney yapılacak güne kadar sıcaklık kontrollü ve sirkülasyonlu kür havuzlarında saklandı.

Aderans kuvvetleri, hidrolik pompada bulunan bar göstergesi kullanılarak ölçüldü. Elde edilen yük verileri, beton presinde kalibre edilerek hesaplandı. Çekip çıkarma deneyleri sırasında elde edilen verilerden aderans kuvveti ve uzama eğrileri belirlendi.

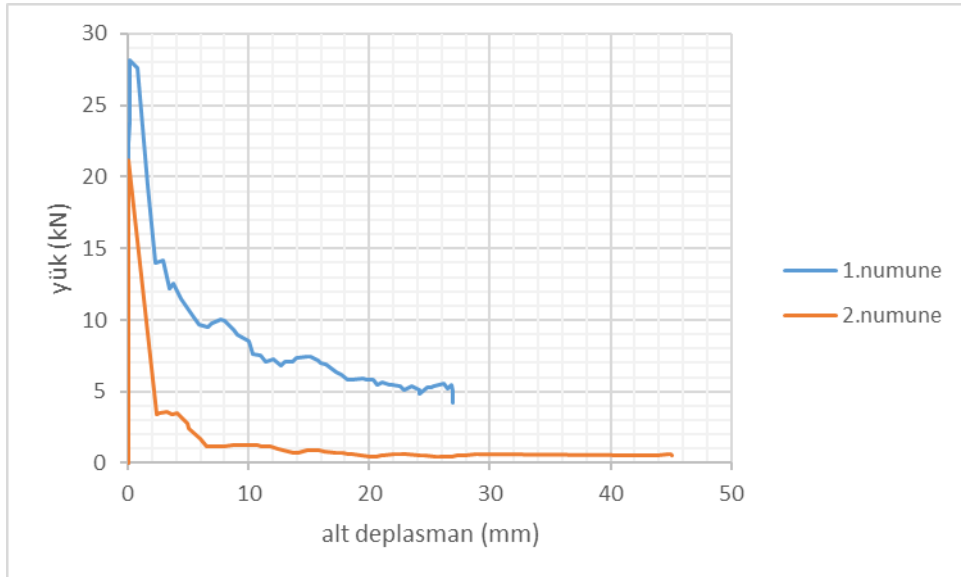
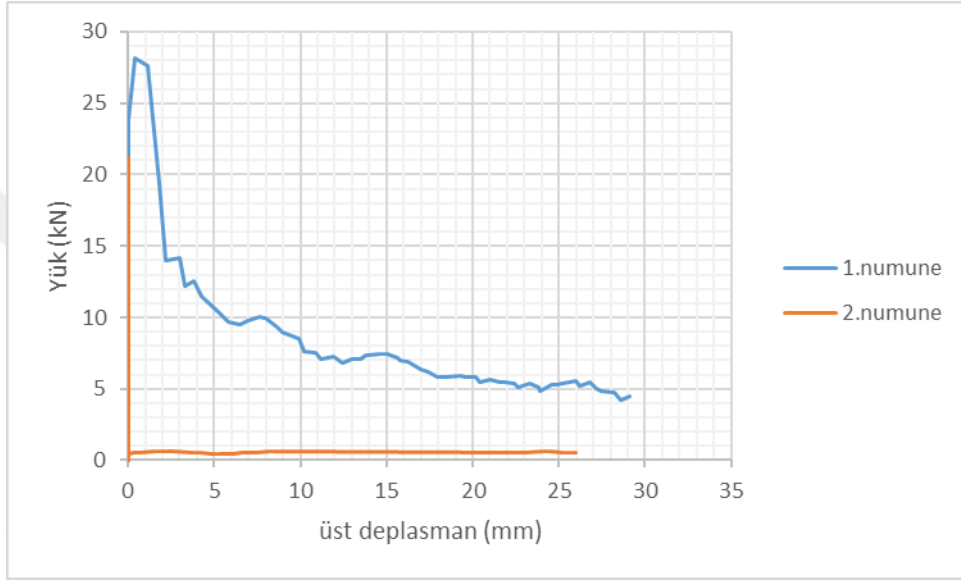
Aderans deneyleri; 28 günlük, 15x15x15 cm boyutlardaki küp beton içerisine gömülü olan donatılar ile hazırlanmış numuneler üzerinde çekip çıkarma deneyi yapılmasıyla belirlendi. Deneyin yapılmasında hidrolik pompaya bağlı boşluklu hidrolik silindirden faydalanıldı.

Aderans Deney Çerçevesinde; yükleme sistemi manuel el pompa olarak kumanda edilmektedir. Çekip çıkarma deneyi için ortası boşluklu hidrolik silindir aparatın 10 ton maksimum yük kapasiteli olarak imal edilmiştir. Aderans Deney Aletinin çerçeve kısmı çekip çıkarma test (Donatı filizi çekip, çıkartma deneyi) sistemine uygun olarak tasarlanmıştır. Deneysel çalışma sırasında, öncelikle donatı ankrajlı küp numuneler, belirlenmiş aparatlar ile deney çerçevesine tespit ettirilir. Ayrıca, 100 mm maksimum ölçü verebilen cetveller kullanılarak donatı uzama değerleri gözlemlenir. Deney öncesinde yük ve uzama değerleri sıfır yük değerleri olarak ayarlanır ve deney yükün numune üzerinde taşınabildiği nihai değer kadar devam eder. Deneysel çalışmalarda elde edilen deneysel değerler; çekme kuvvetleri ve uzama değerleri görsel olarak tespit edilerek kayıt edilir. Belirli yük altında numunelerde oluşan uzamalar ölçüldü. İlgili görseller EK-C'de yer almaktadır.

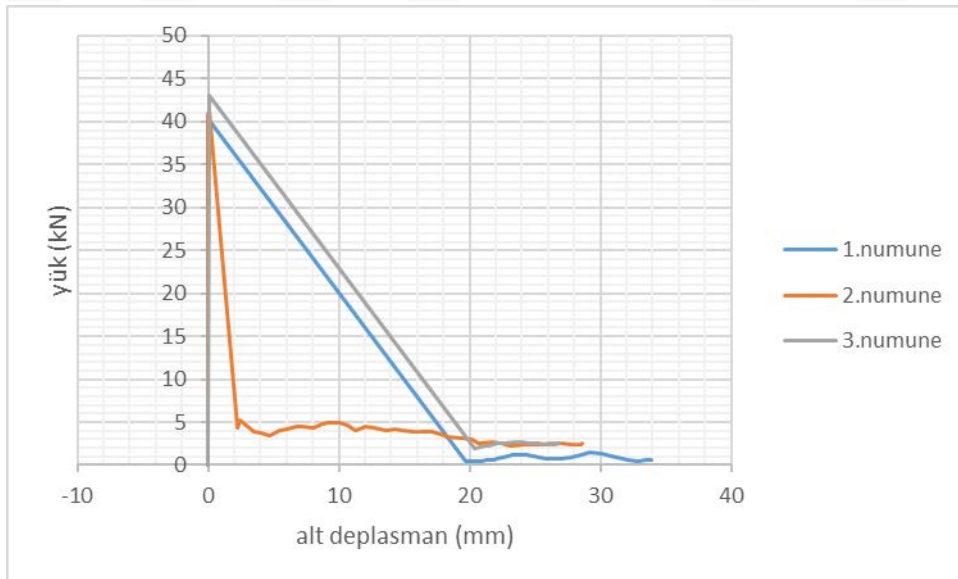
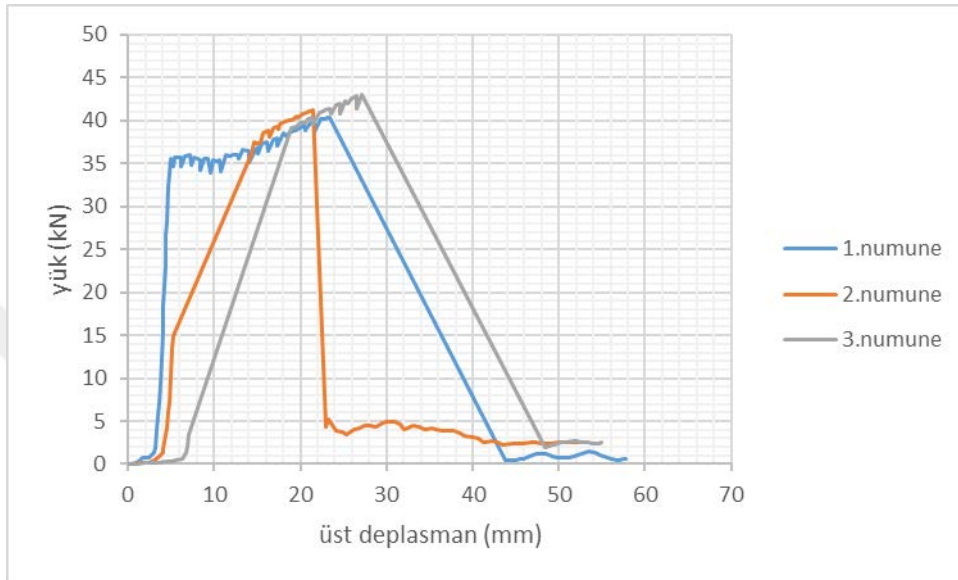
Atık agrega oranı, lif oranı ve aderans derinliğine göre belirlemiş olduğumuz gruplar üzerinde her bir numune için elde edilen verilerle oluşturulan grafikler şöyledir :

1.GRUP (%0 atık agrega içermektedir)

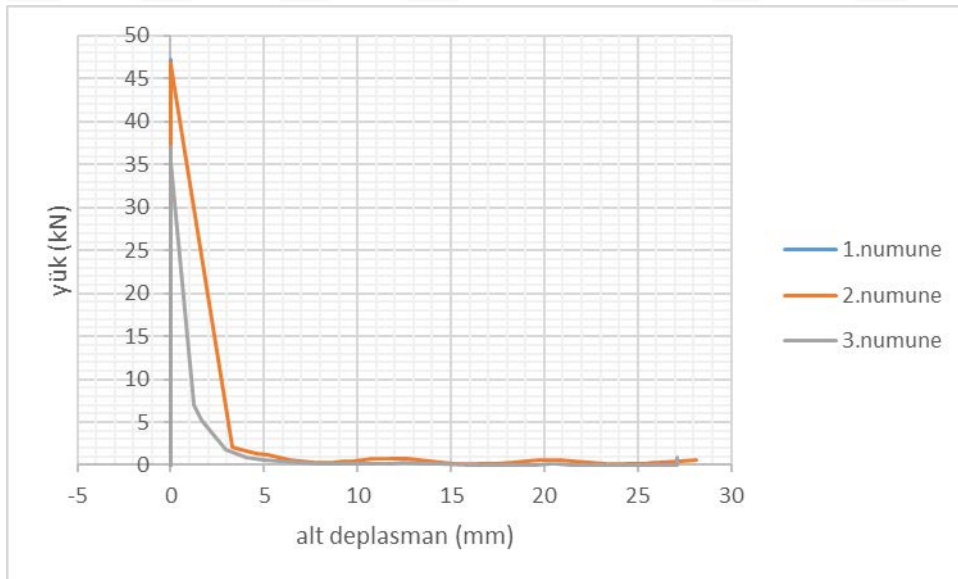
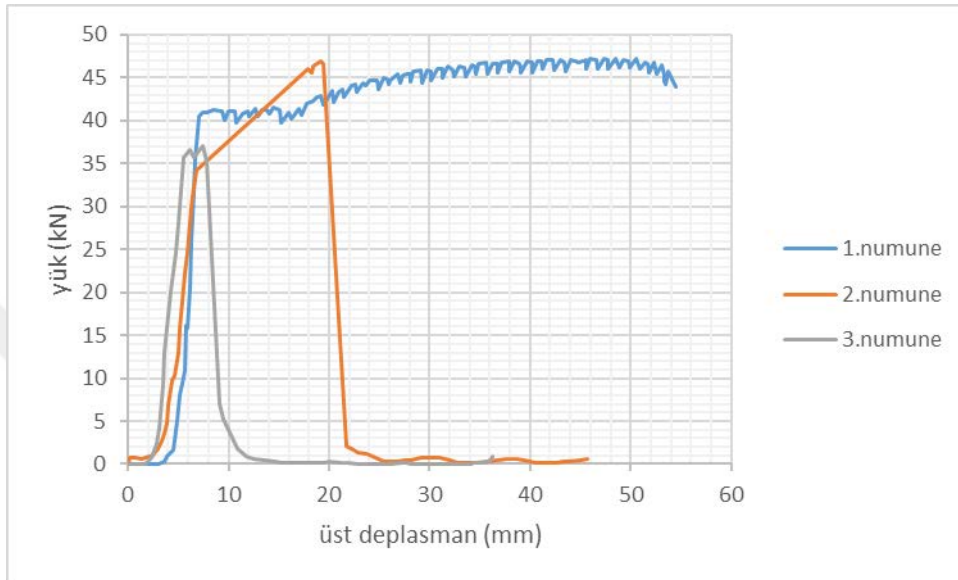
- 0A-0L-5A



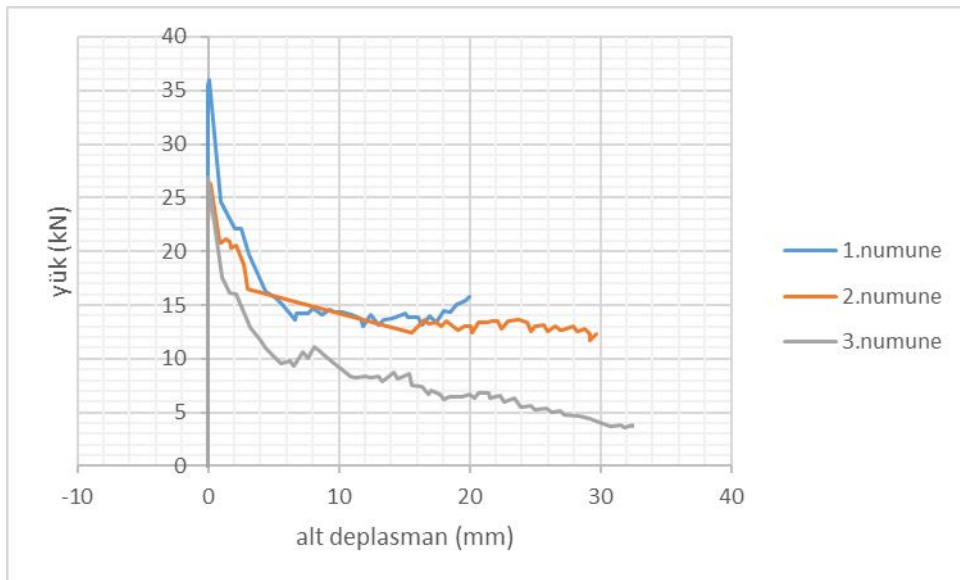
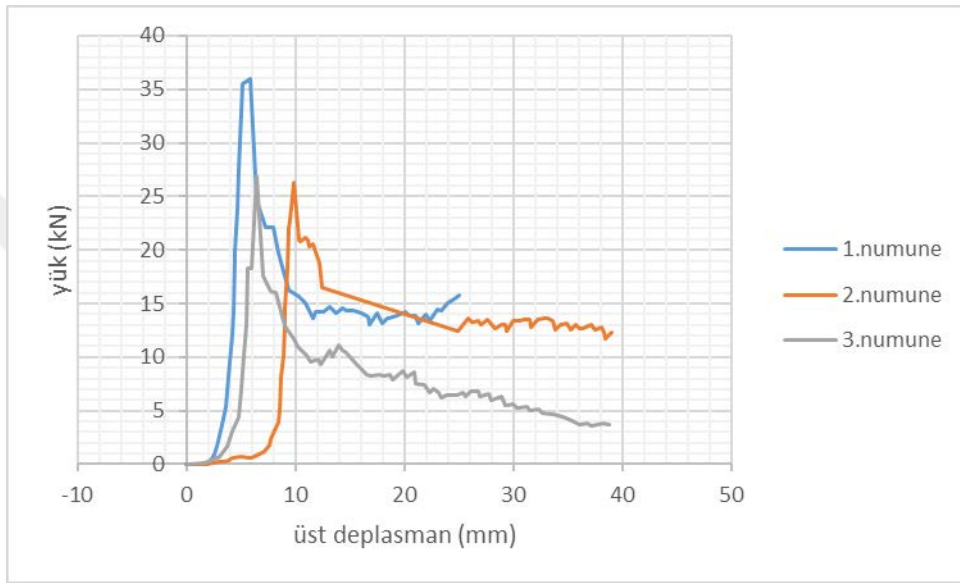
- 0A-0L-10A



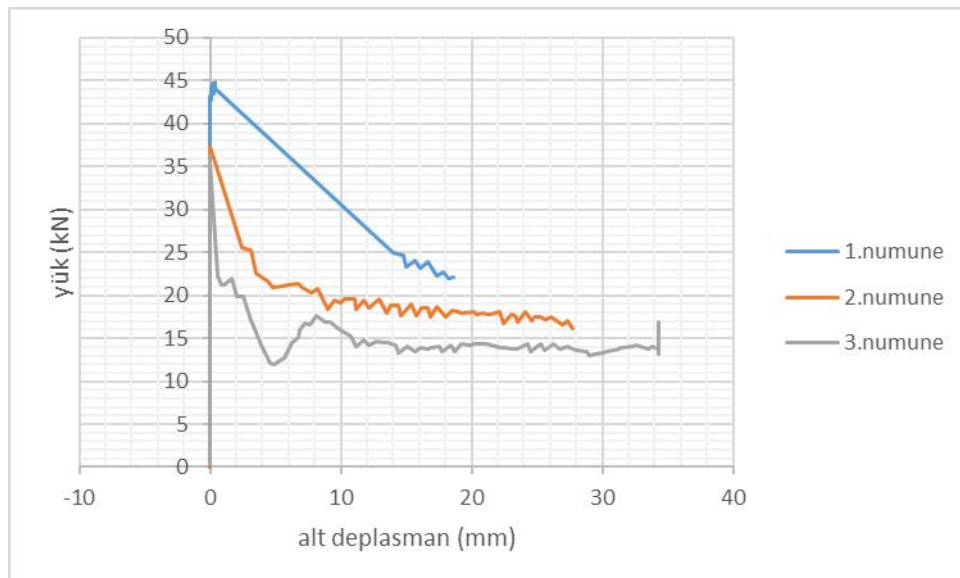
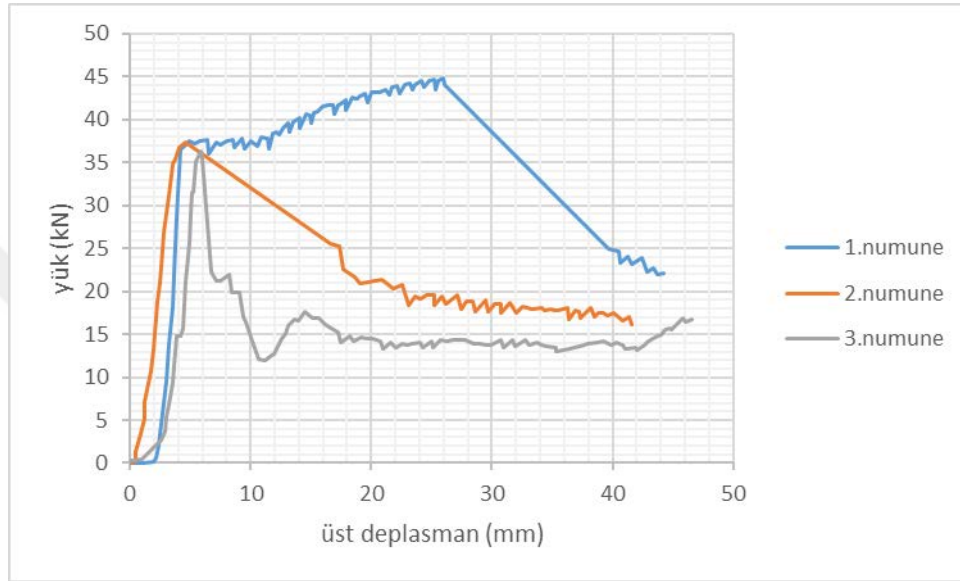
- 0A-0L-15A



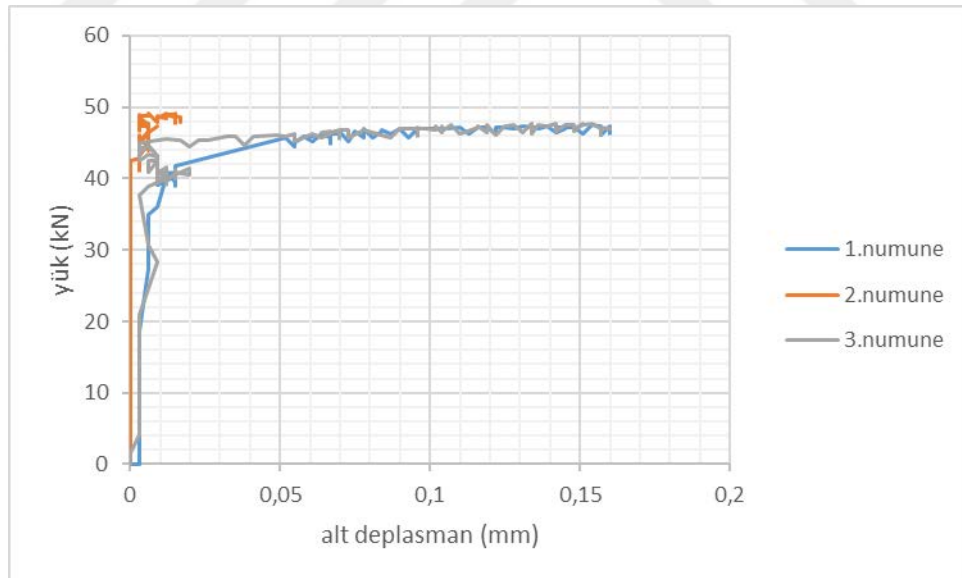
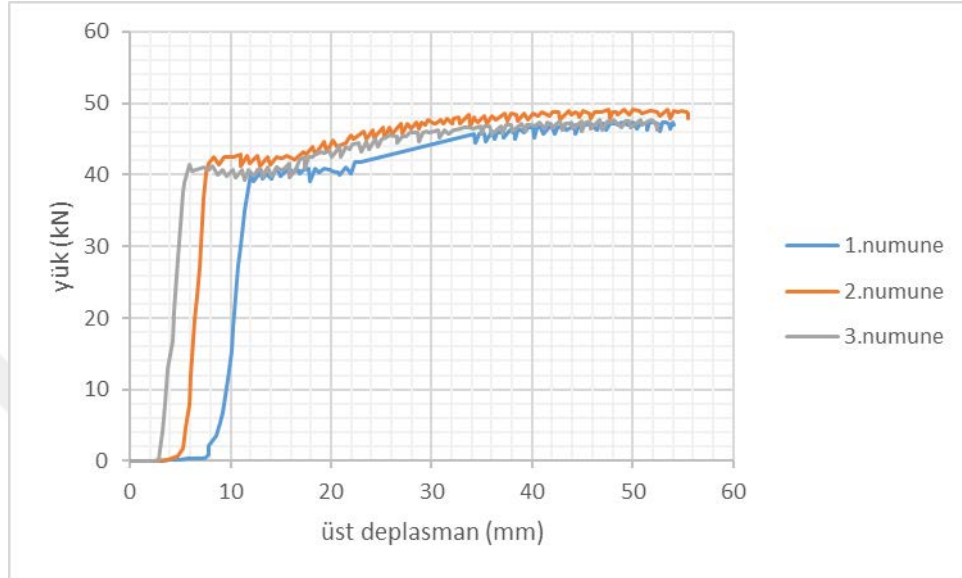
- 0A-0,5L-5A



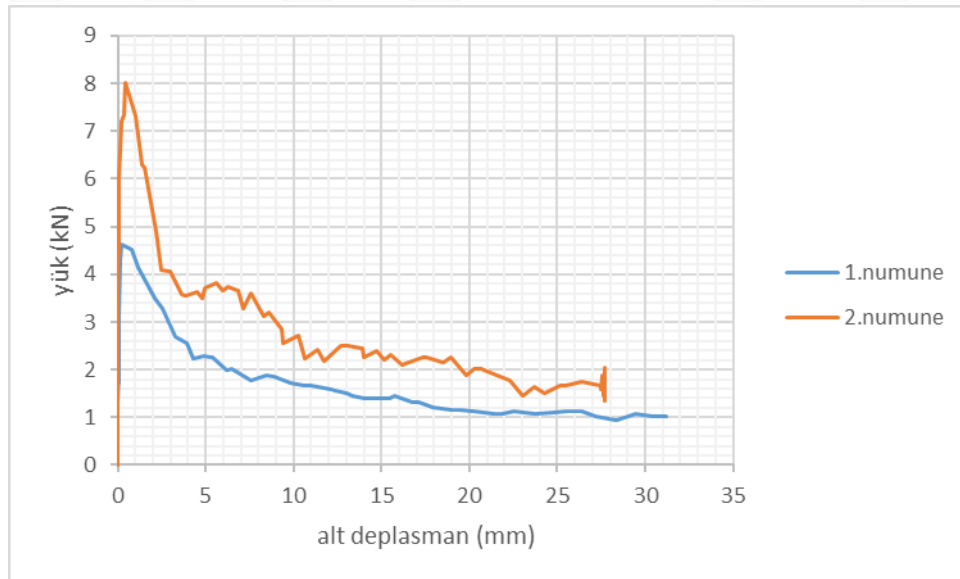
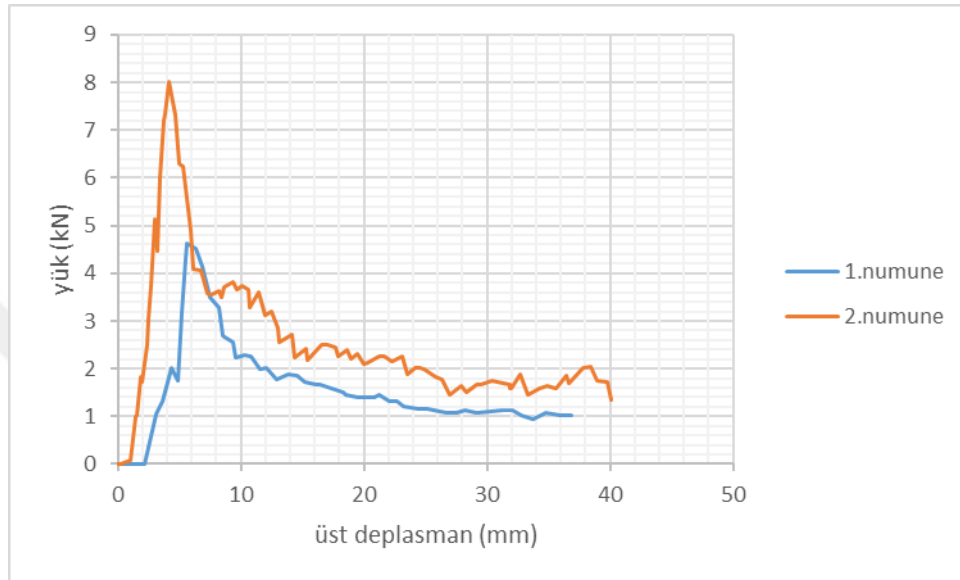
- 0A-0,5L-10A



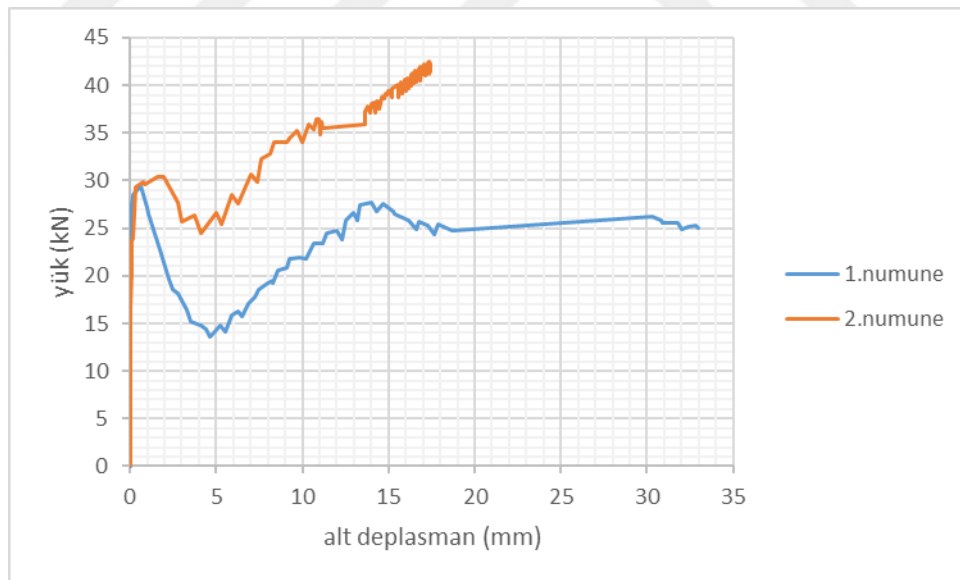
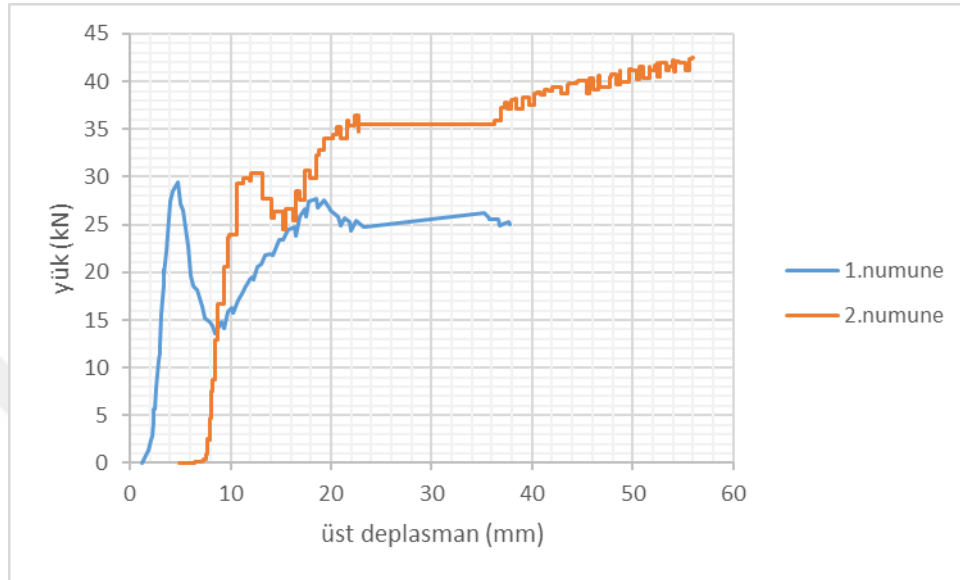
- 0A-0,5L-15A



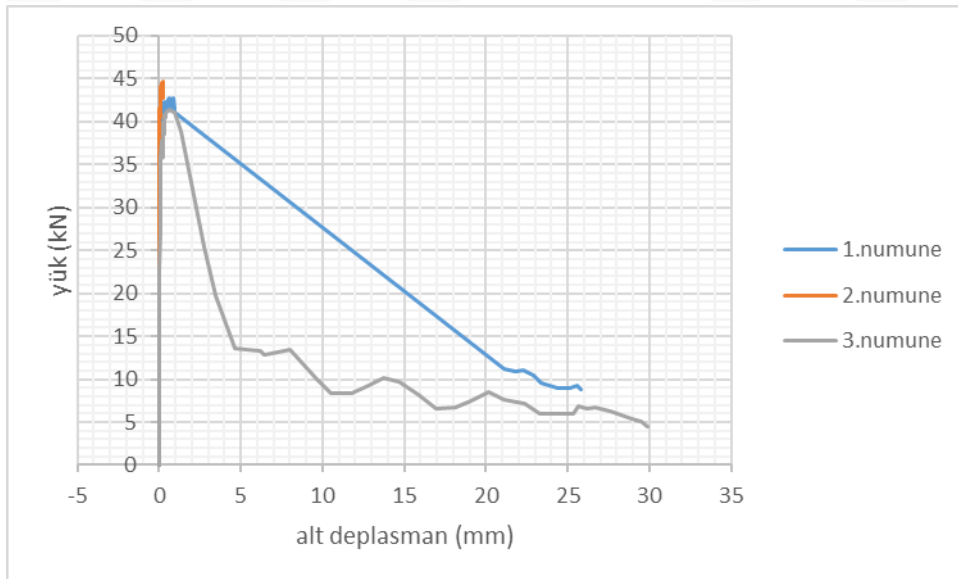
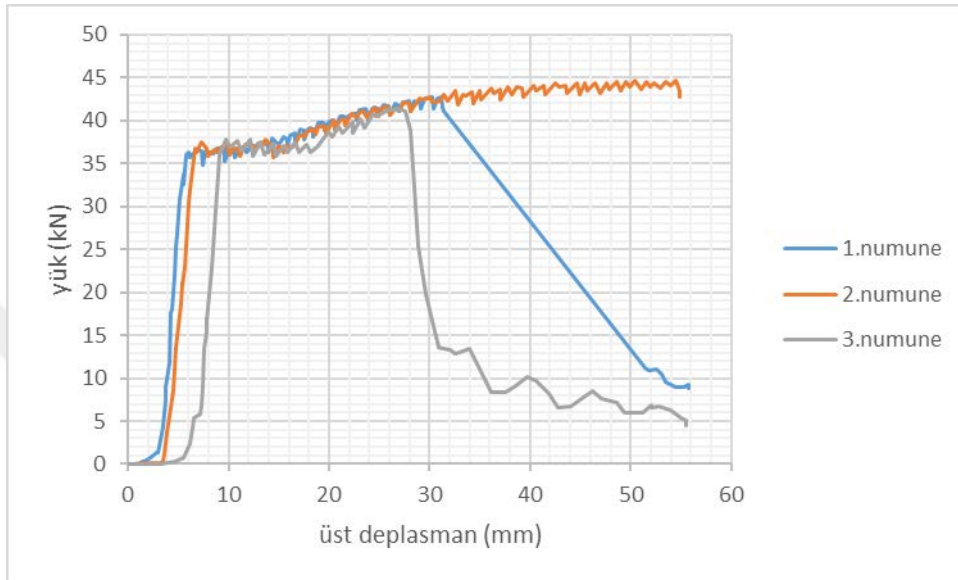
- 0A-1L-5A



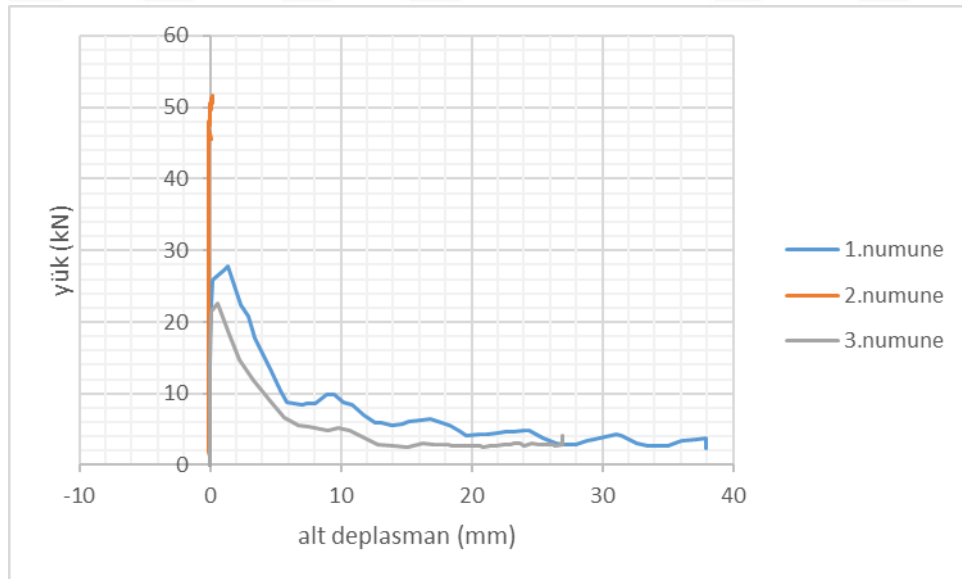
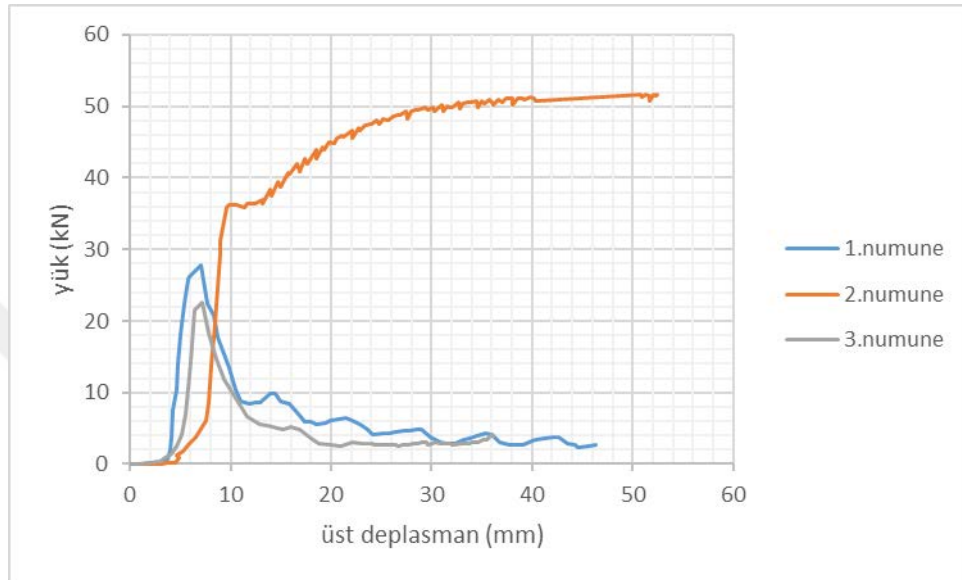
- 0A-1L-10A



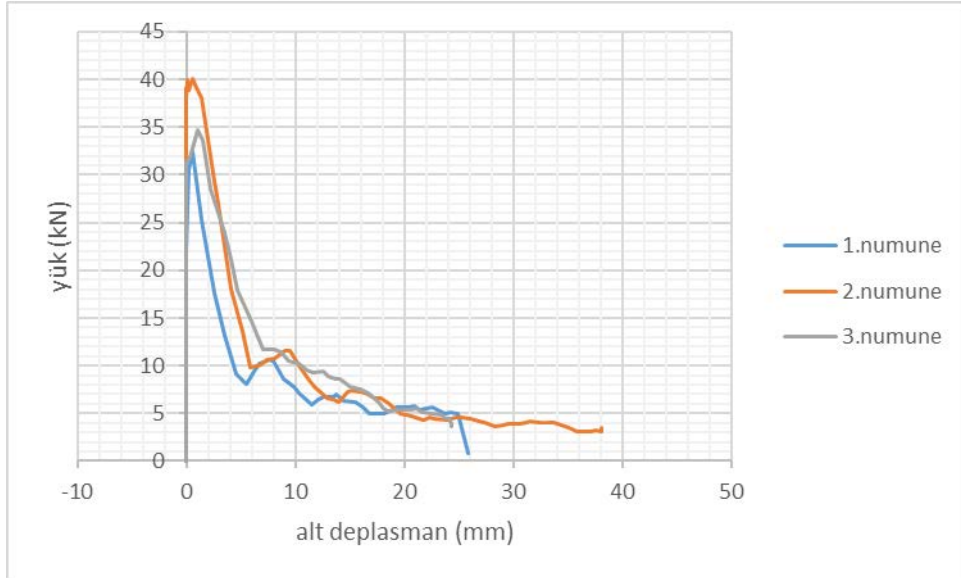
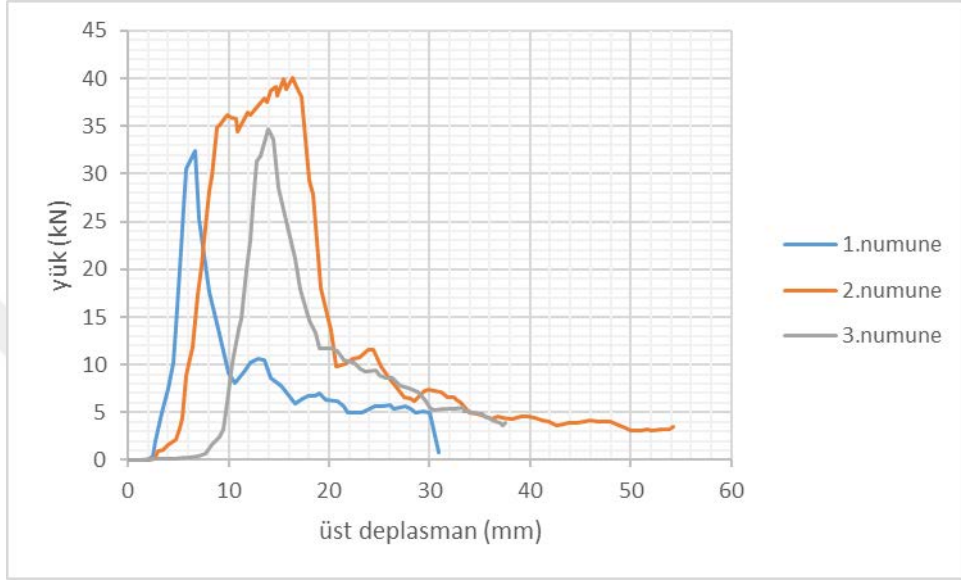
- 0A-1L-15A



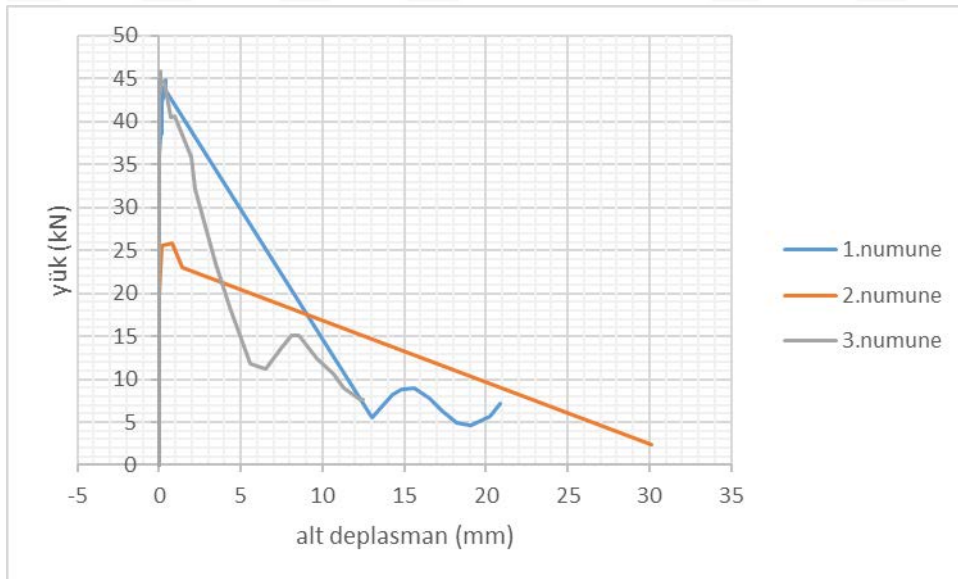
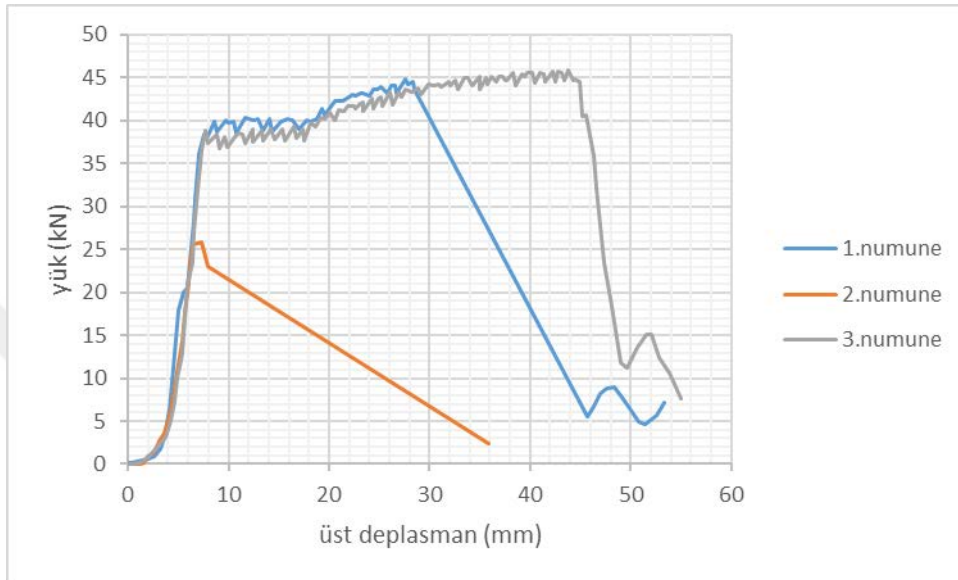
- 0A-2L-5A



- 0A-2L-10A

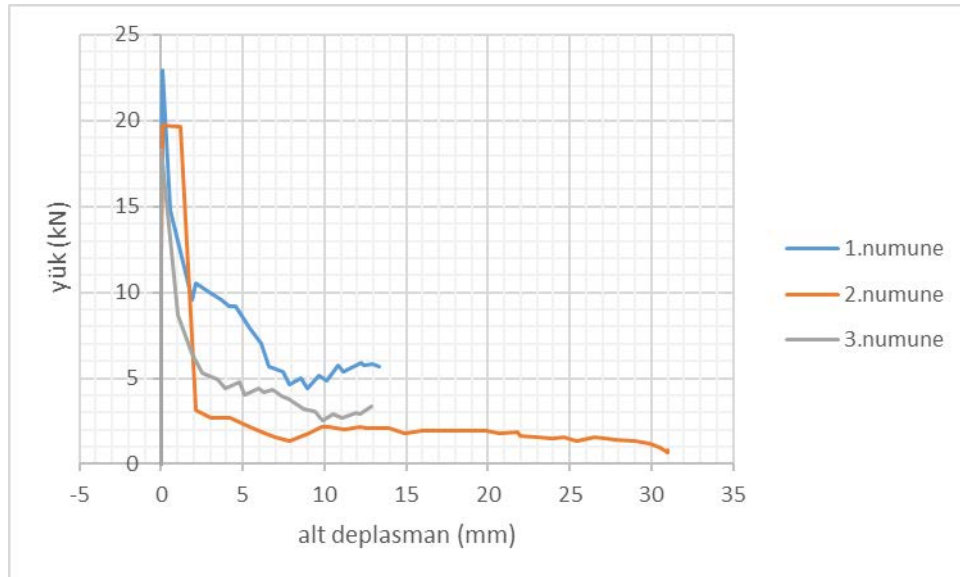
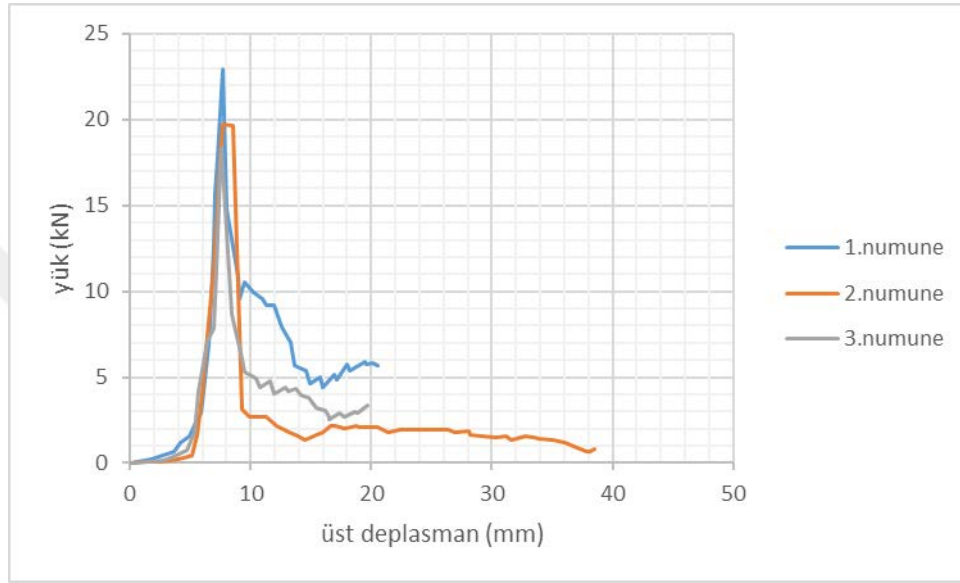


- 0A-2L-15A

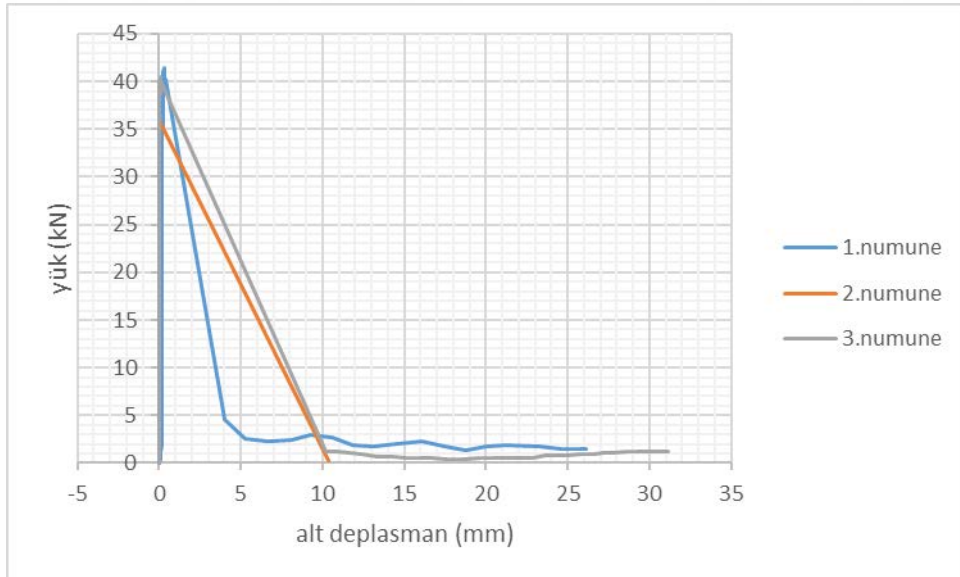
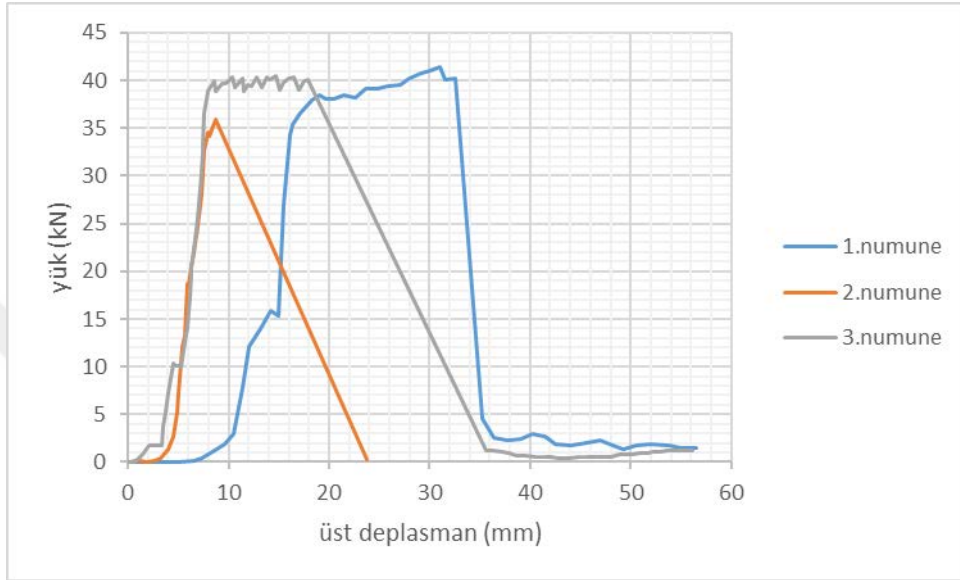


2. GRUP (%25 atık agrega içermektedir)

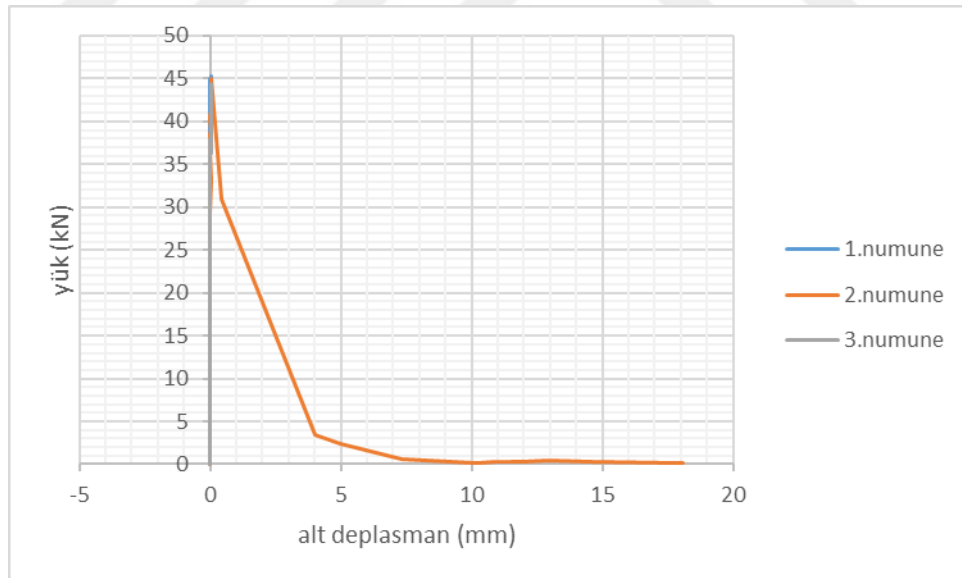
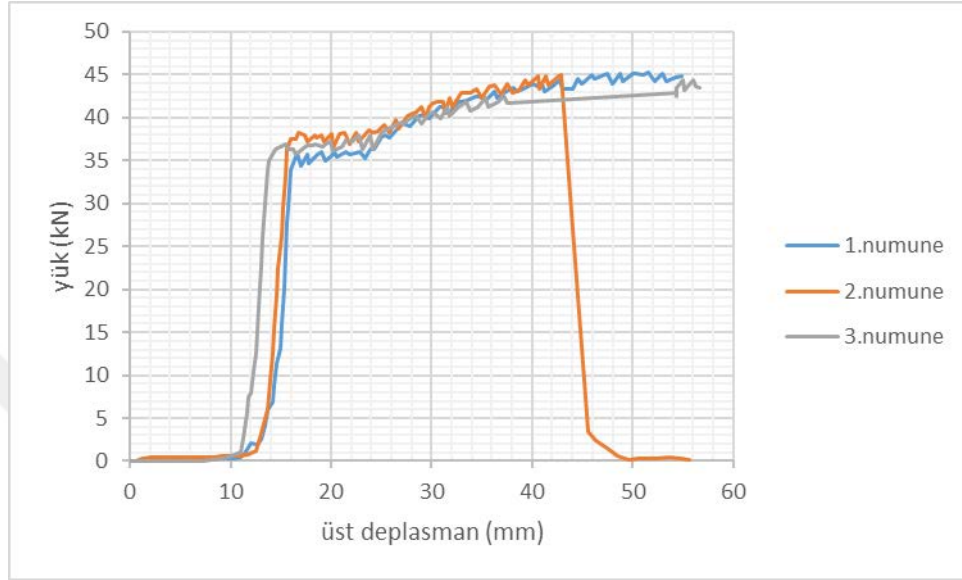
- 25A-0L-5A



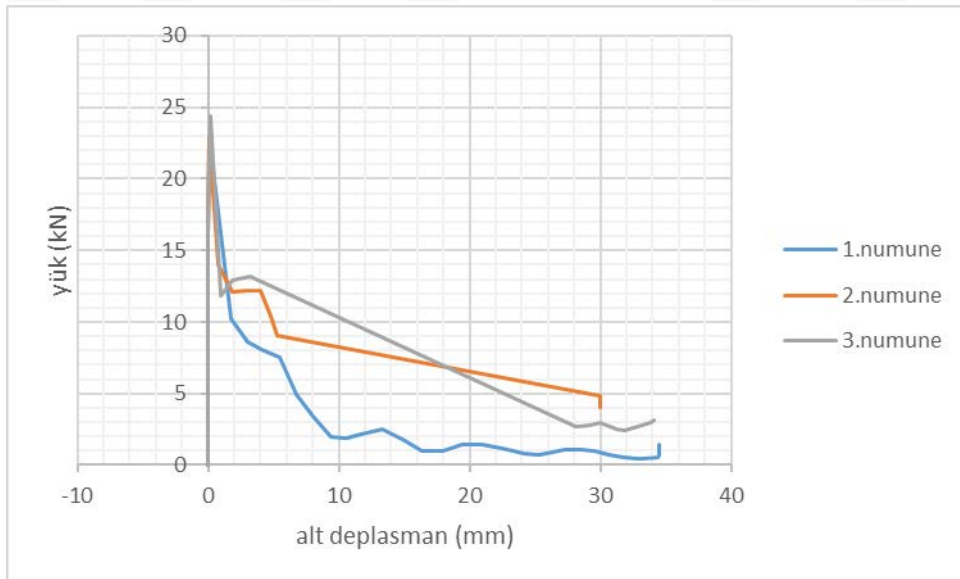
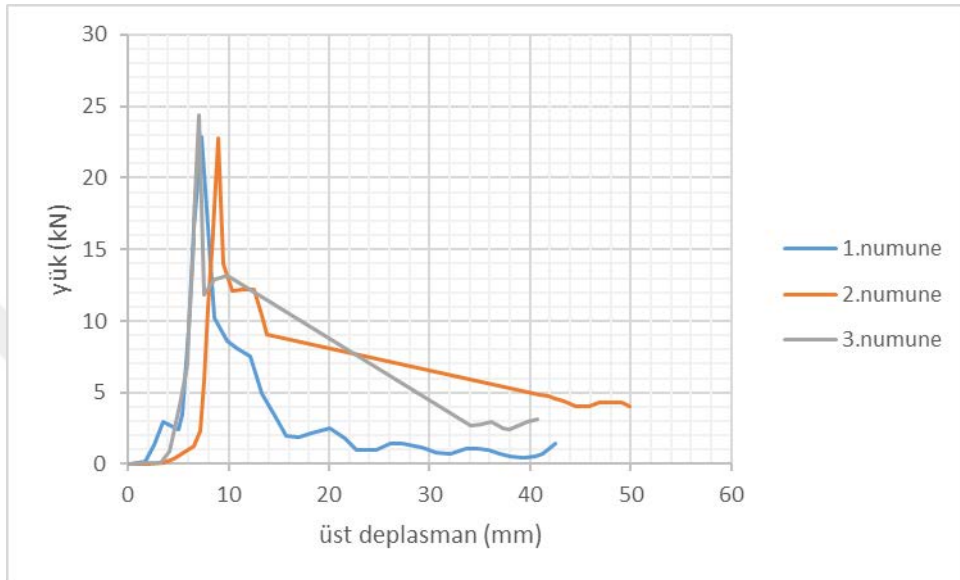
- 25A-0L-10A



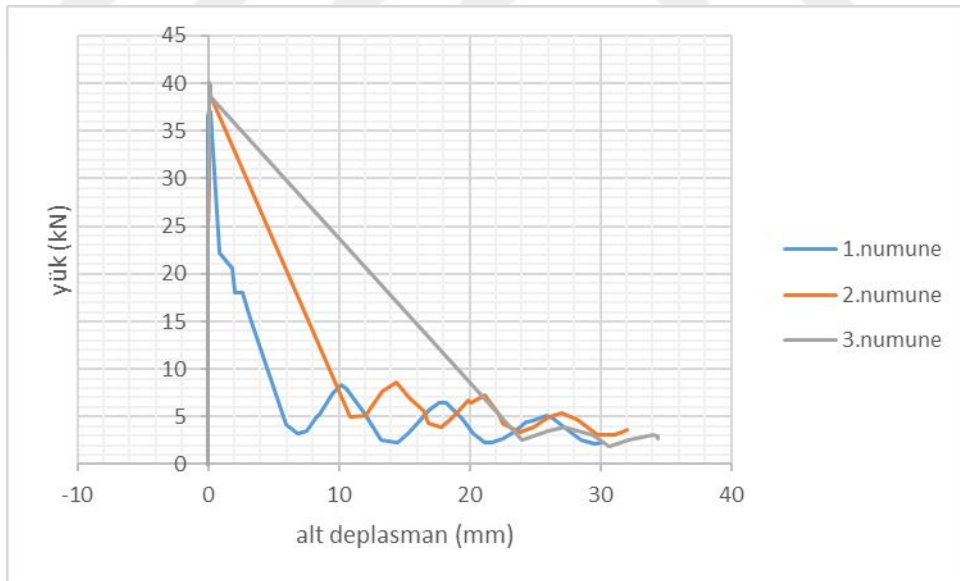
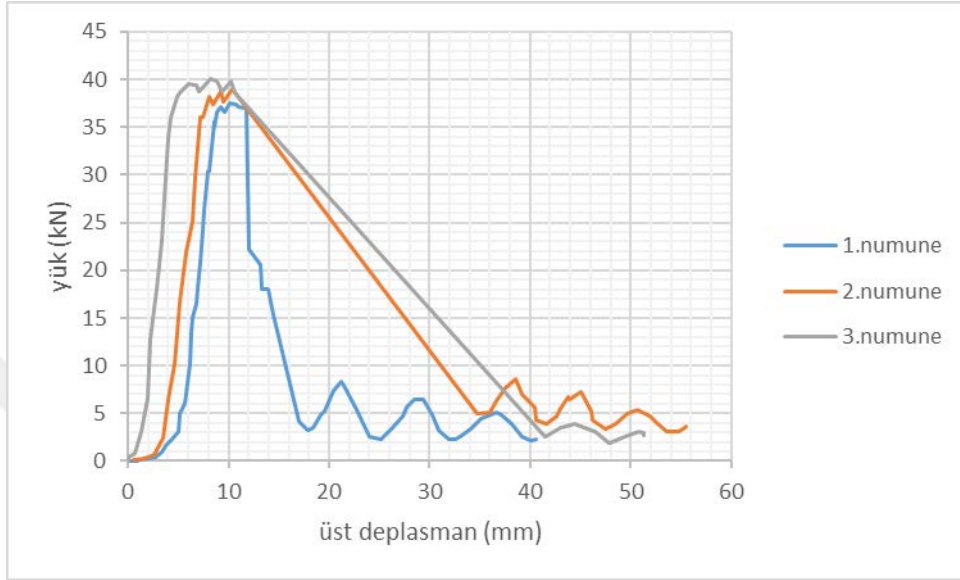
- 25A-0L-15A



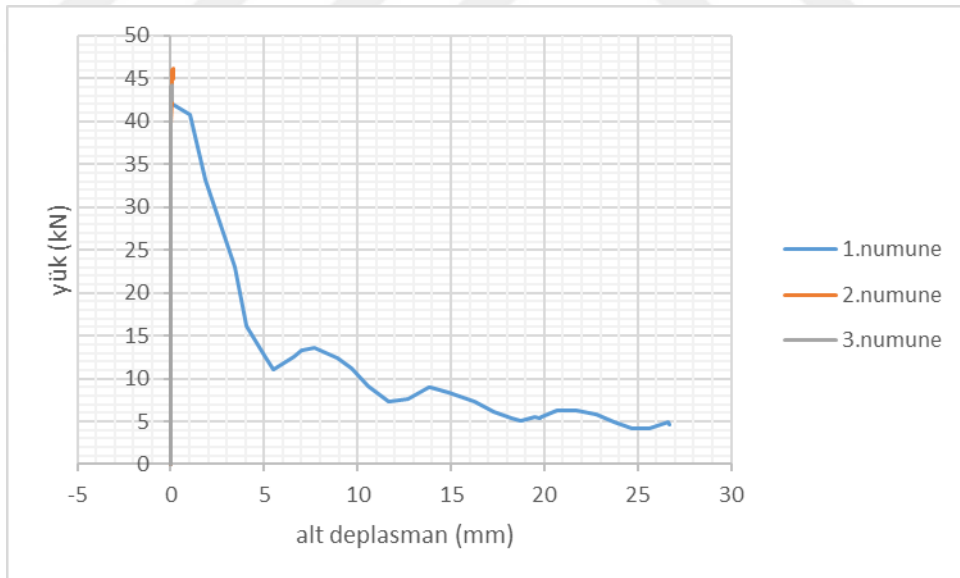
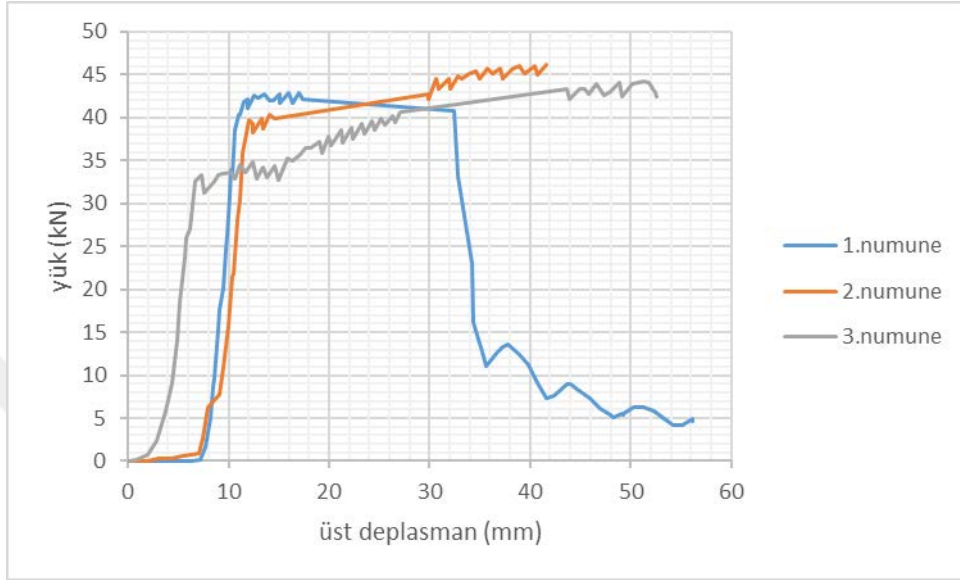
- 25A-0,5L-5A



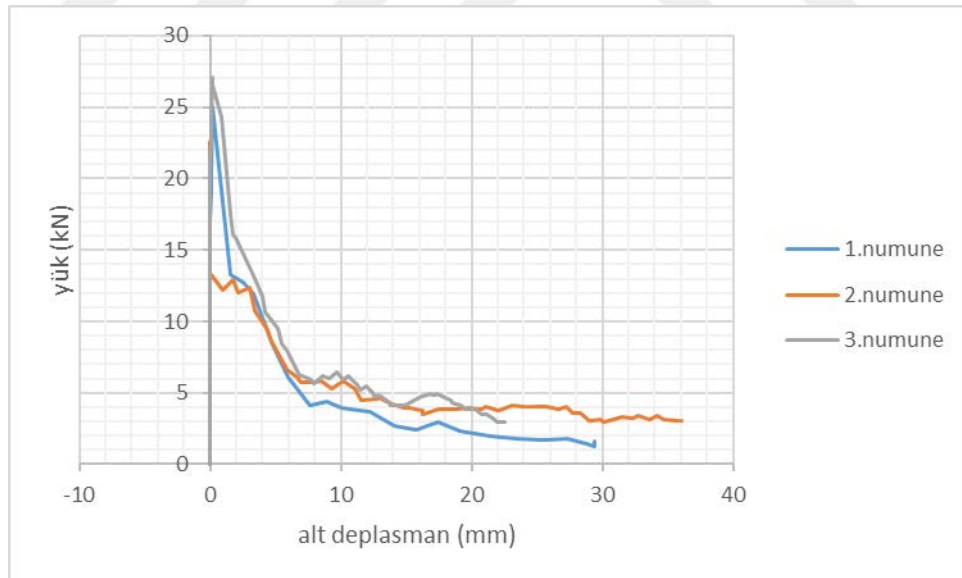
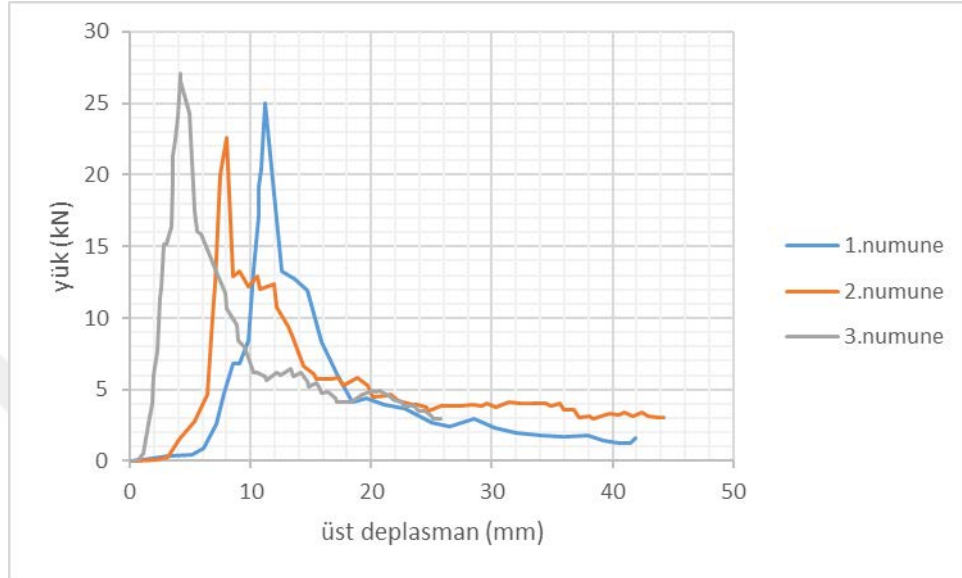
- 25A-0,5L-10A



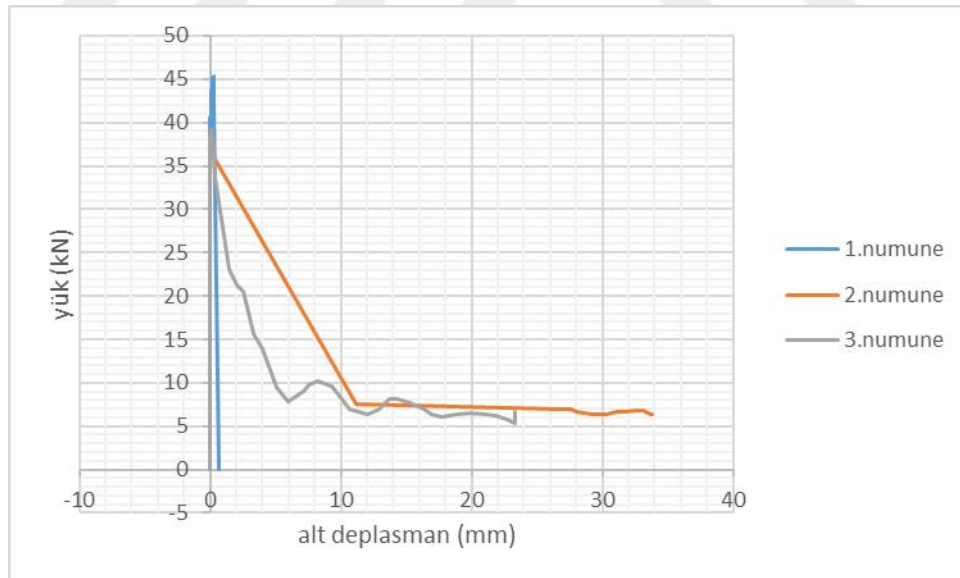
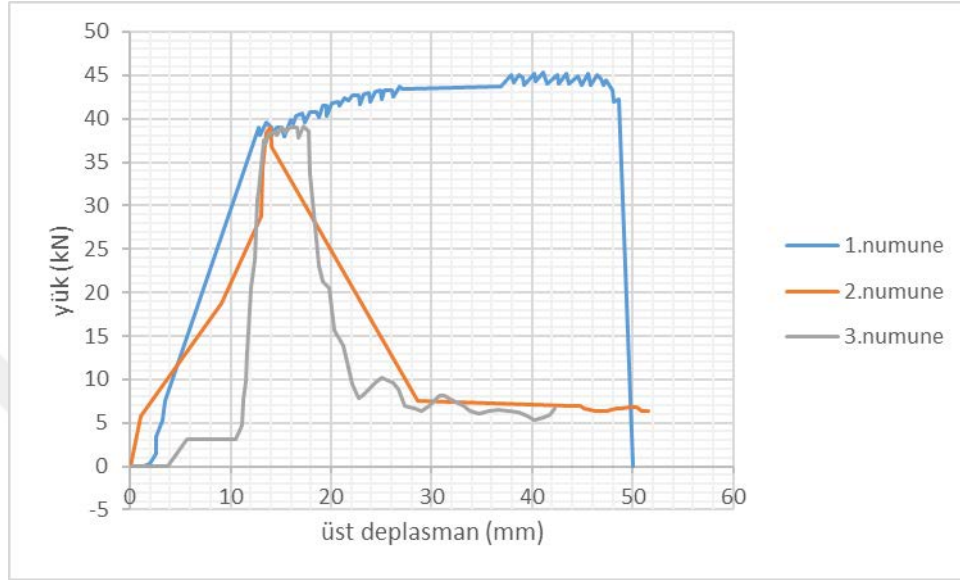
- 25A-0,5L-15A



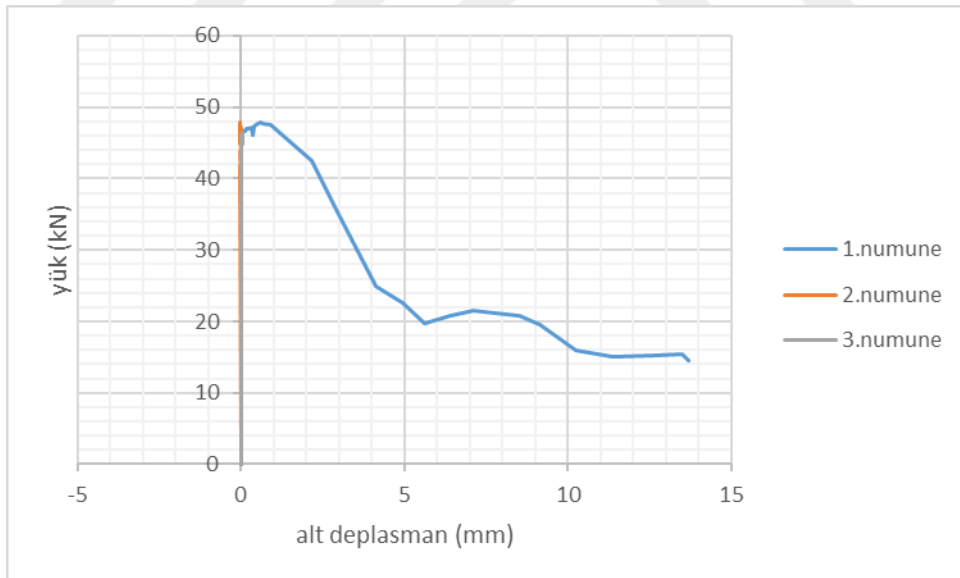
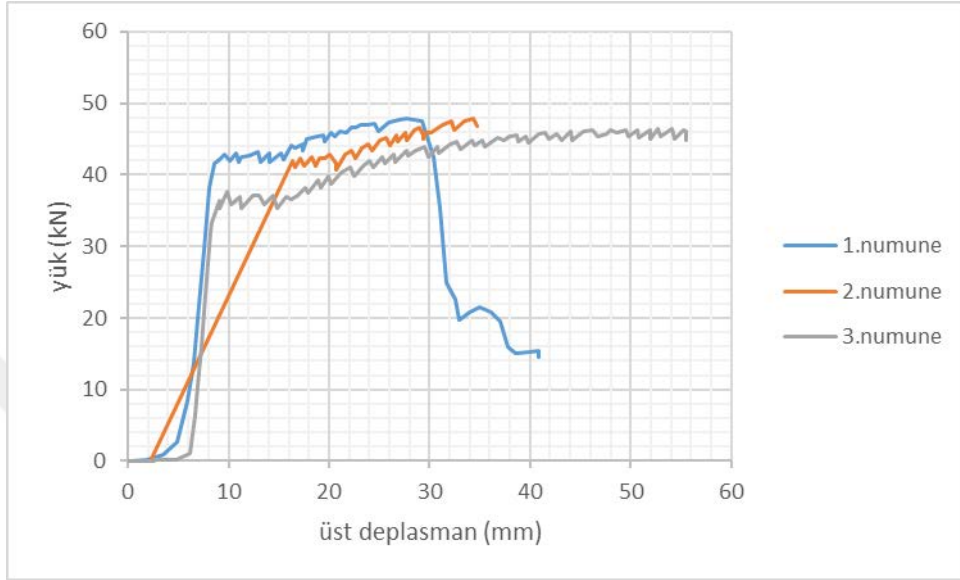
- 25A-1L-5A



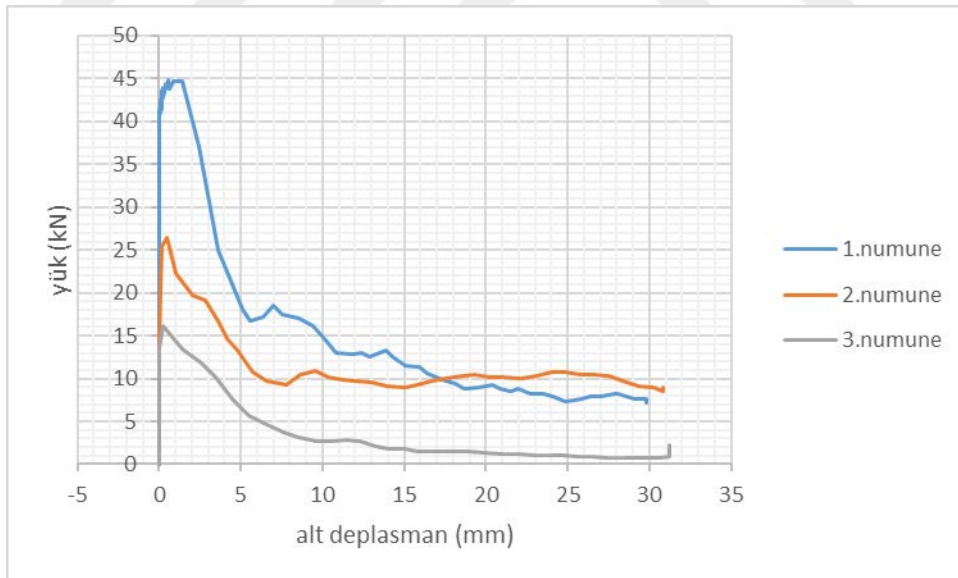
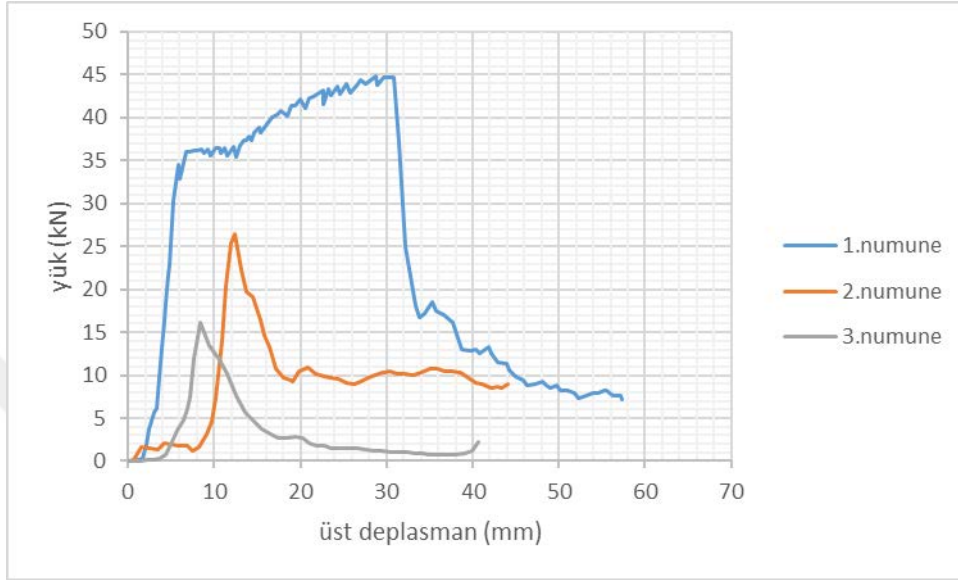
- 25A-1L-10A



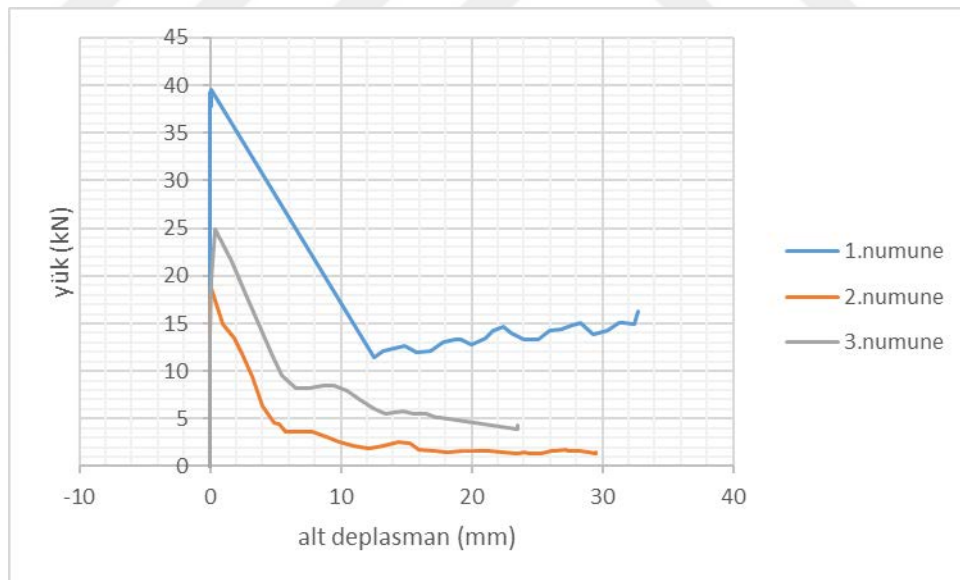
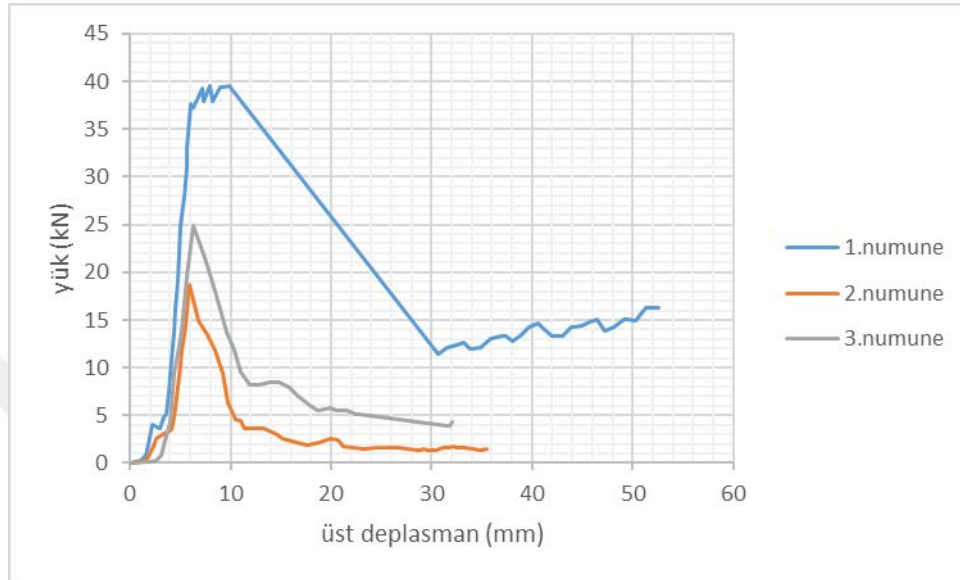
- 25A-1L-15A



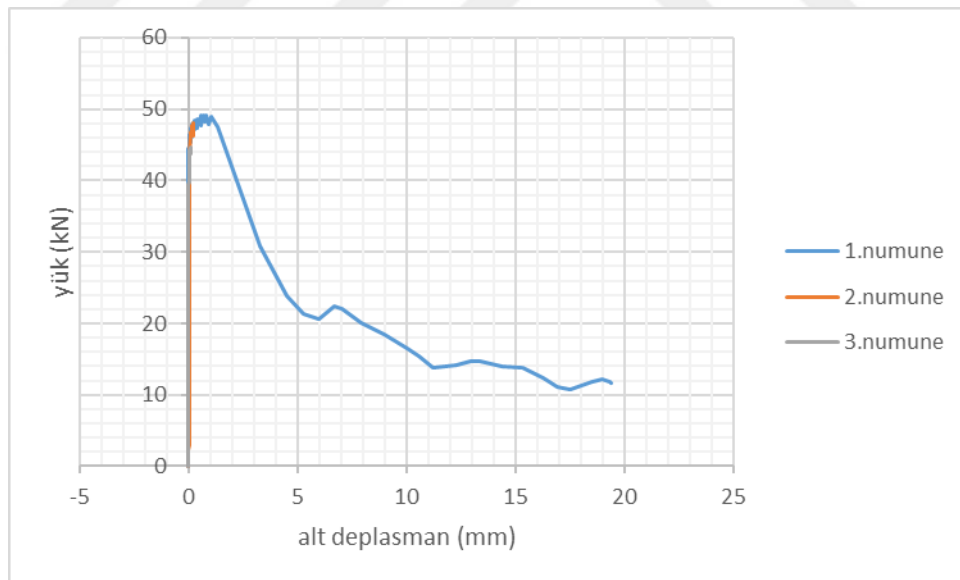
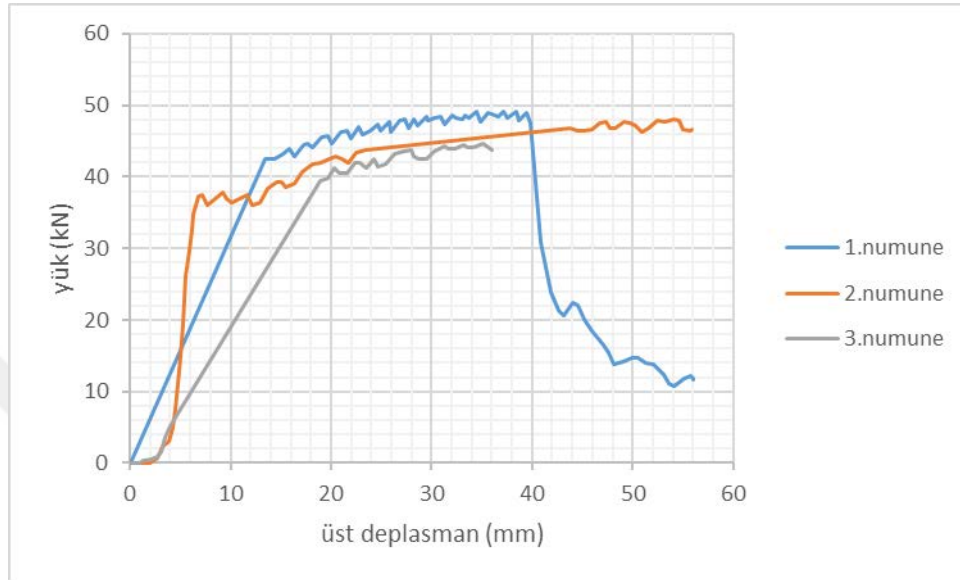
- 25A-2L-5A



- 25A-2L-10A

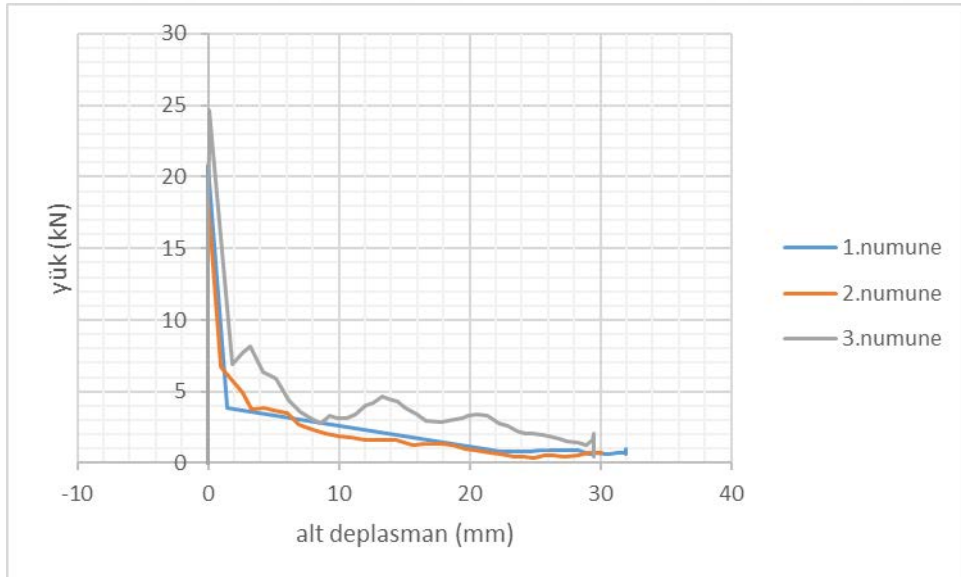
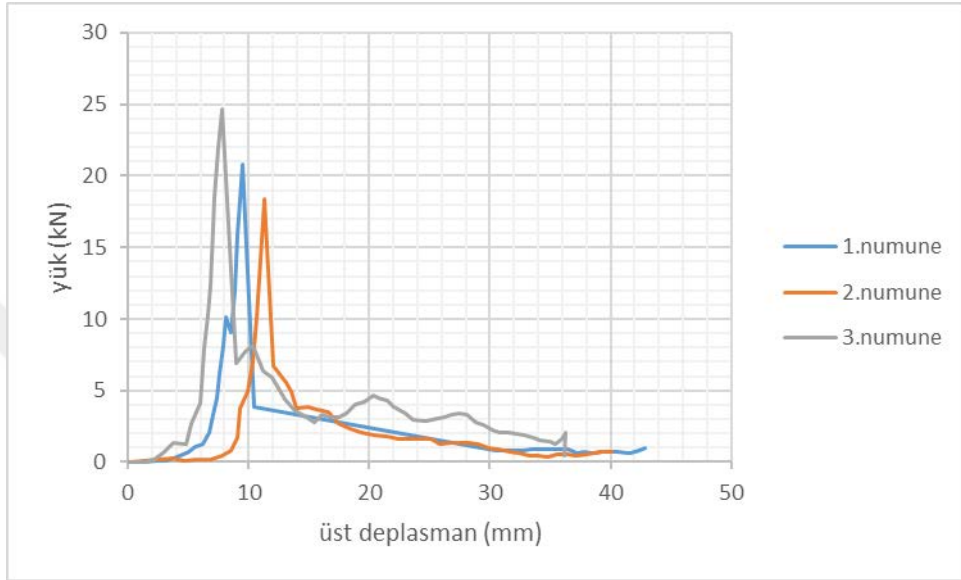


- 25A-2L-15A

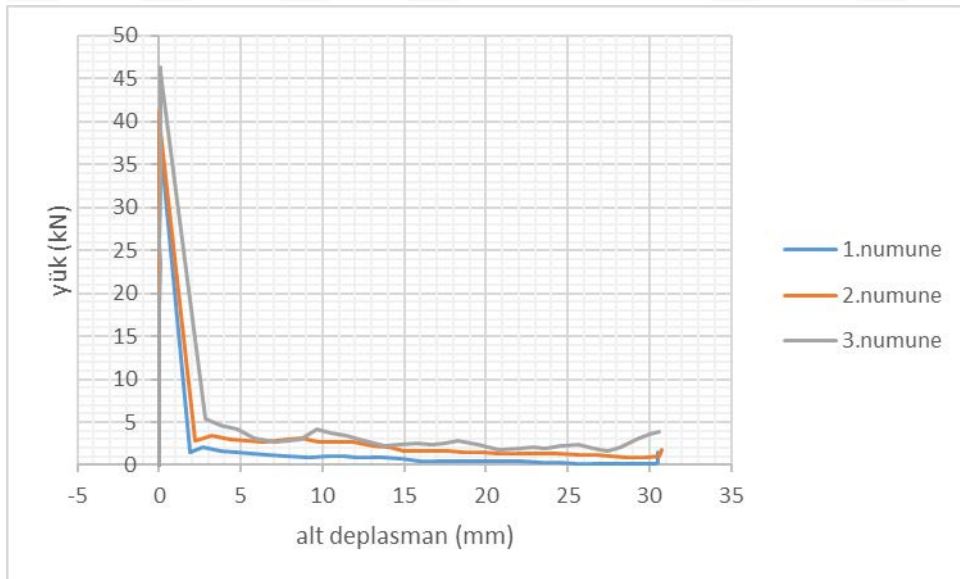
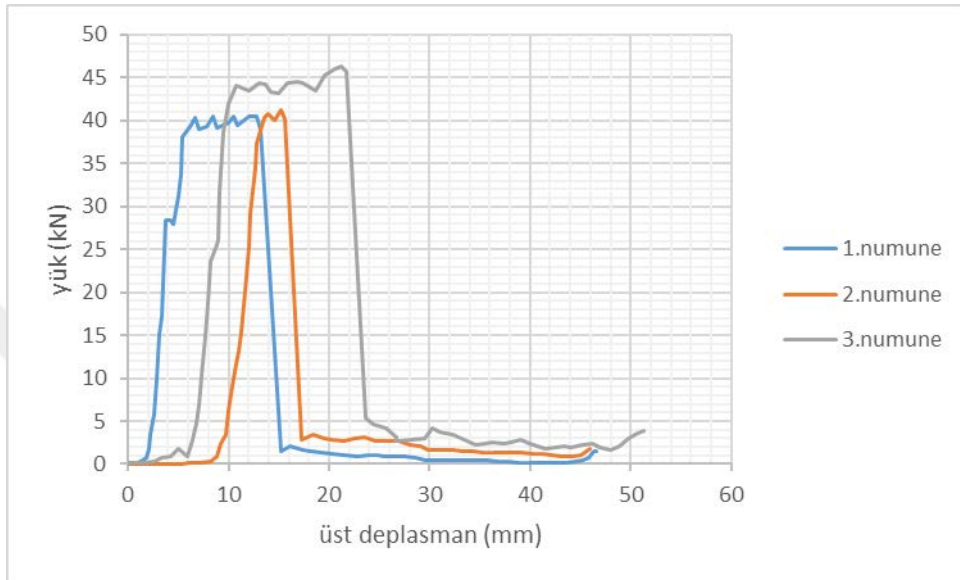


3. GRUP (%50 atık agrega içermektedir)

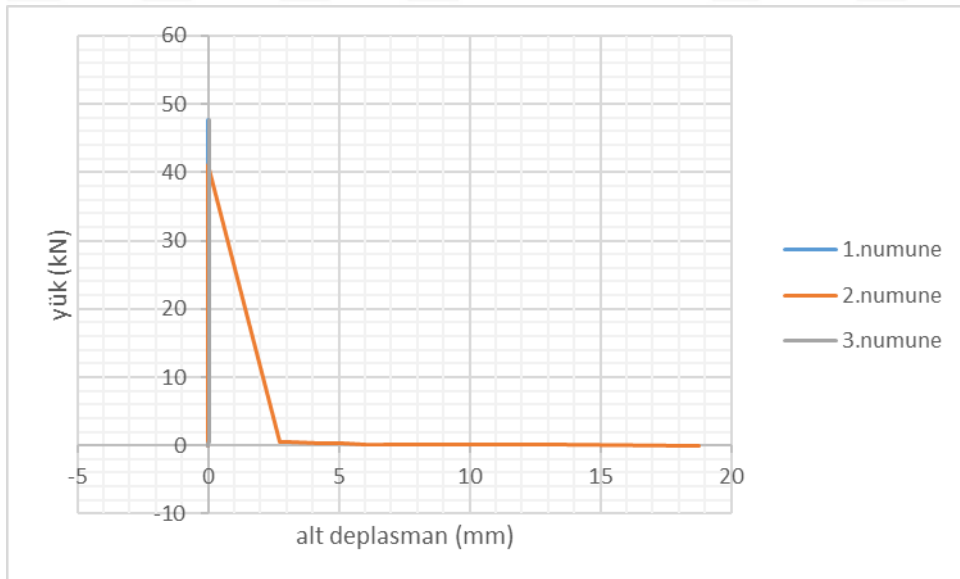
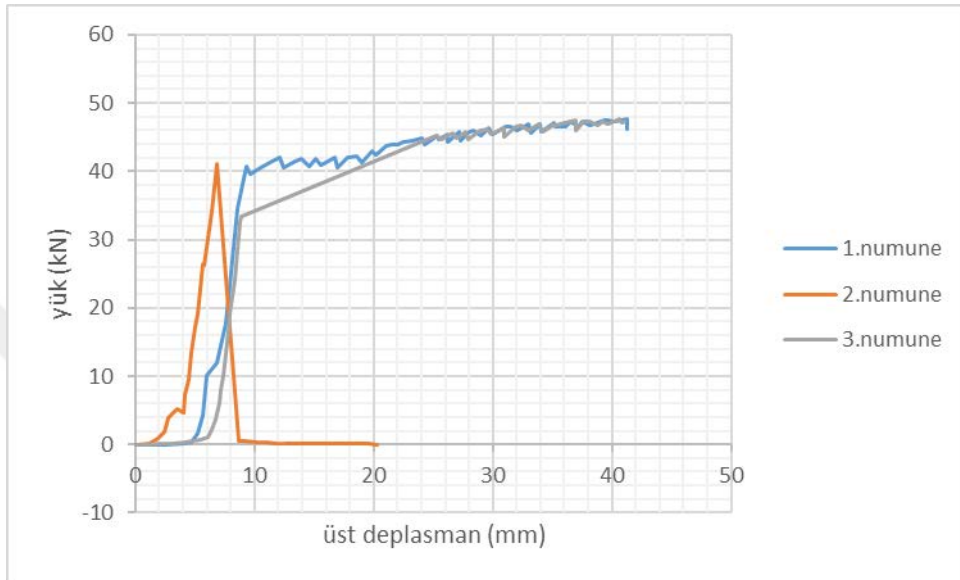
- 50A-0L-5A



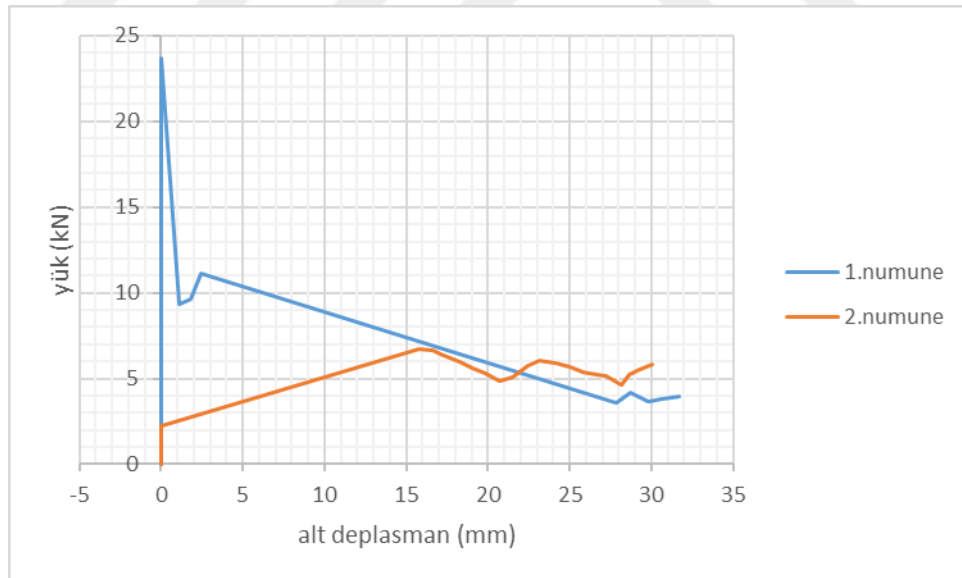
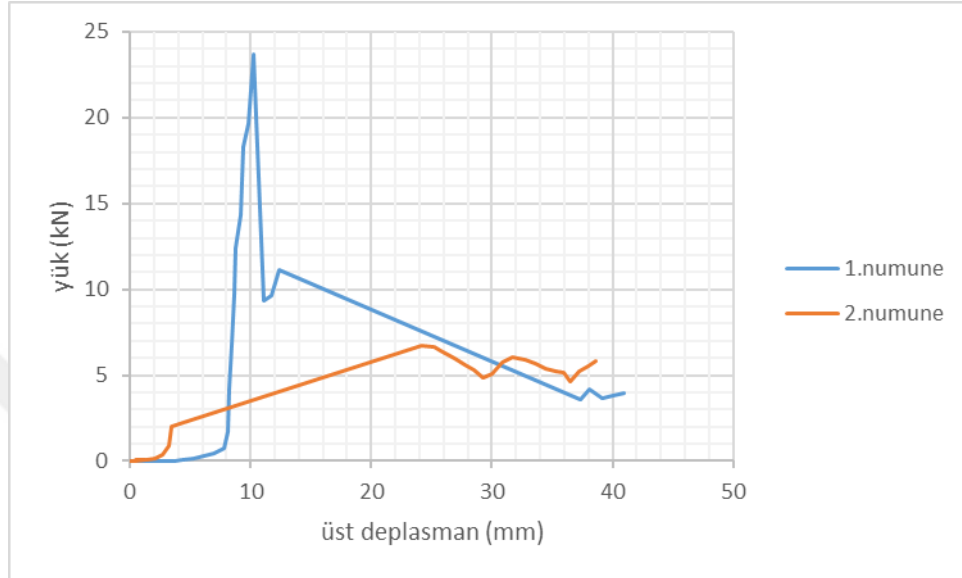
- 50A-0L-10A



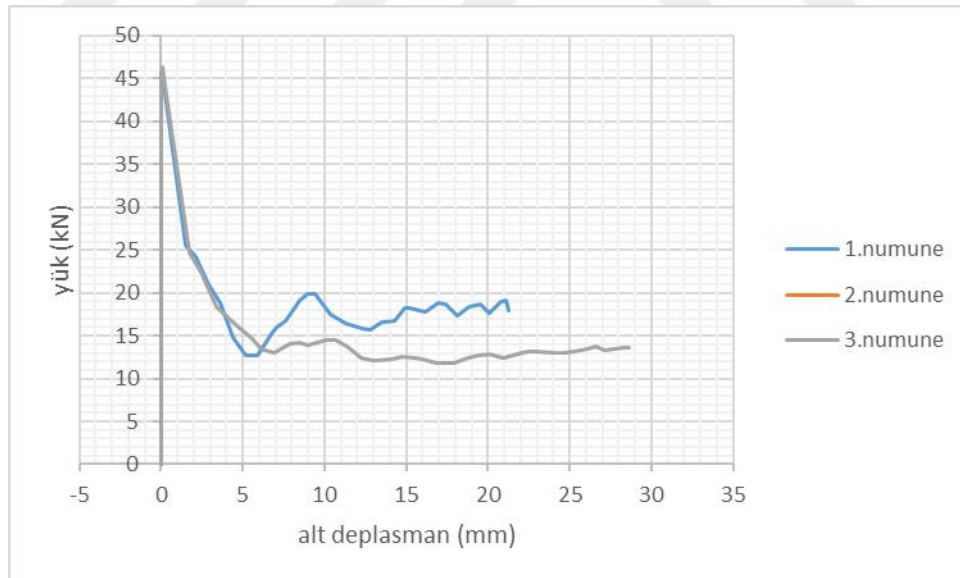
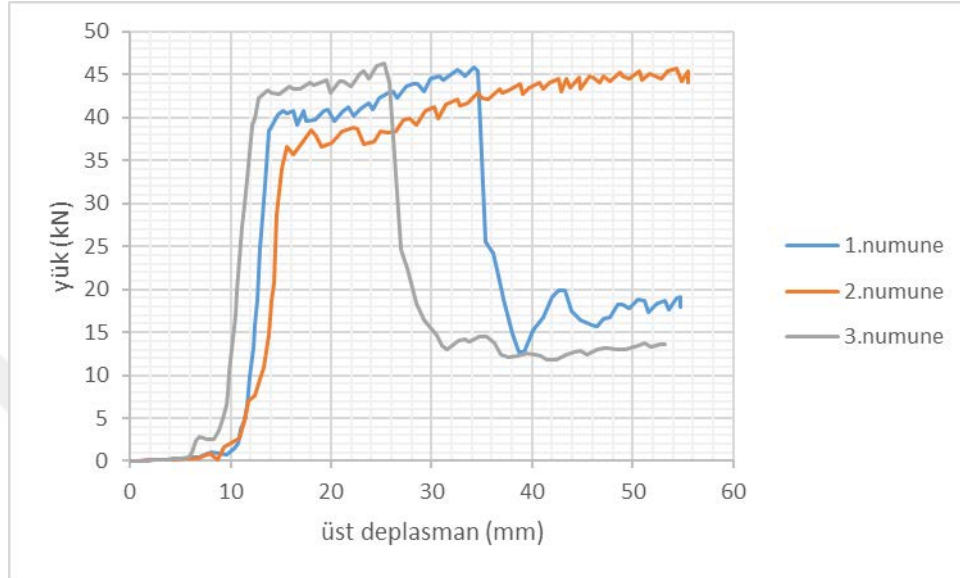
- 50A-0L-15A



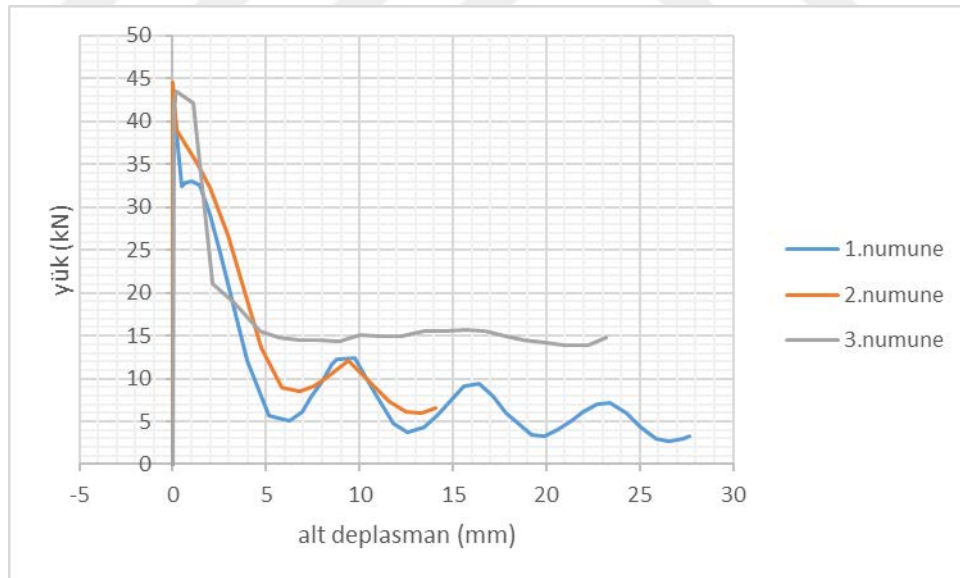
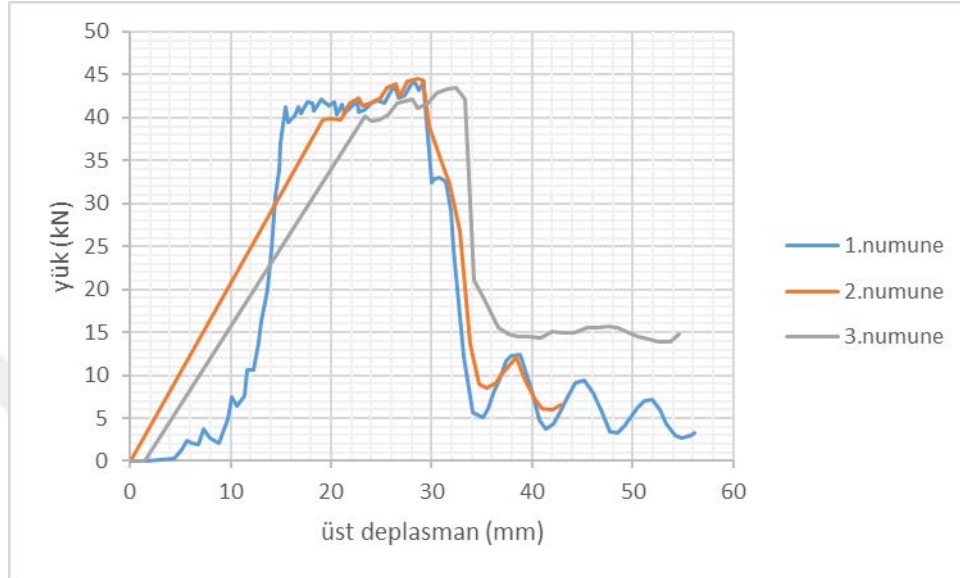
- 50A-0,5L-5A



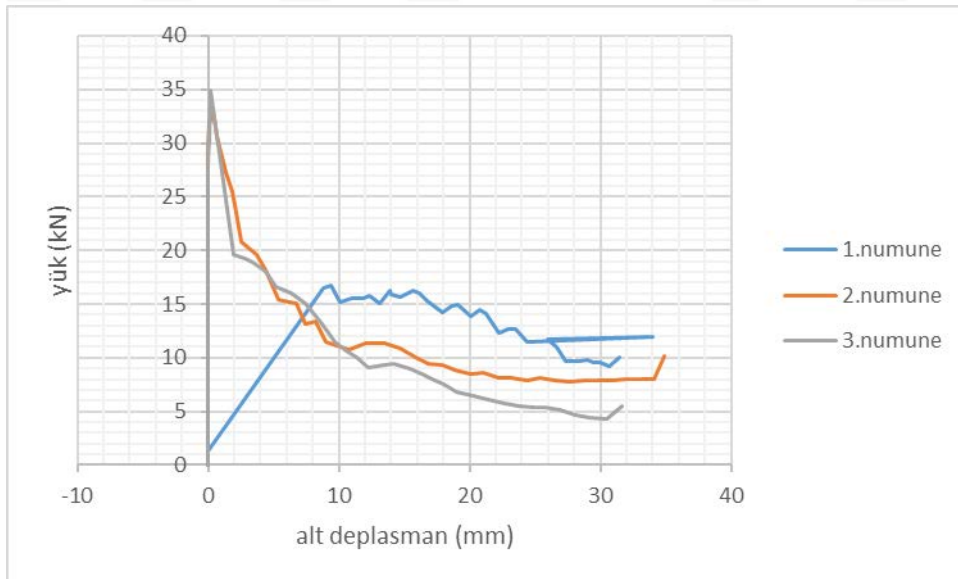
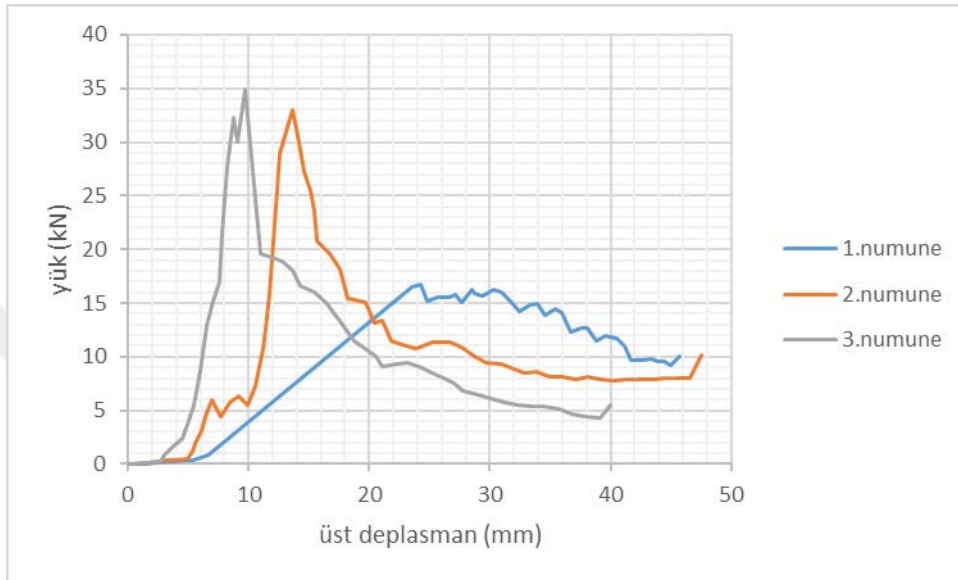
- 50A-0,5L-10A



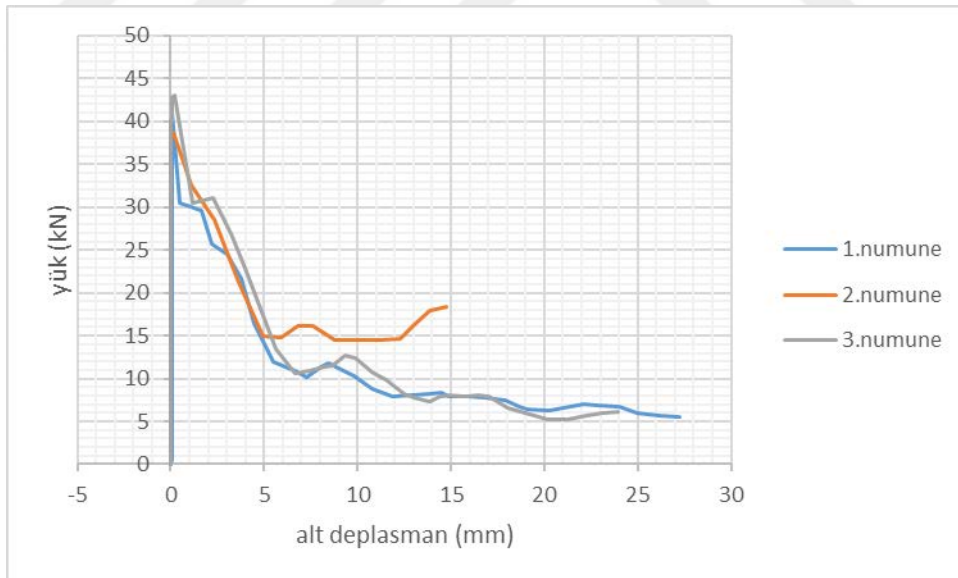
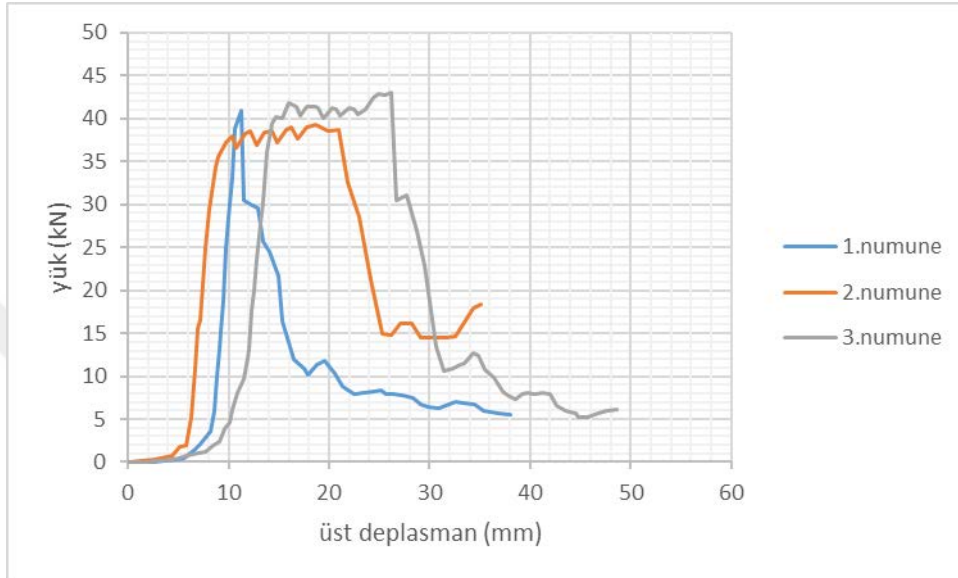
- 50A-0,5L-15A



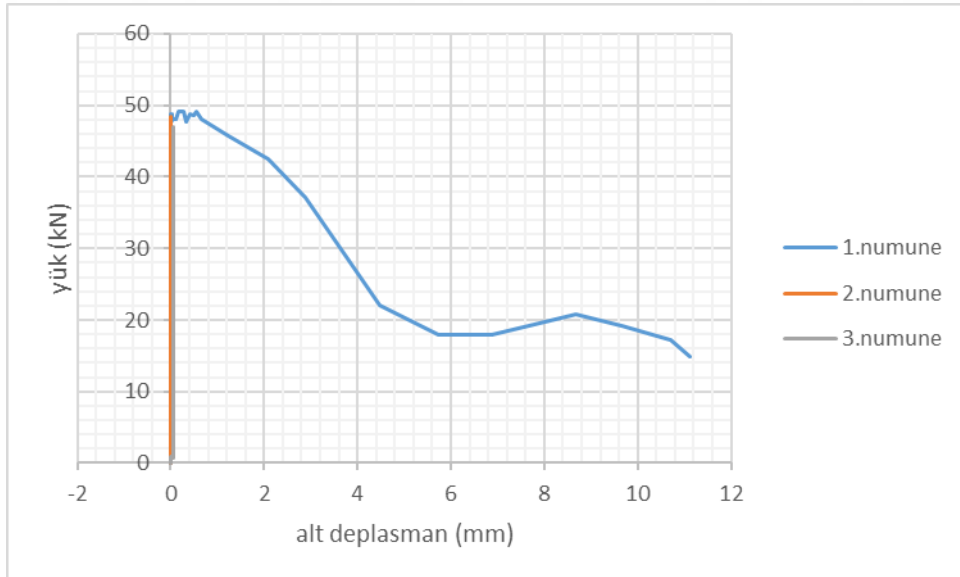
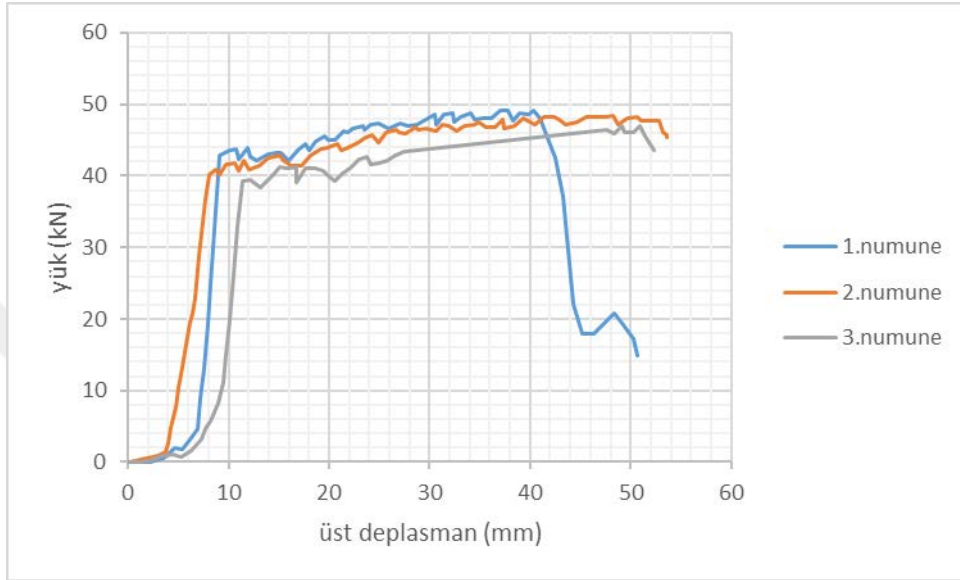
- 50A-1L-5A



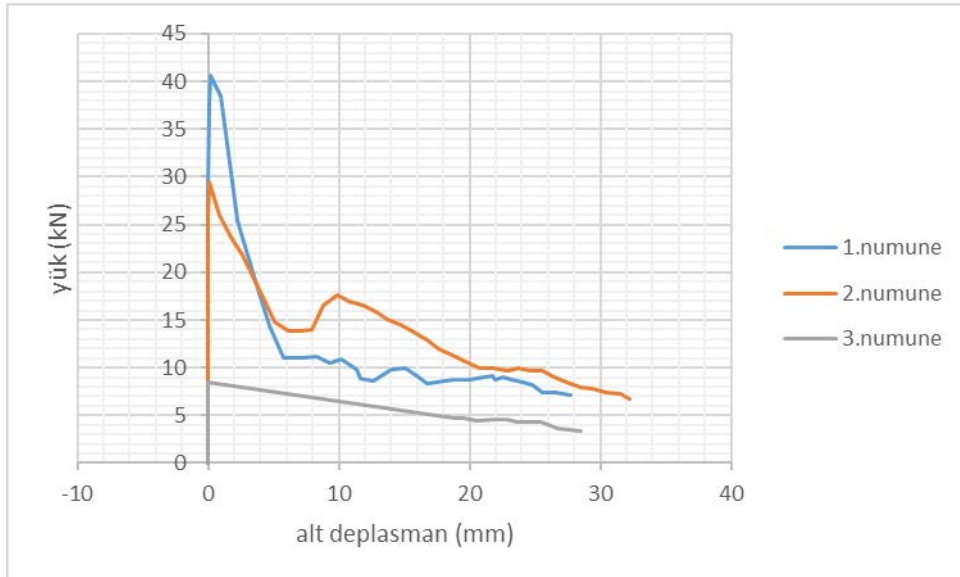
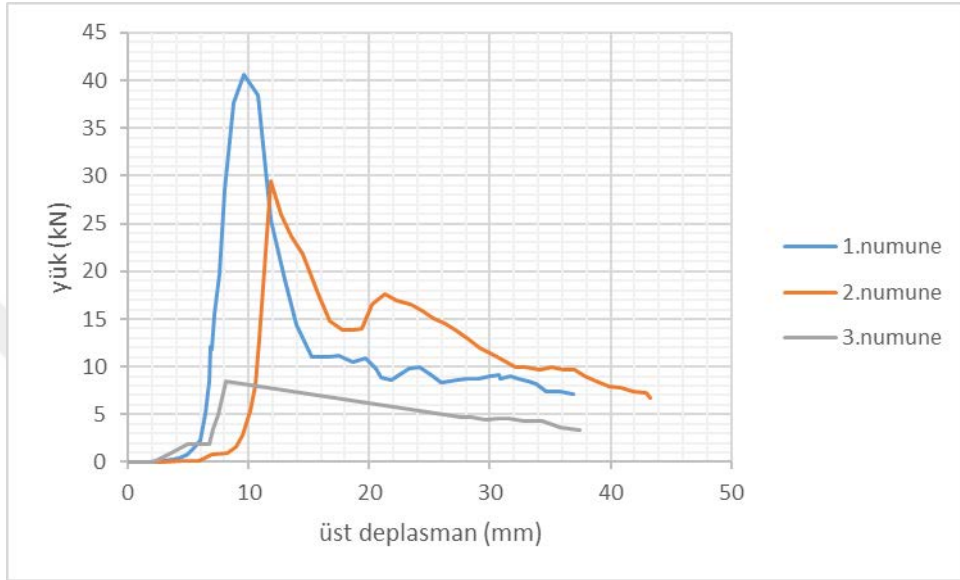
- 50A-1L-10A



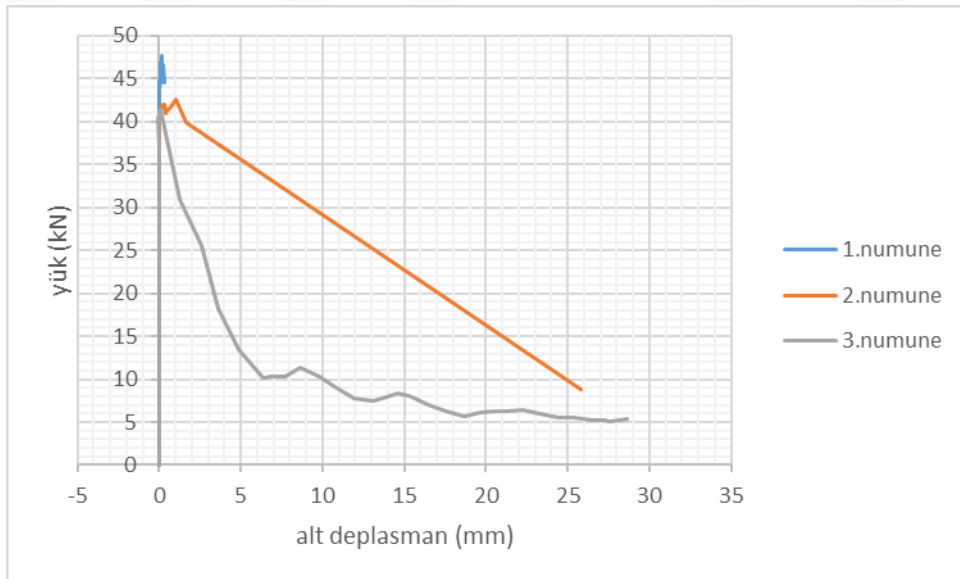
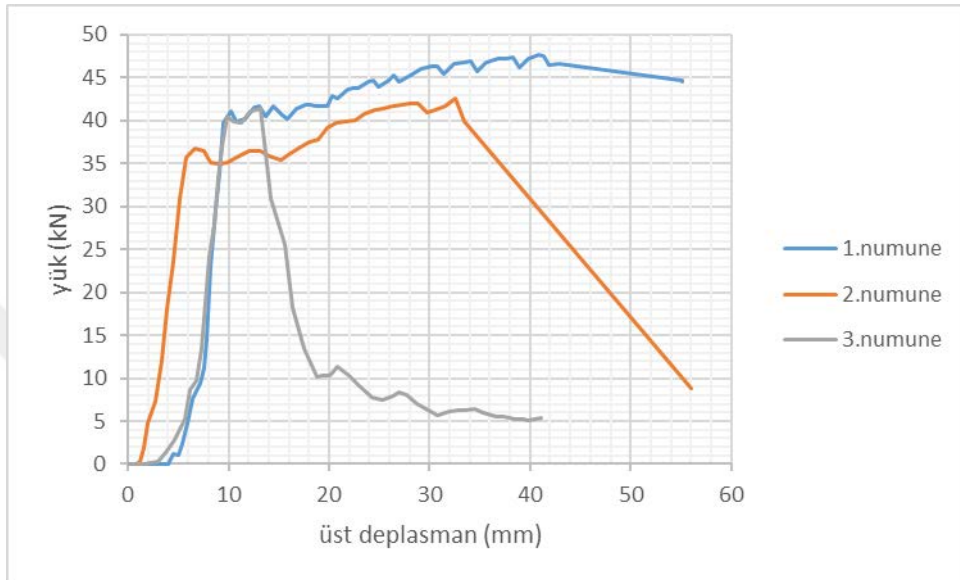
- 50A-1L-15A



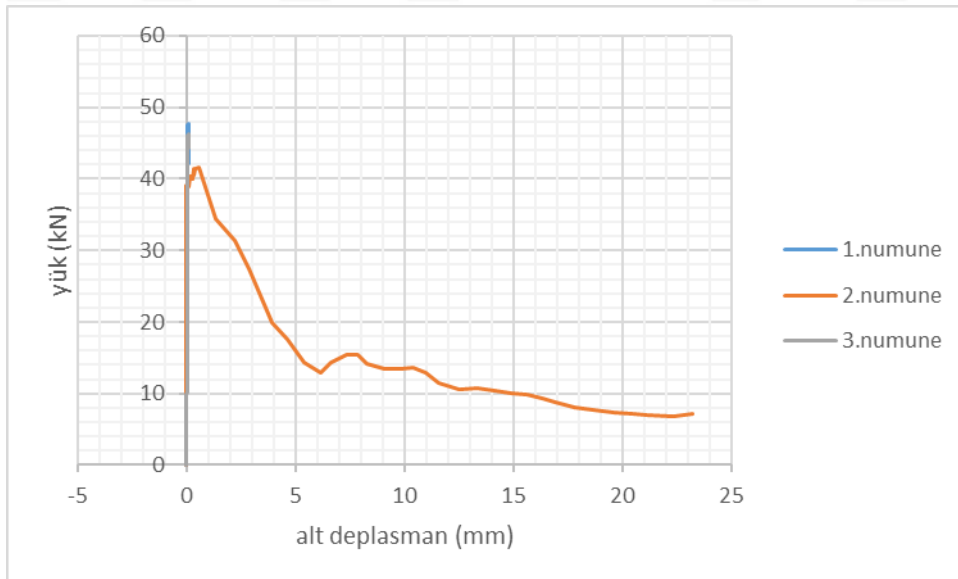
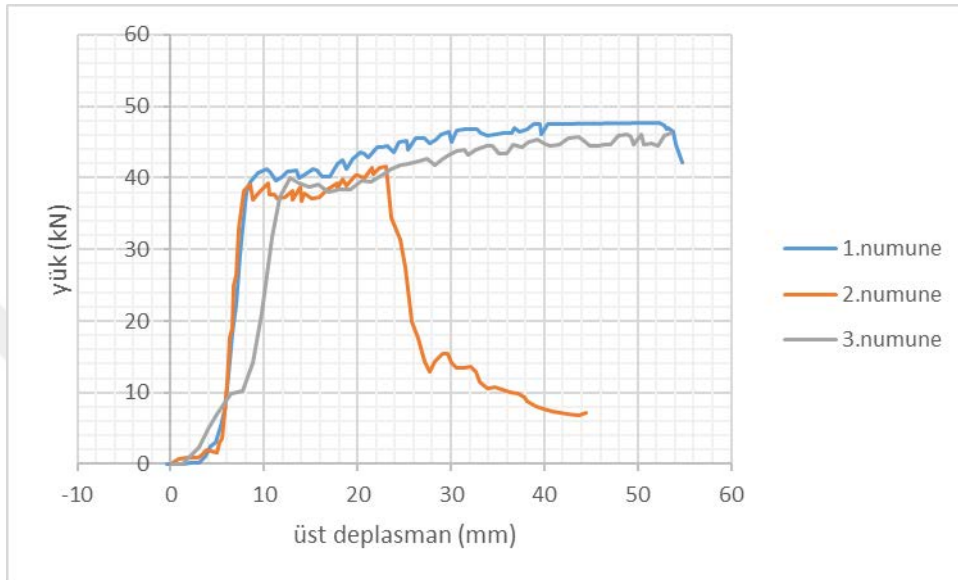
- 50A-2L-5A



- 50A-2L-10A

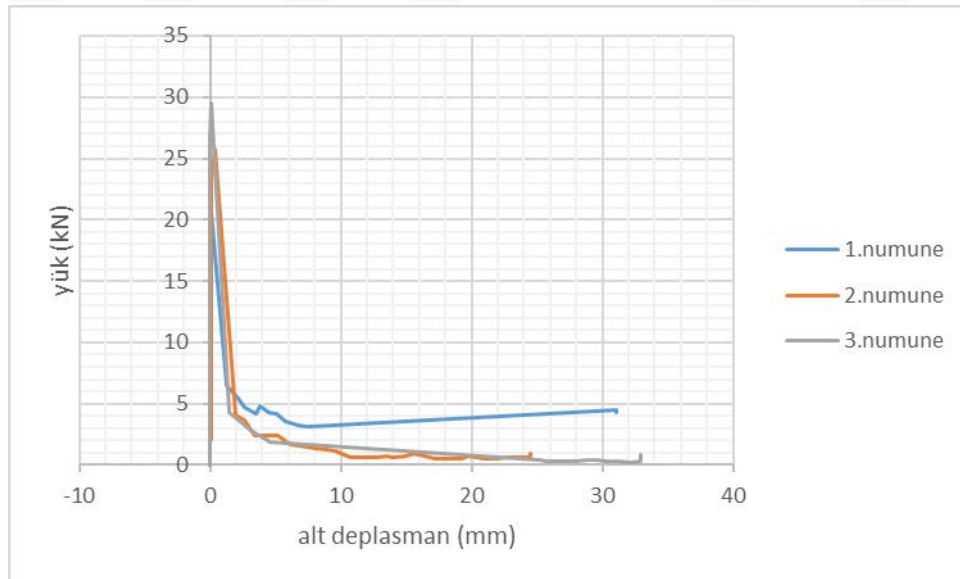
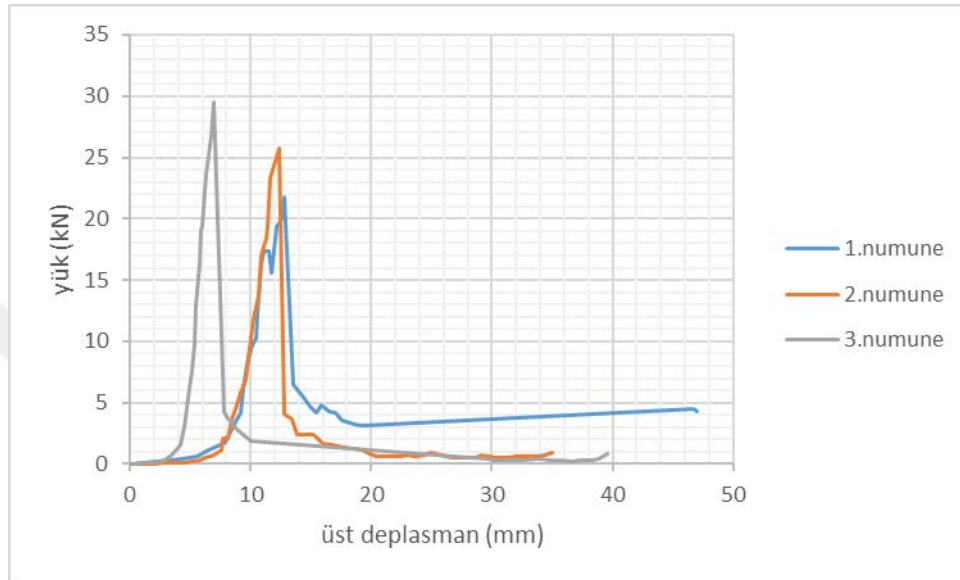


- 50A-2L-15A

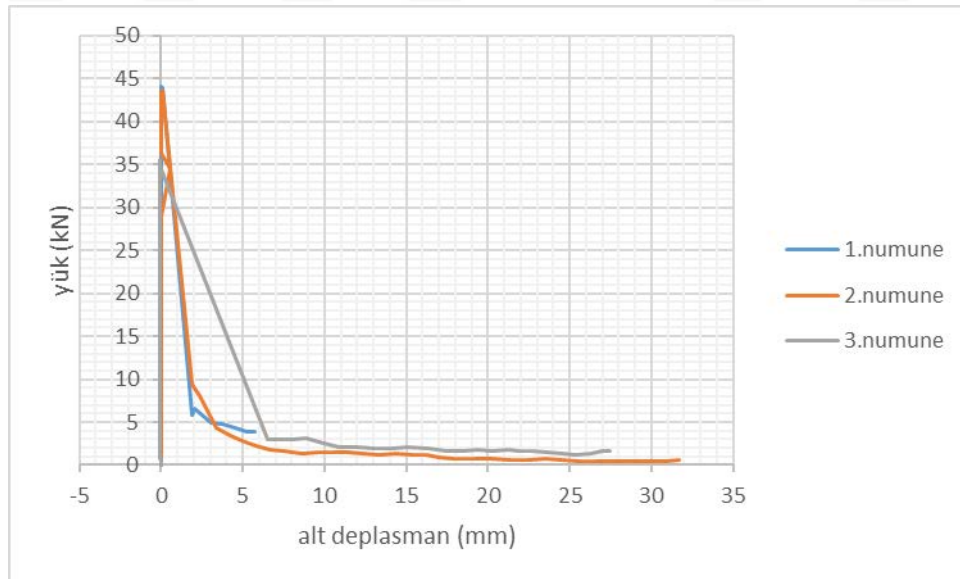
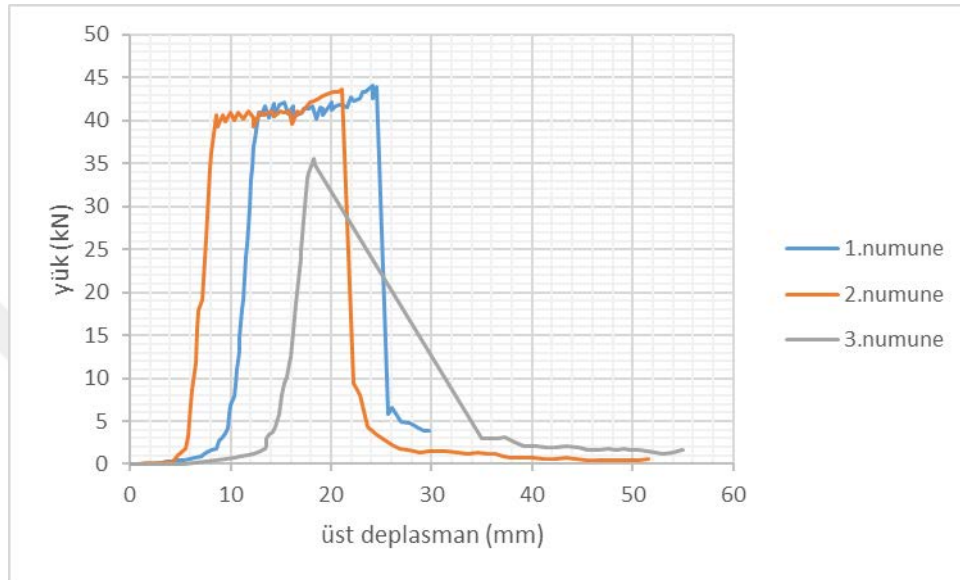


4. GRUP (%75 atık agrega içermektedir)

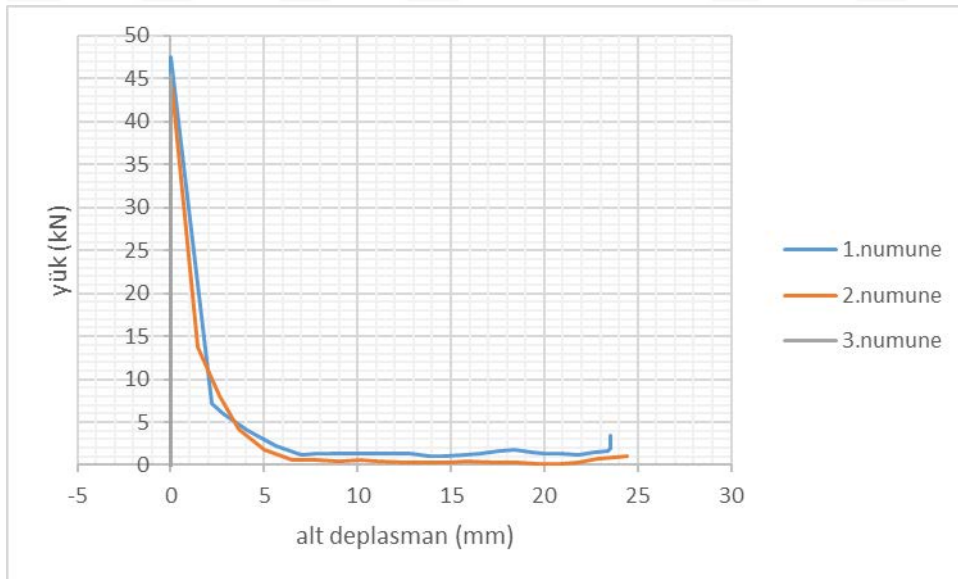
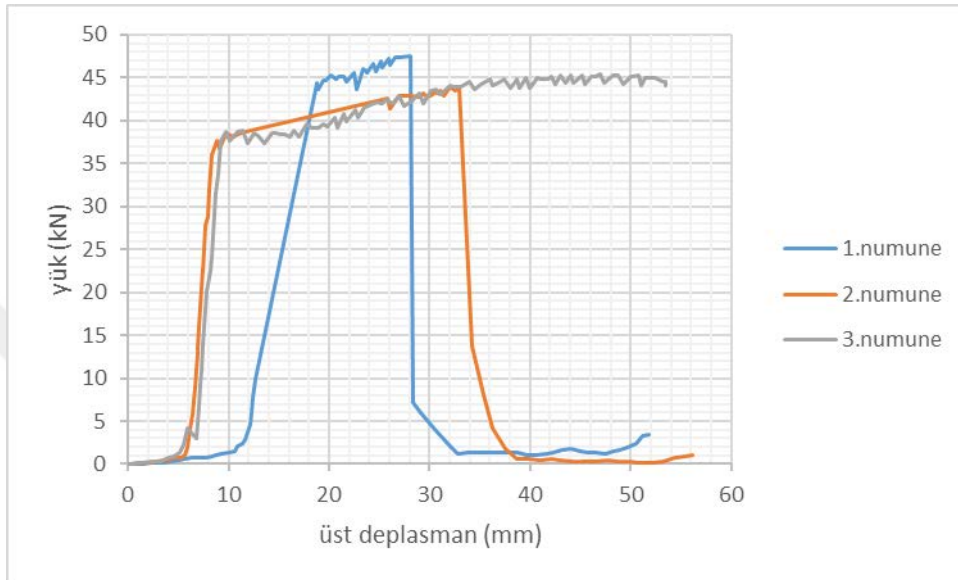
- 75A-0L-5A



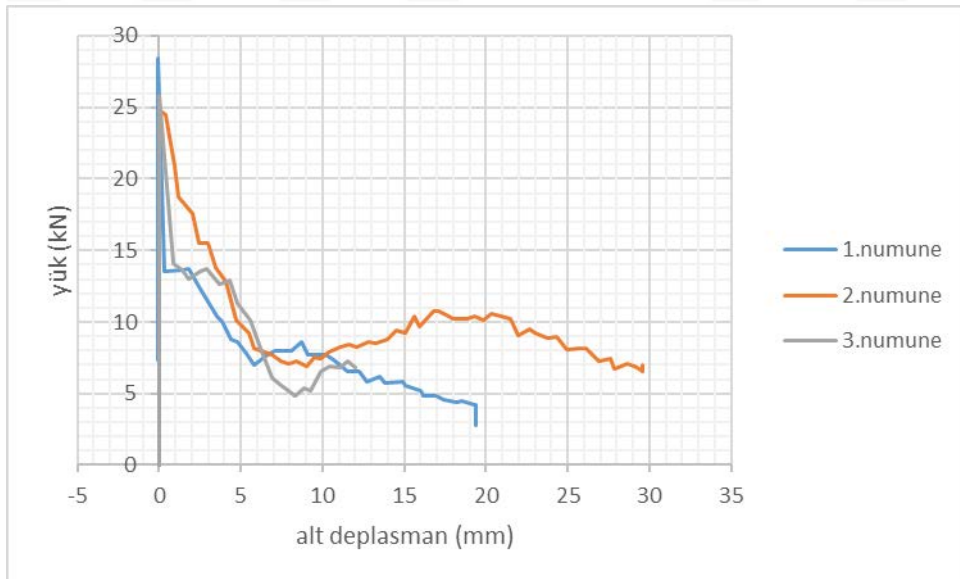
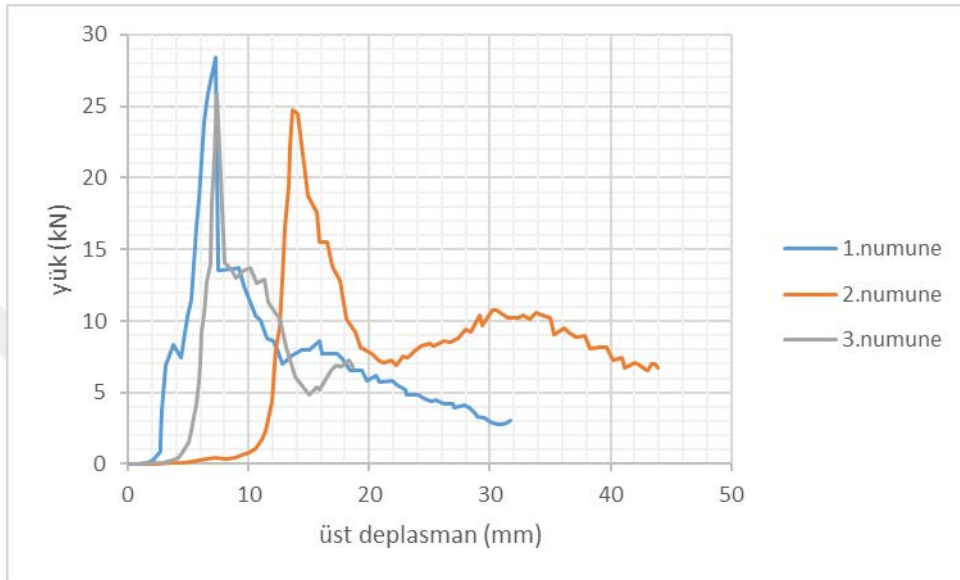
- 75A-0L-10A



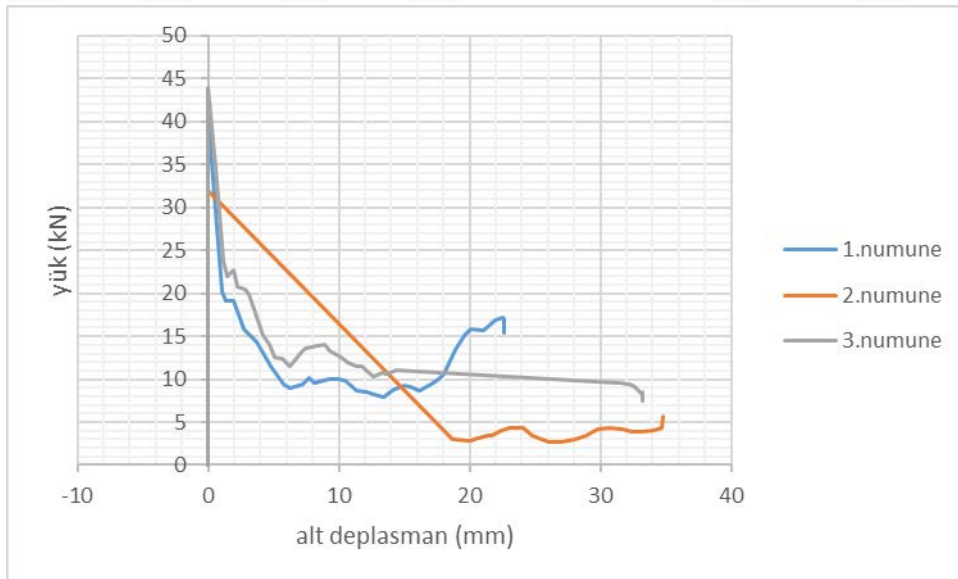
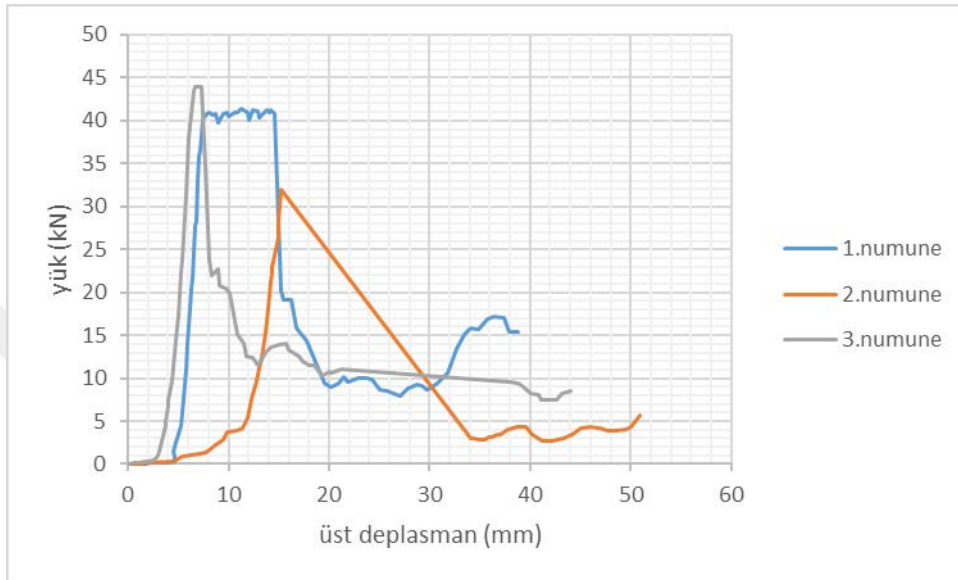
- 75A-0L-15A



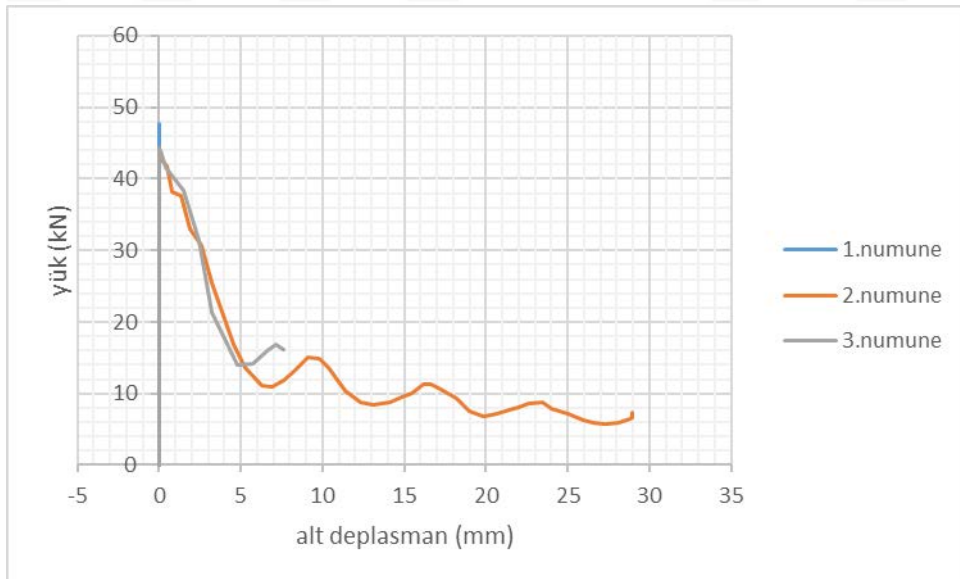
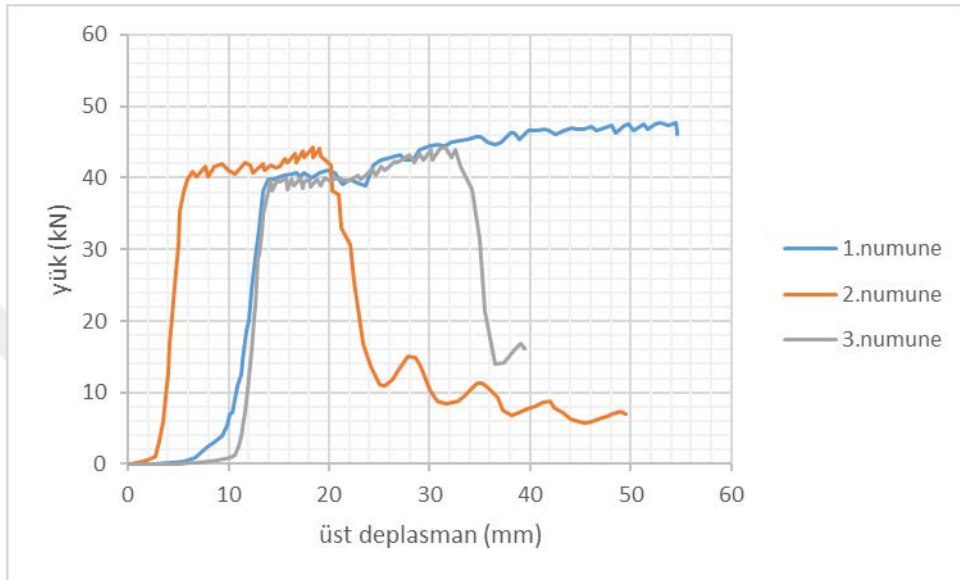
- 75A-0,5L-5A



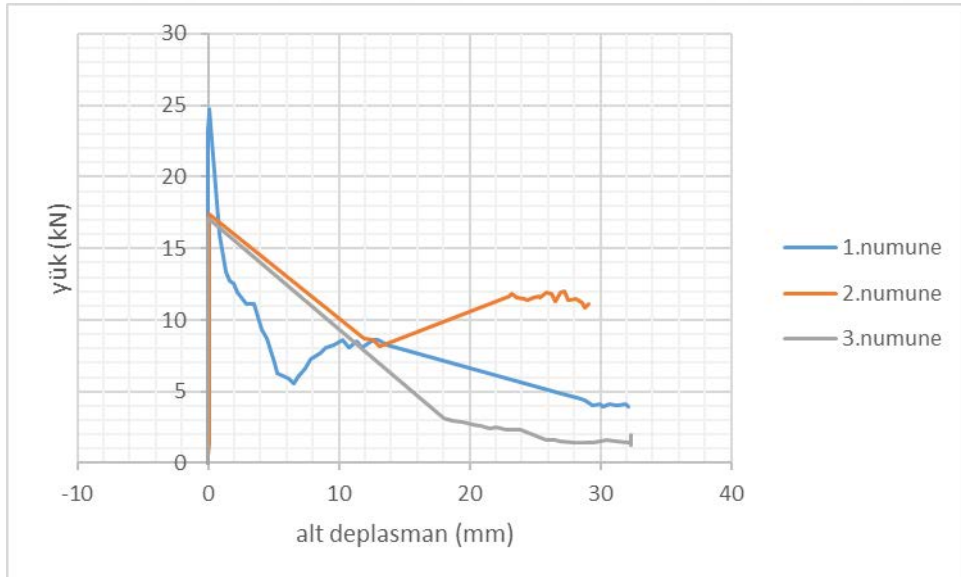
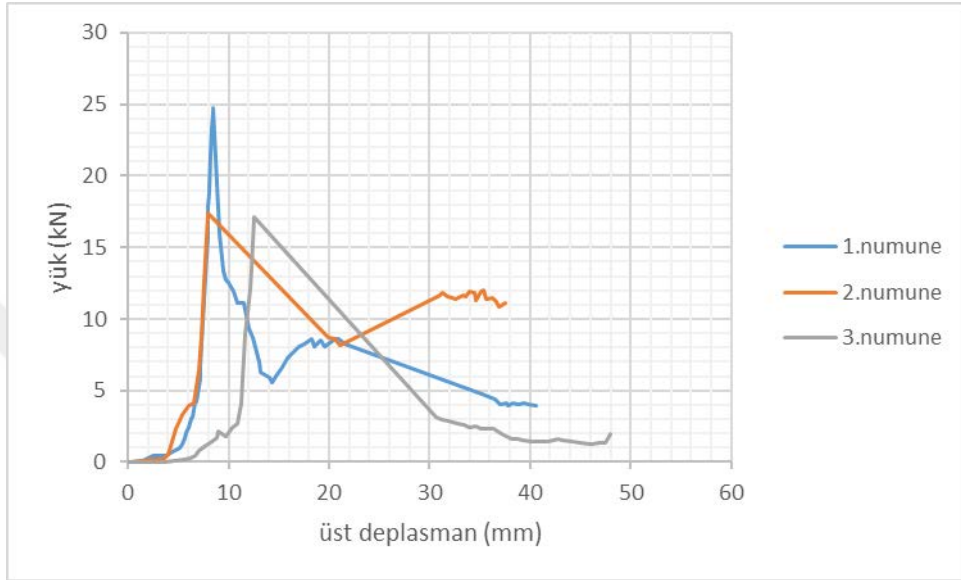
- 75A-0,5L-10A



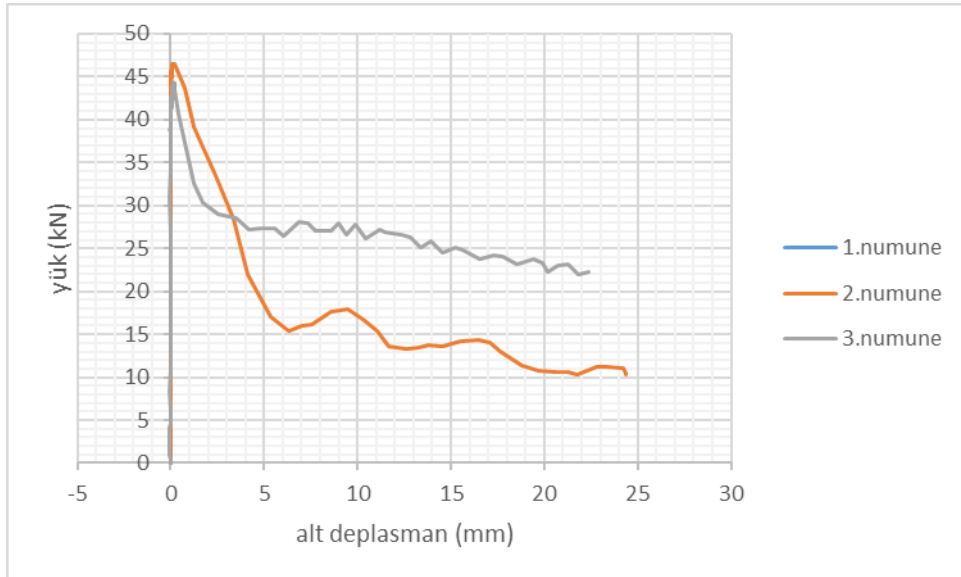
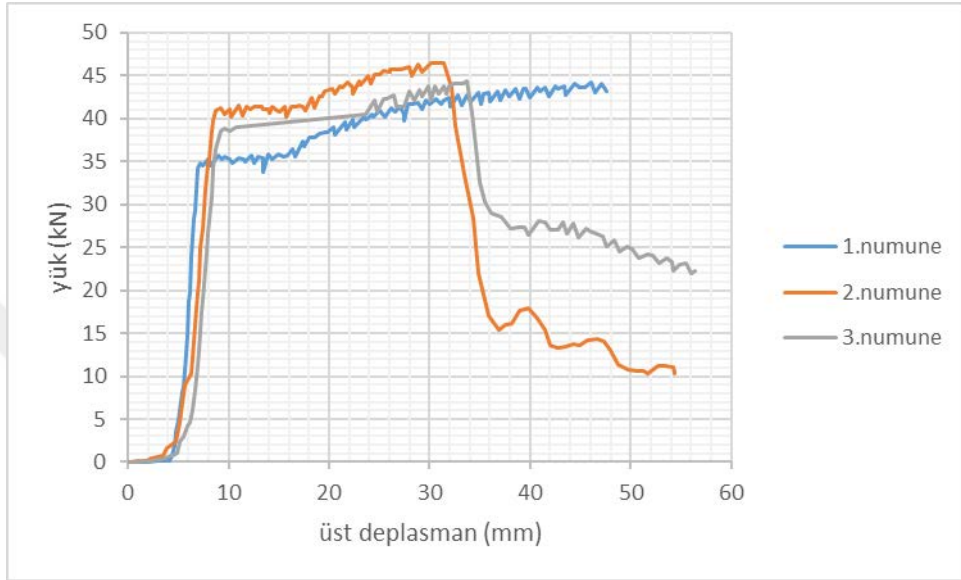
- 75A-0,5L-15A



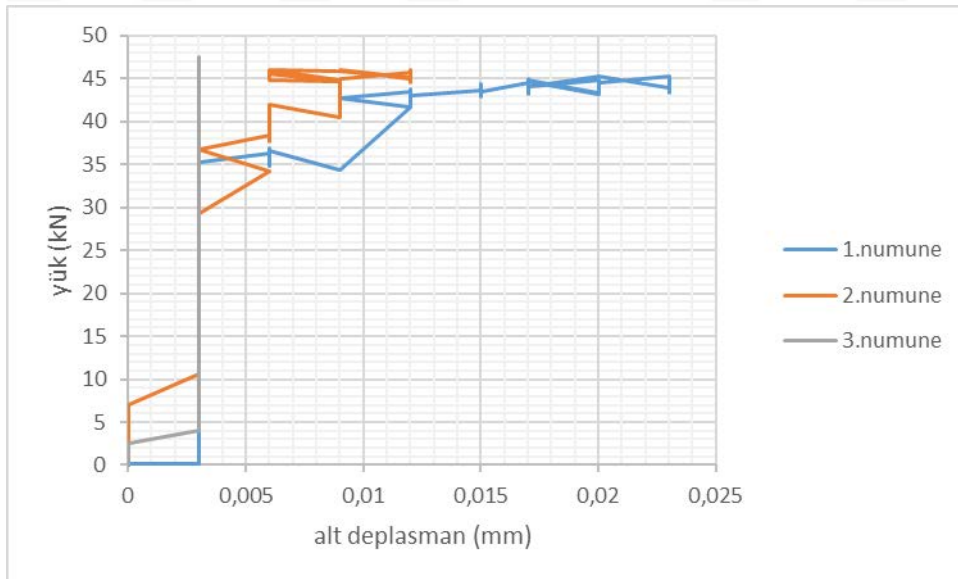
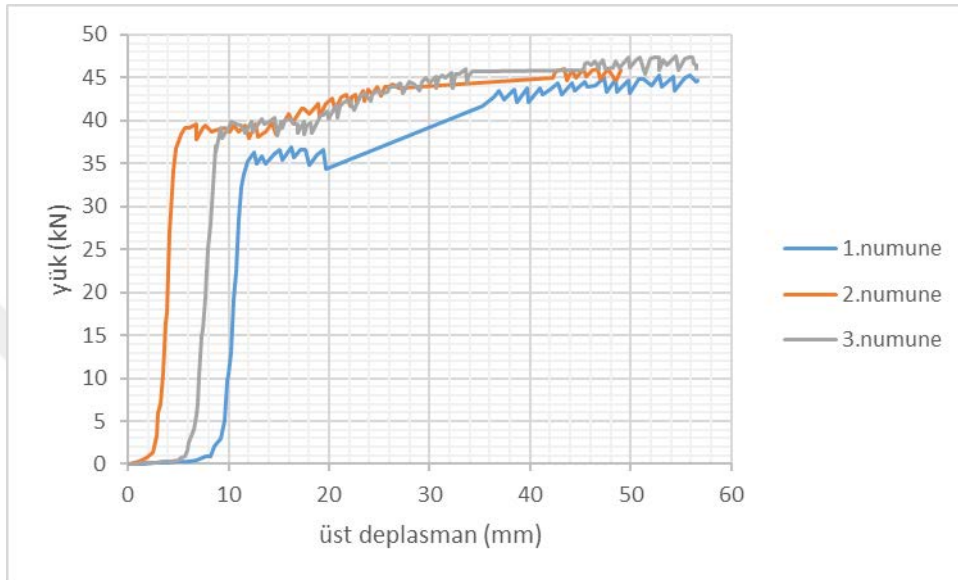
- 75A-1L-5A



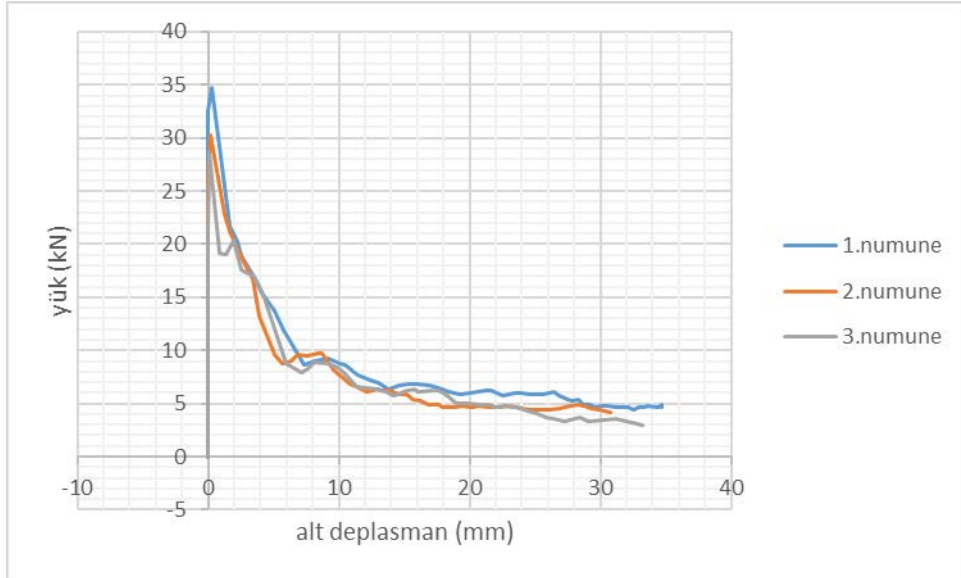
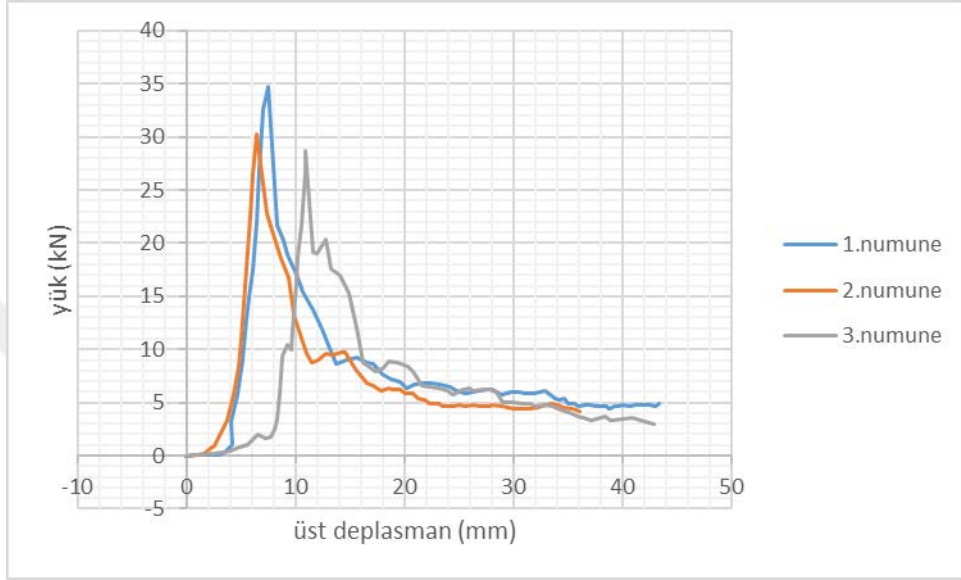
- 75A-1L-10A



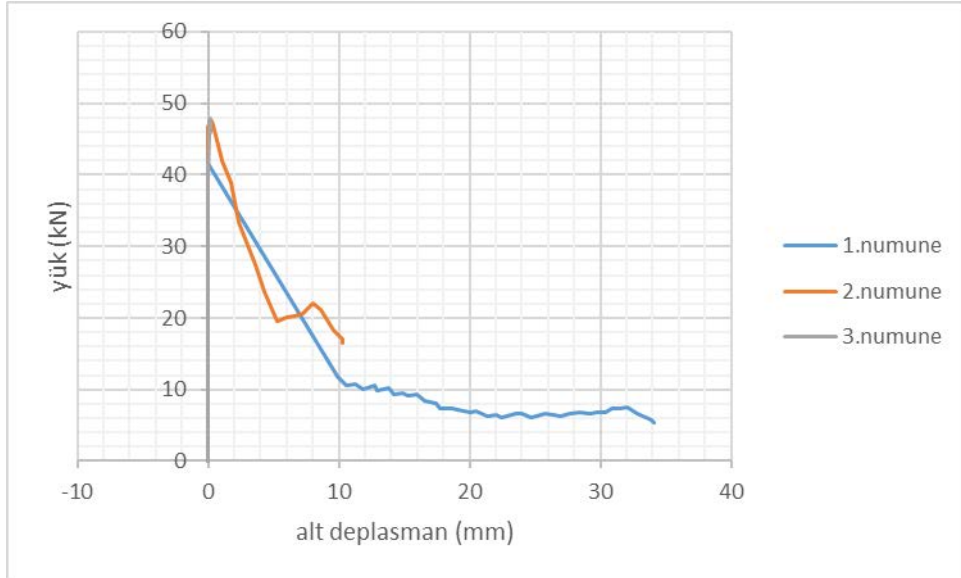
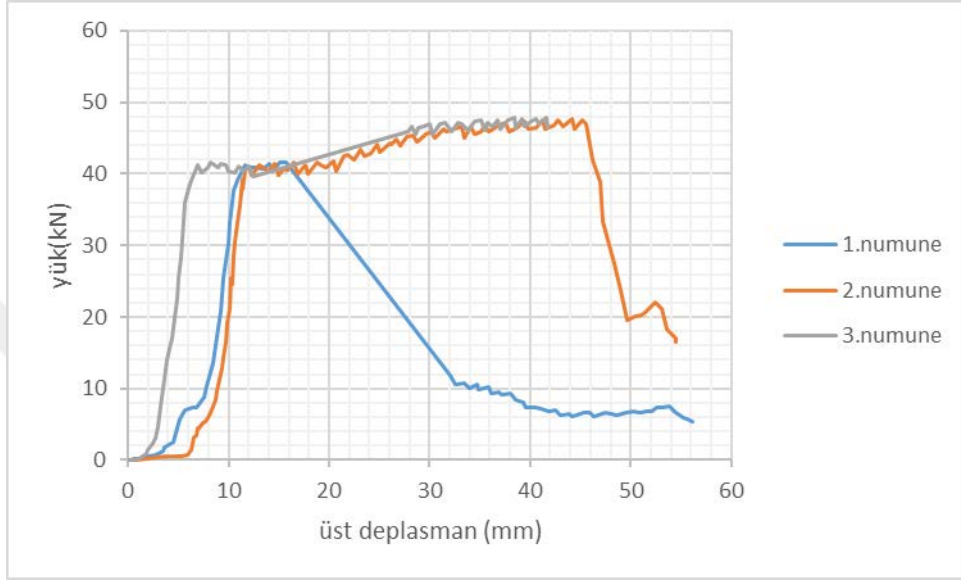
- 75A-1L-15A



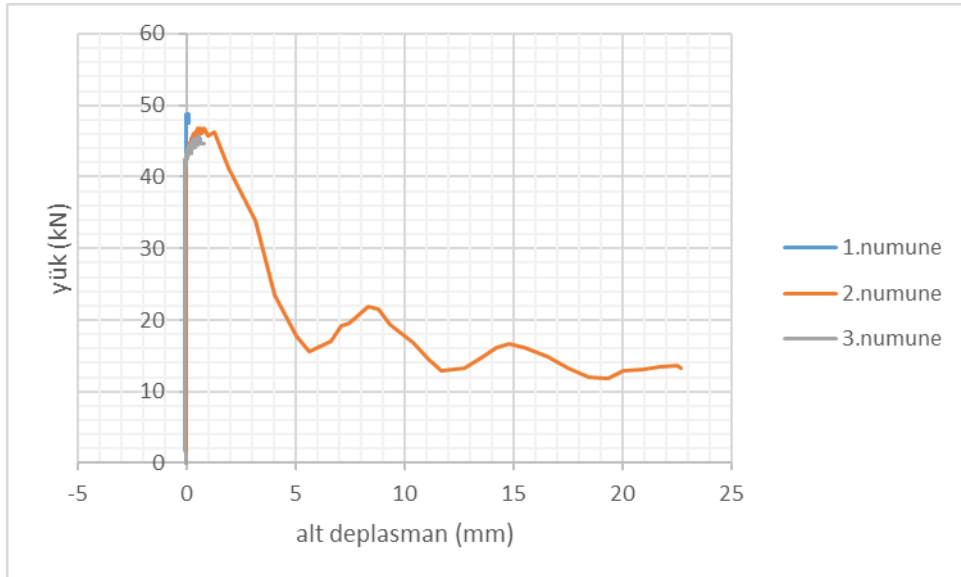
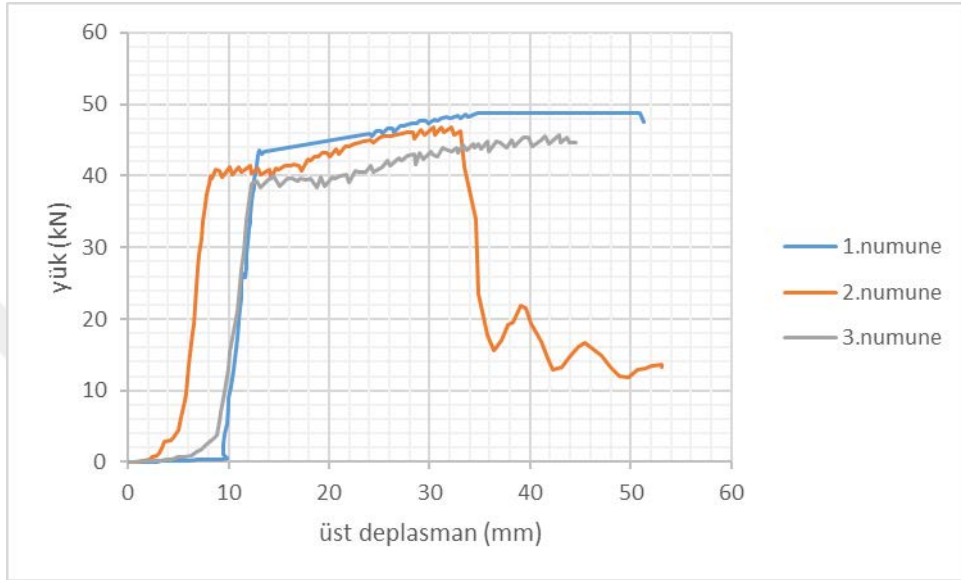
- 75A-2L-5A



- 75A-2L-10A

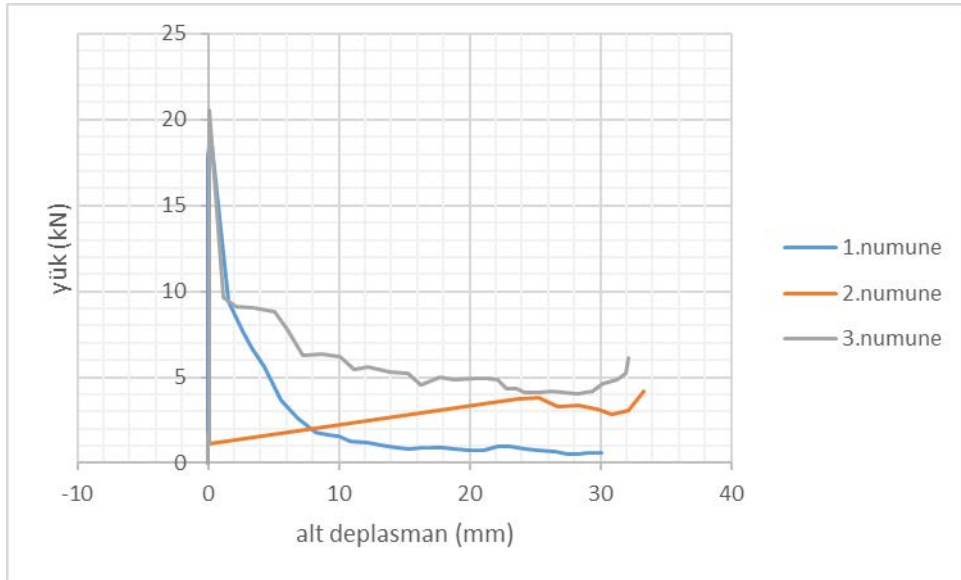
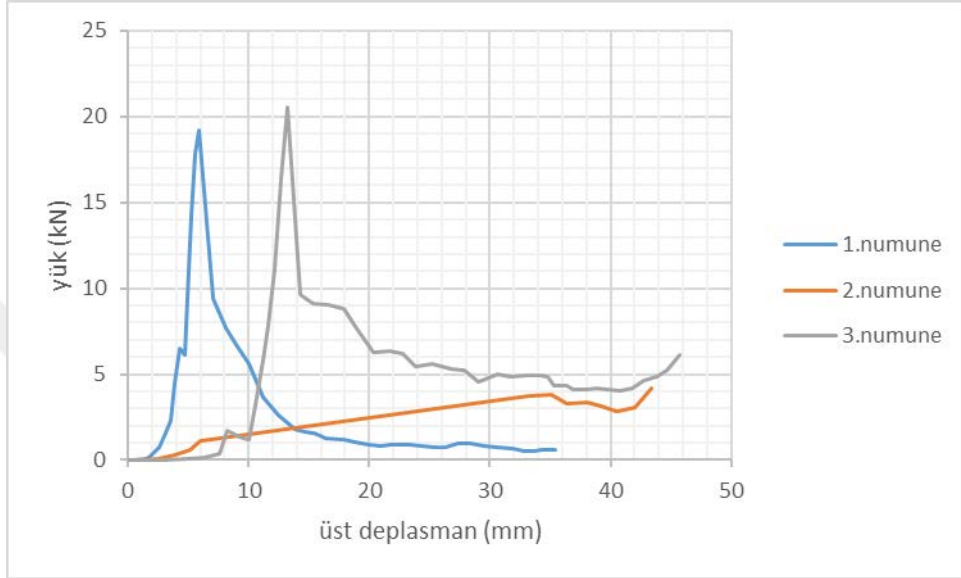


- 75A-2L-15A

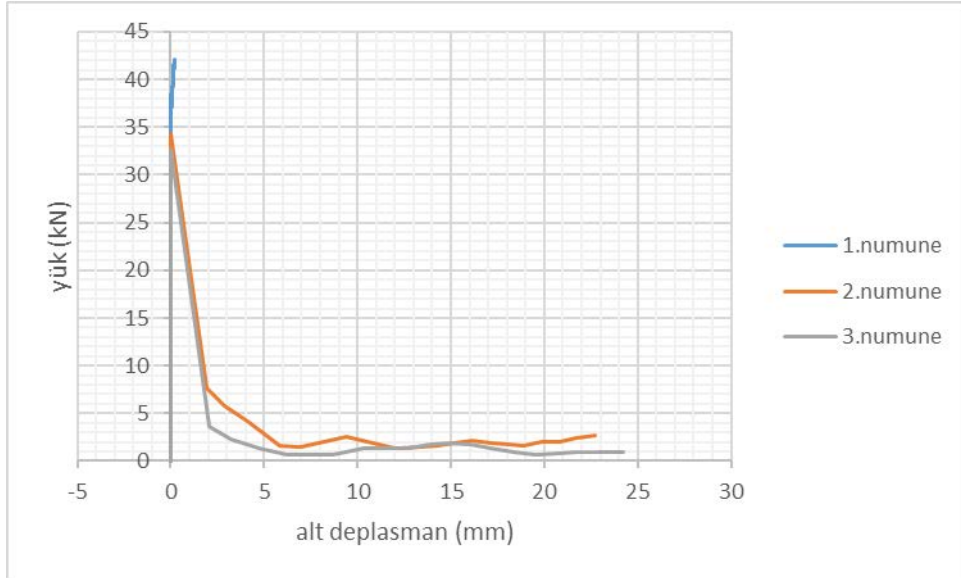
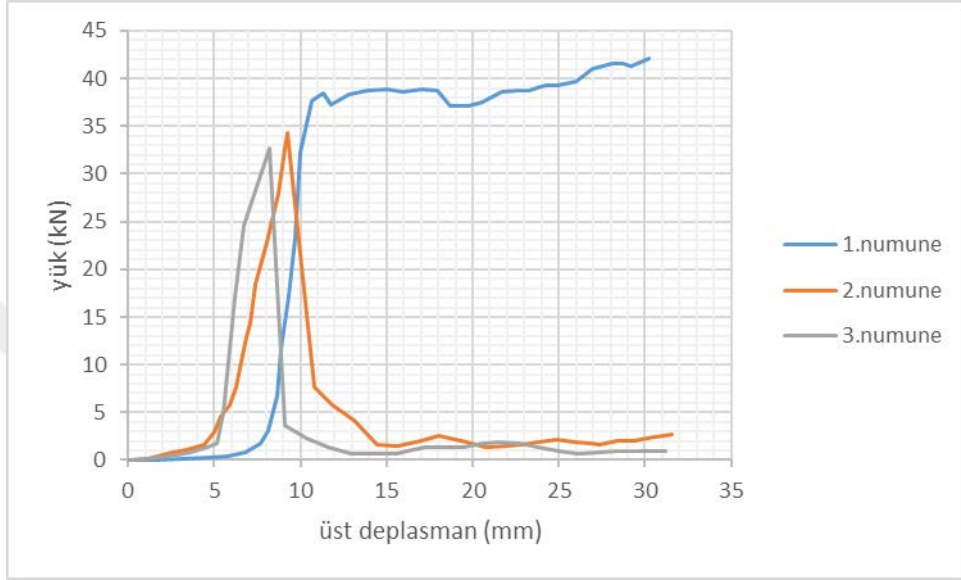


5. GRUP (%100 atık agrega içermektedir)

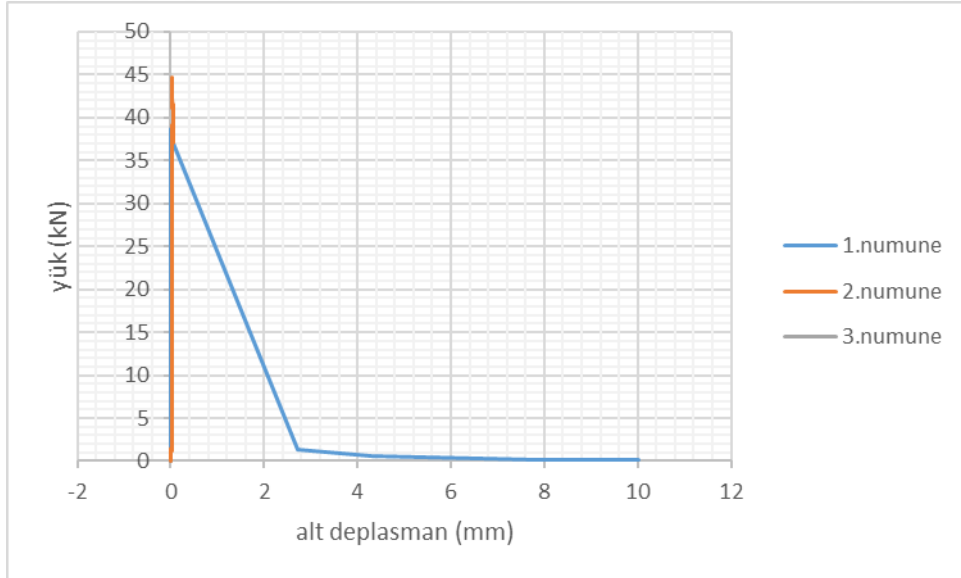
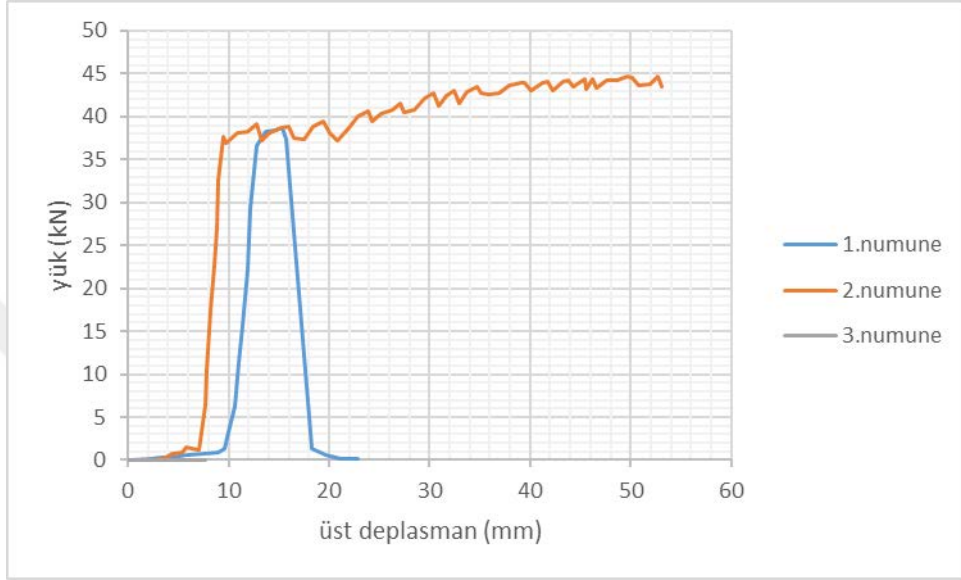
- 100A-0L-5A



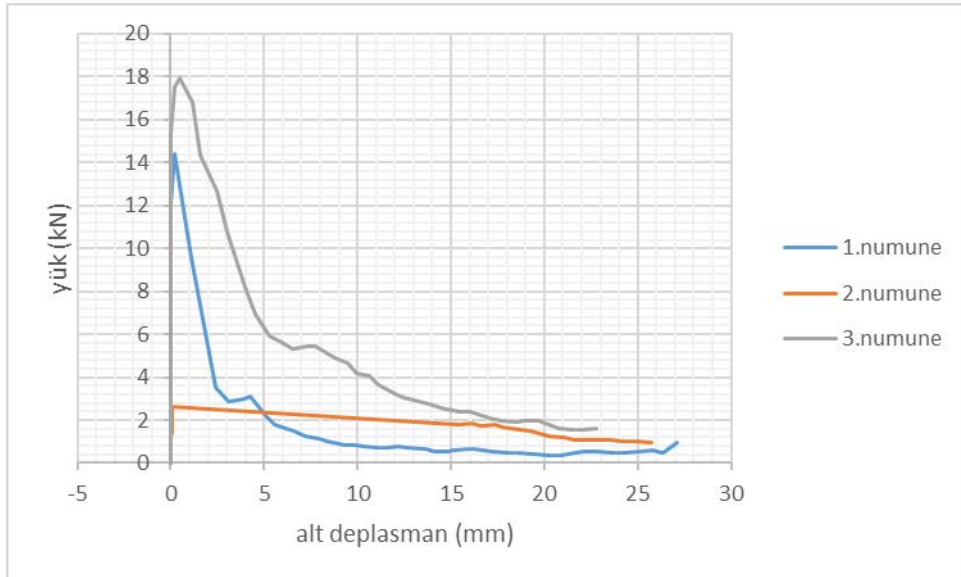
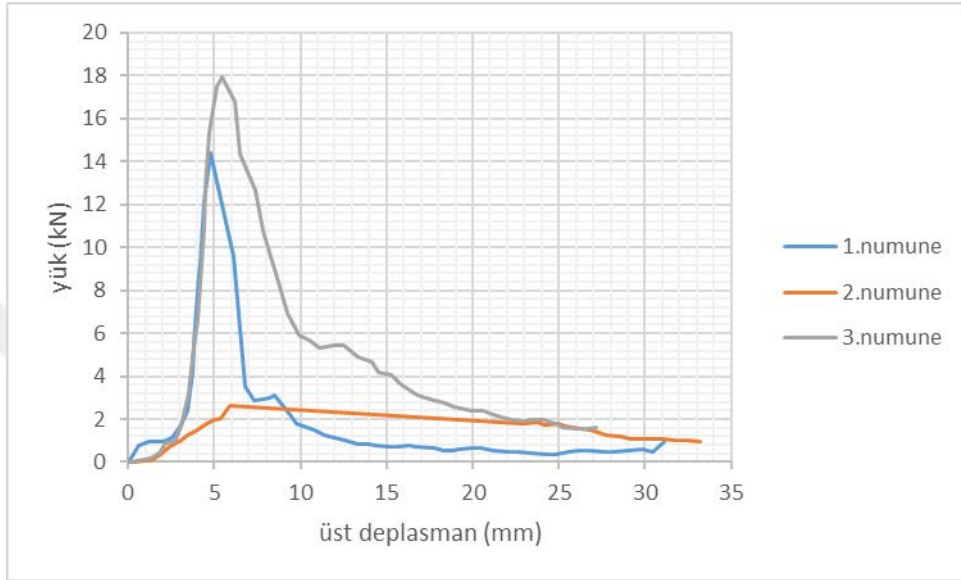
- 100A-0L-10A



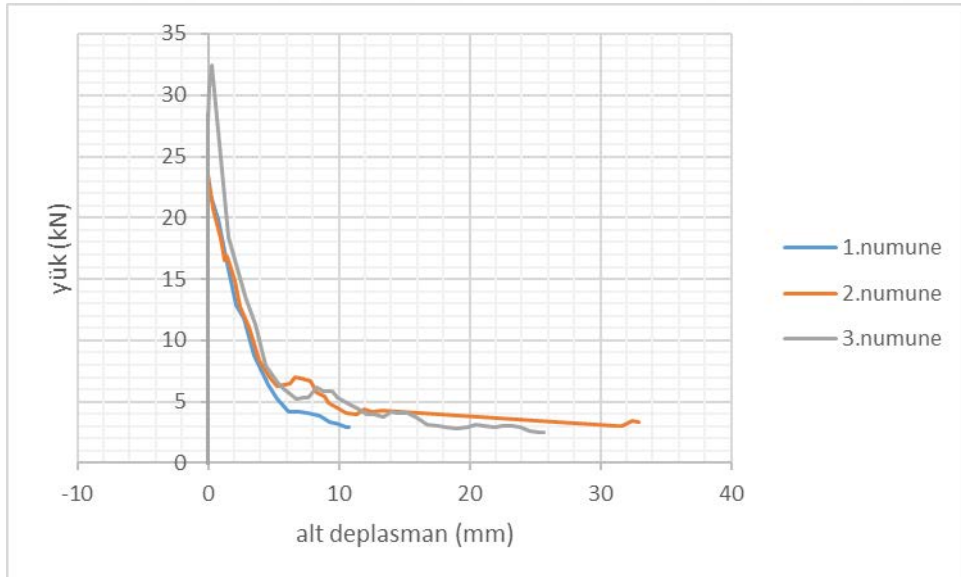
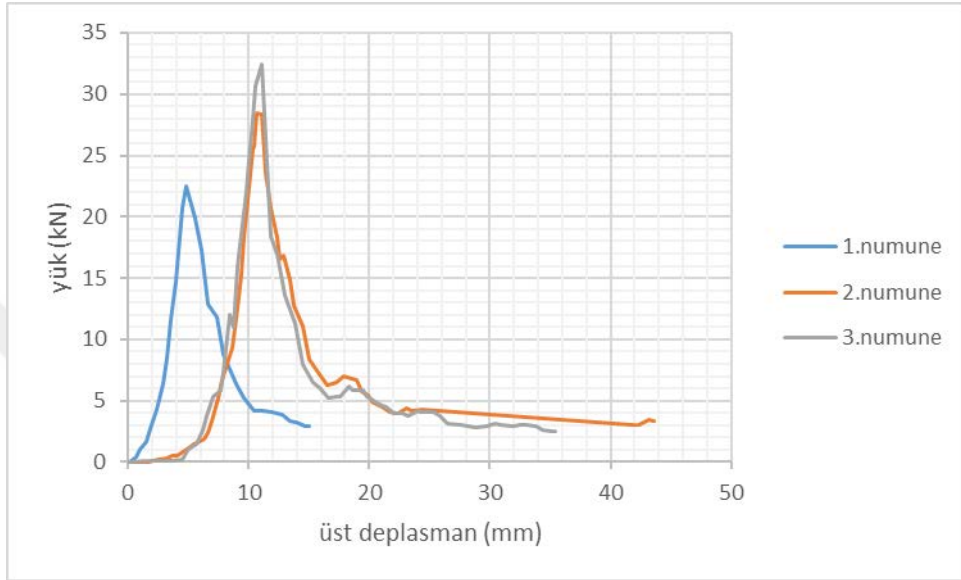
- 100A-0L-15A



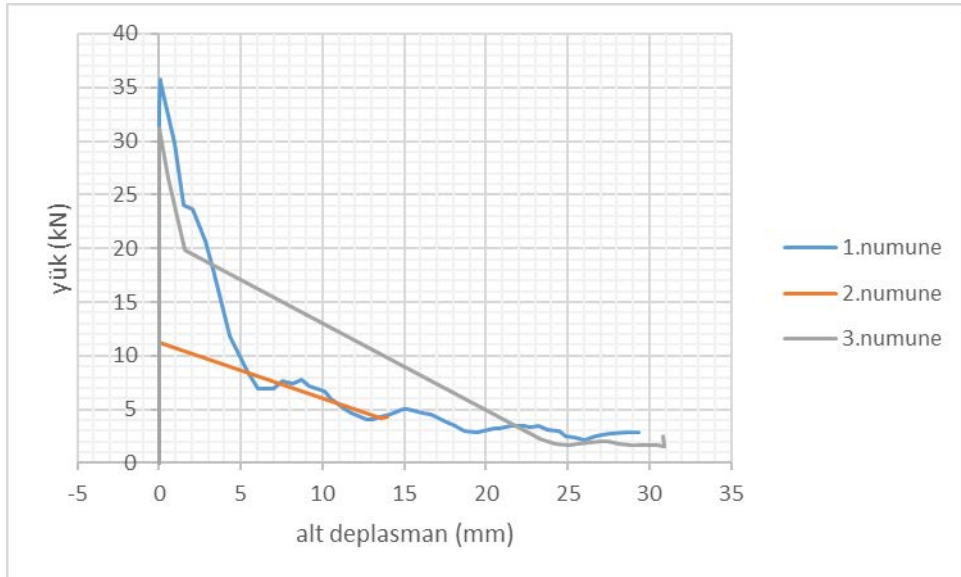
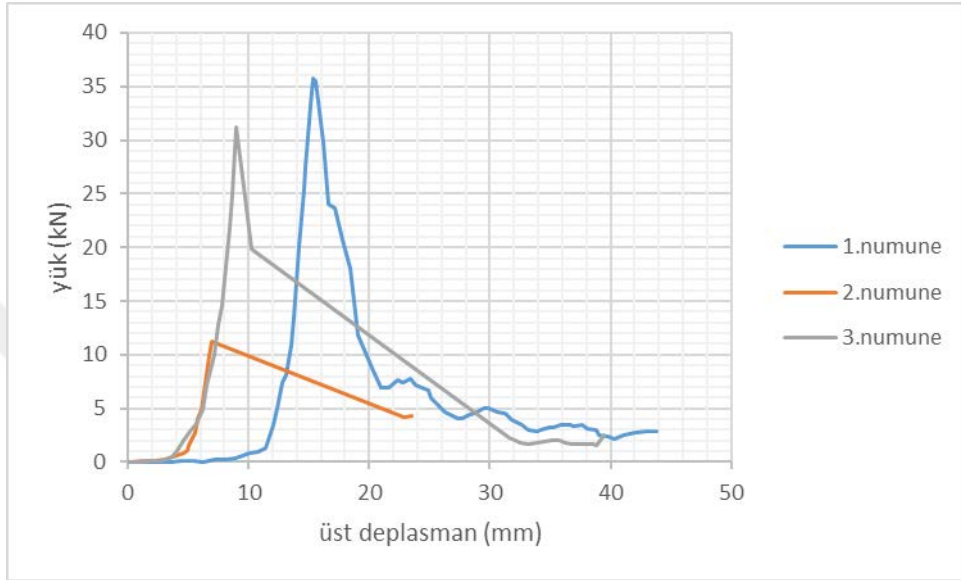
- 100A-0,5L-5A



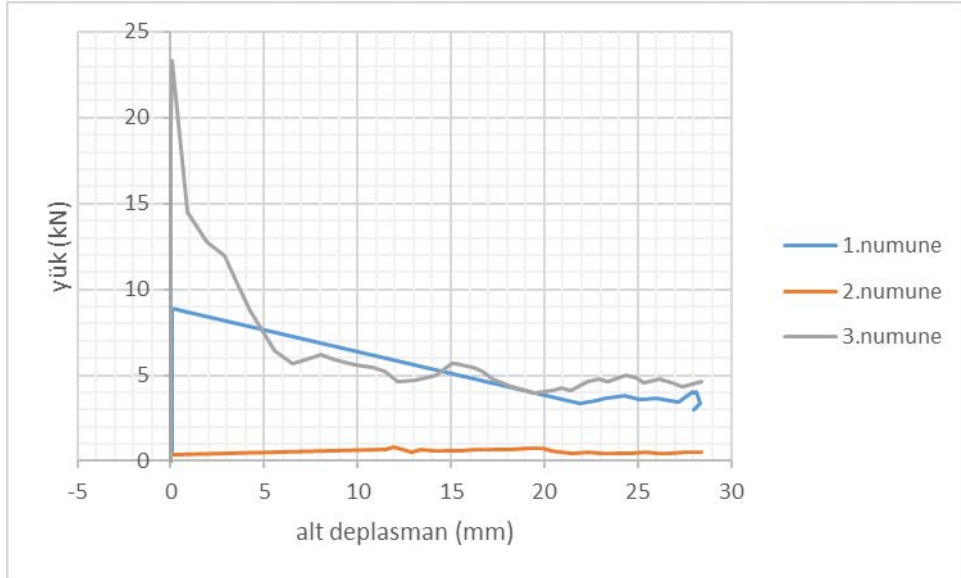
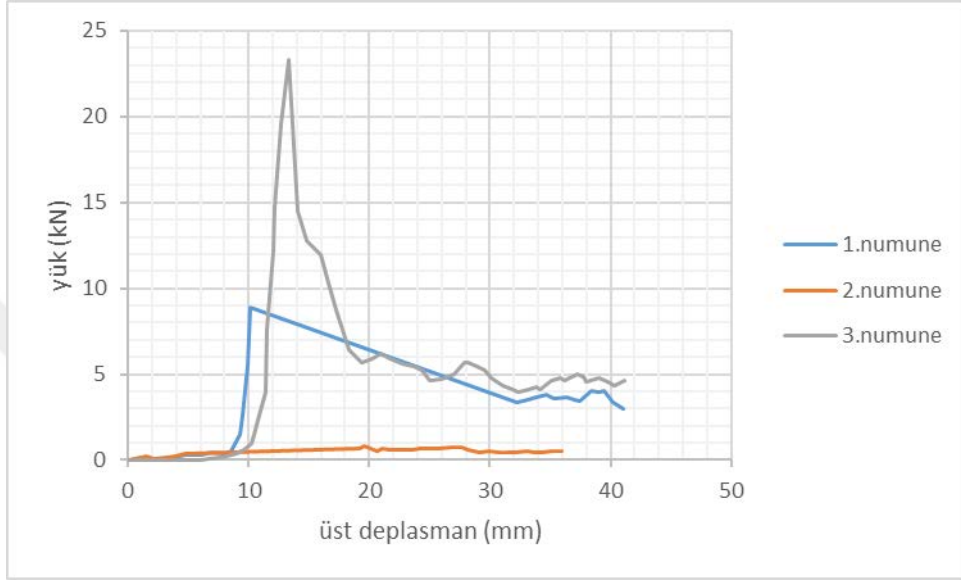
- 100A-0,5L-10A



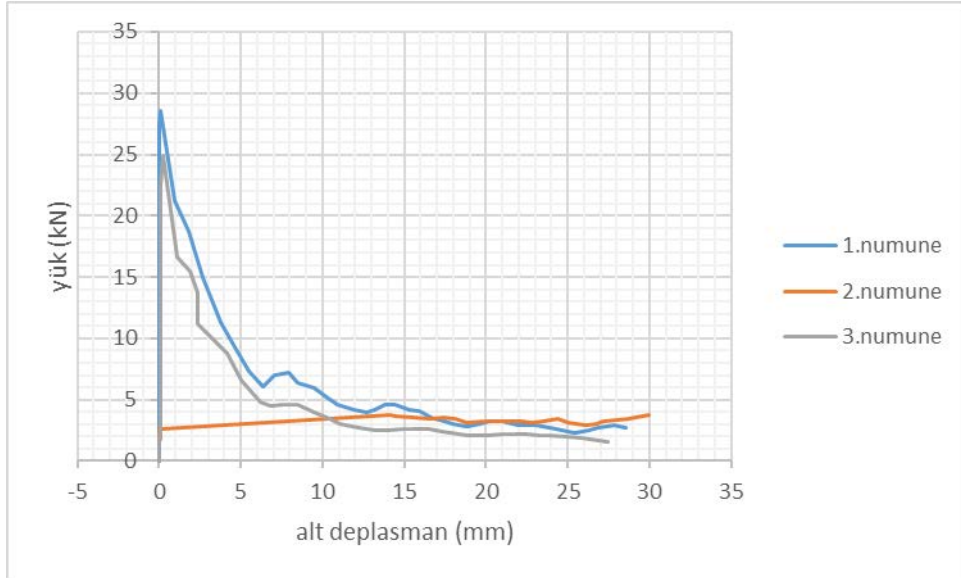
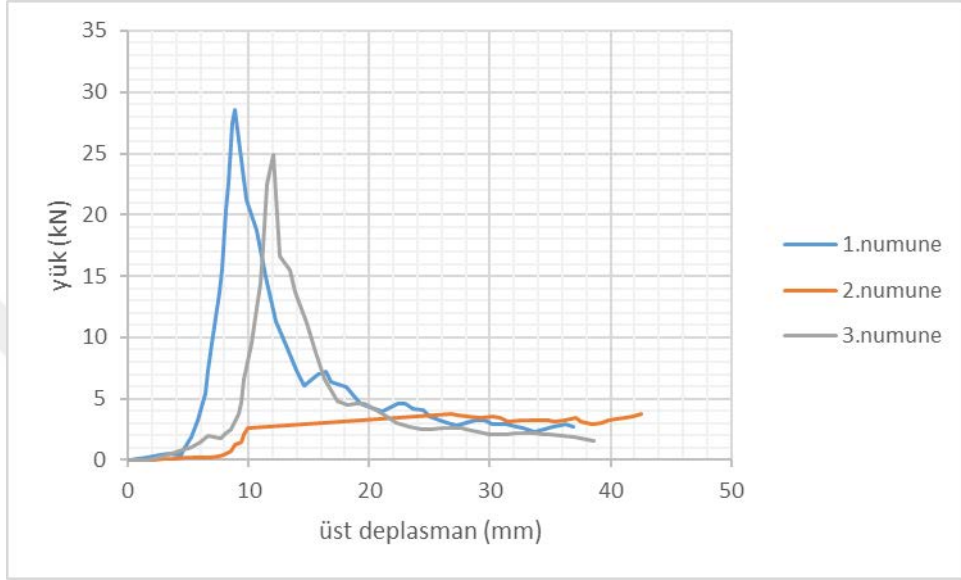
- 100A-0,5L-15A



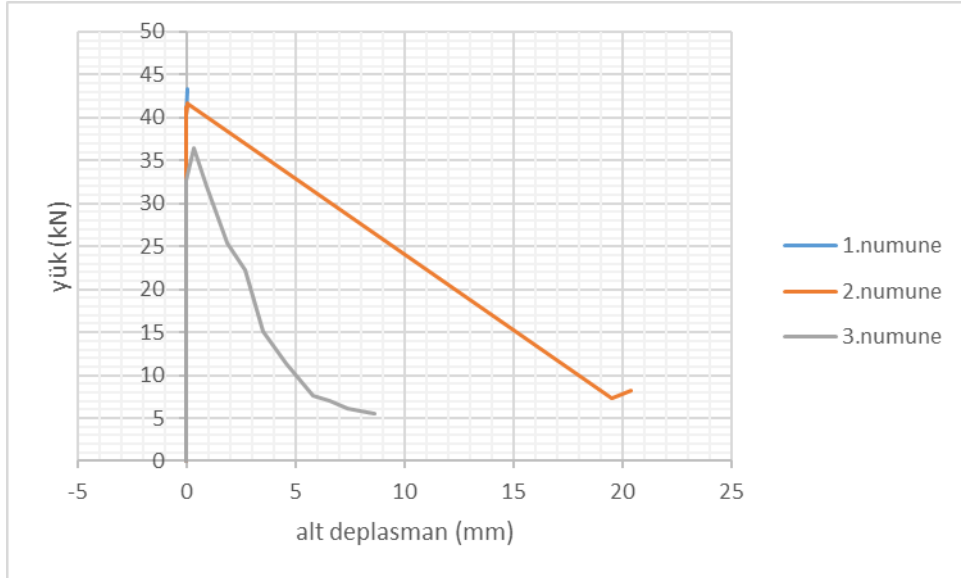
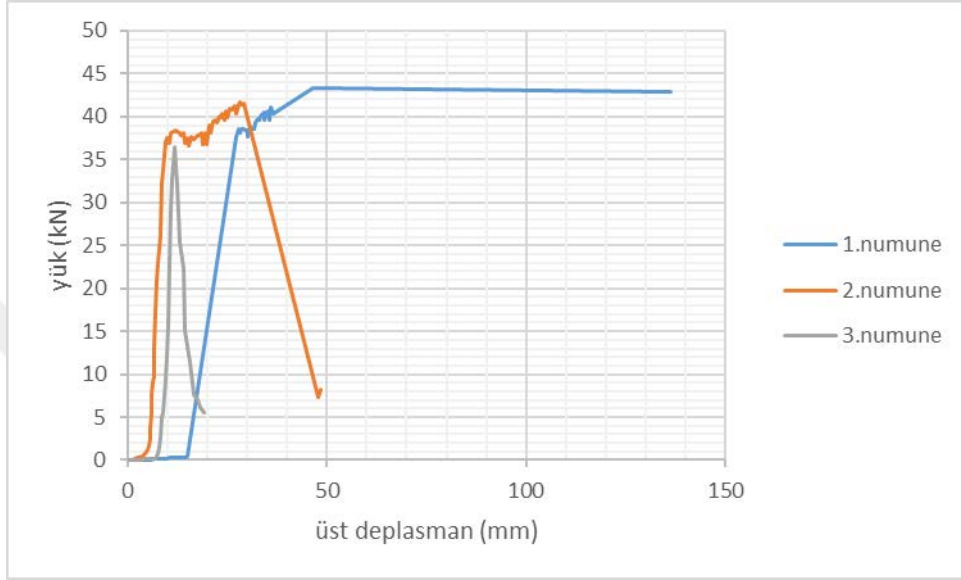
- 100A-1L-5A



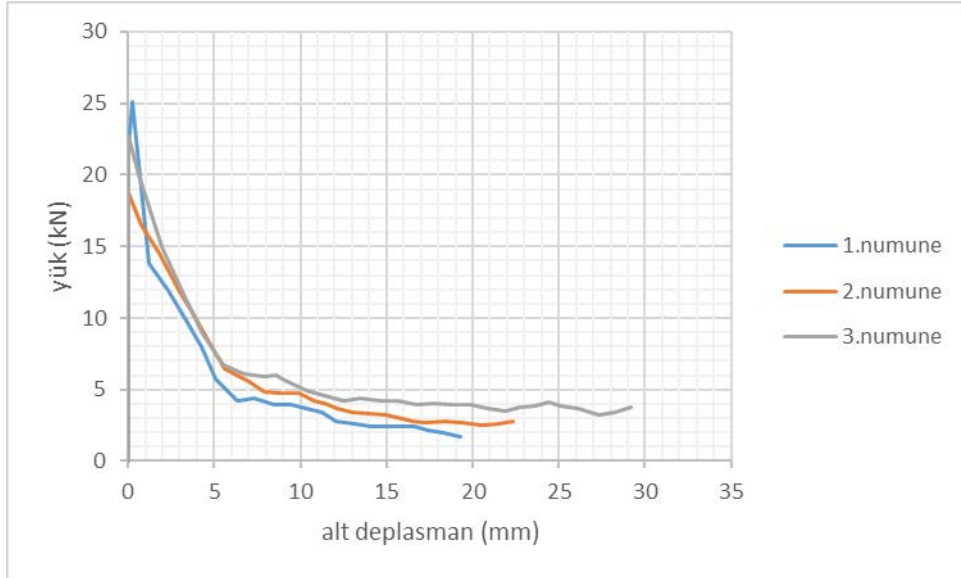
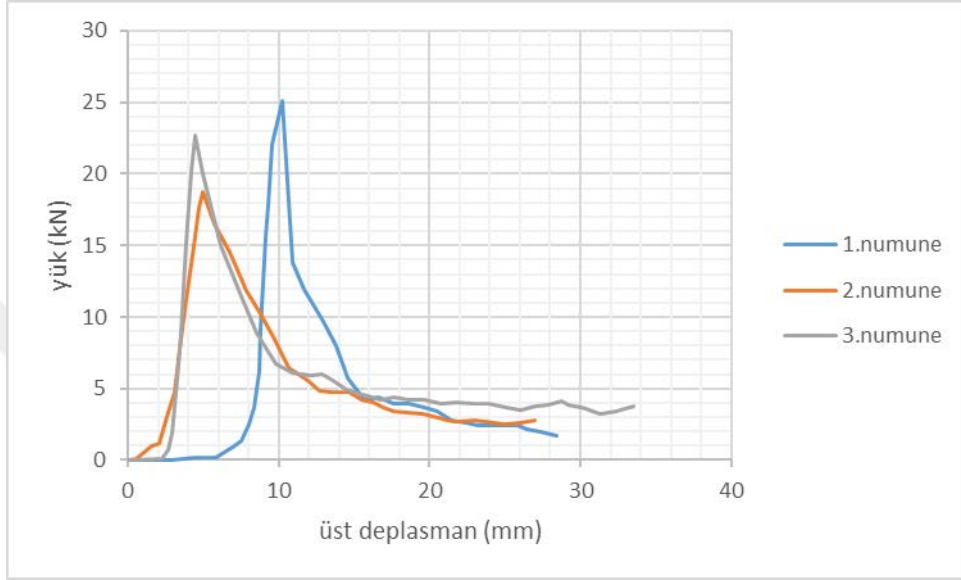
- 100A-1L-10A



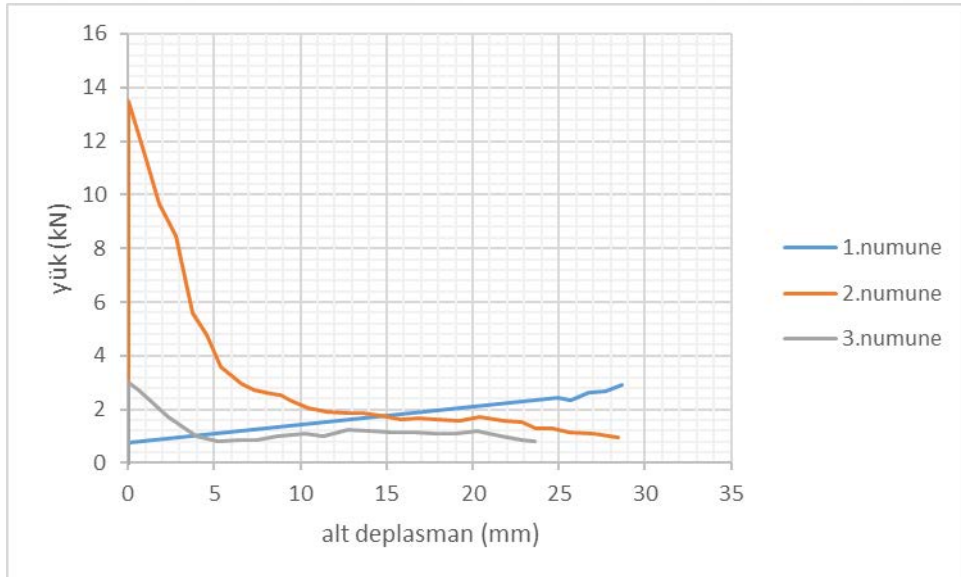
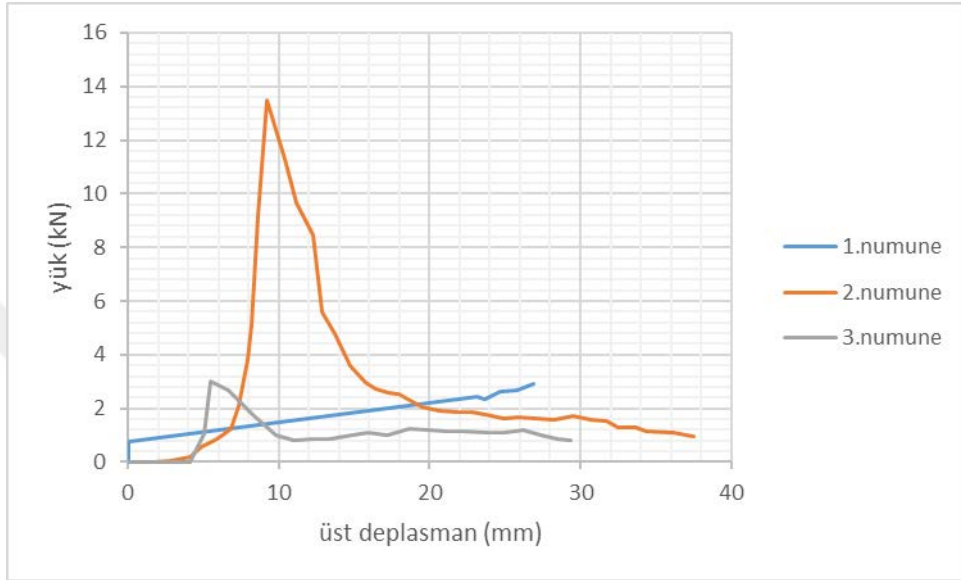
- 100A-1L-15A



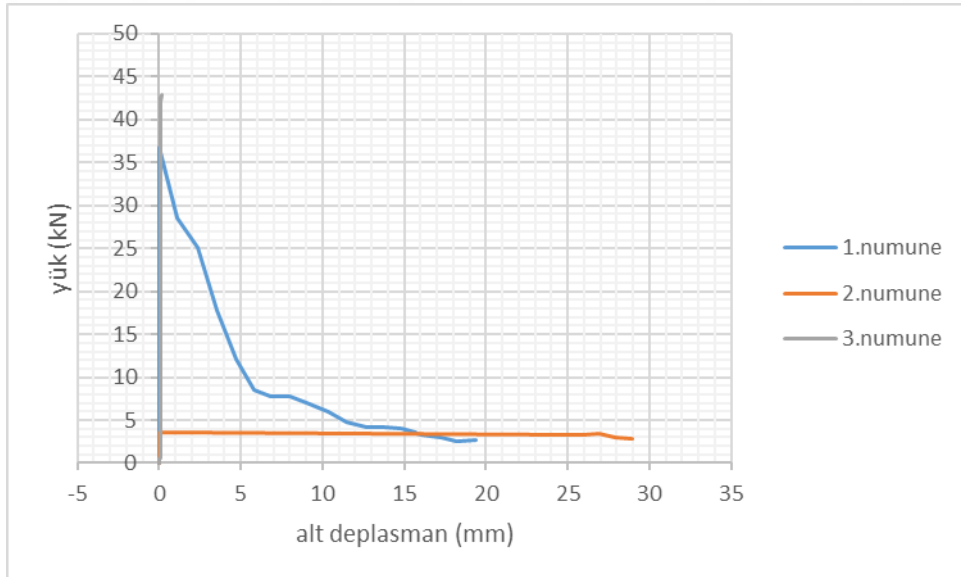
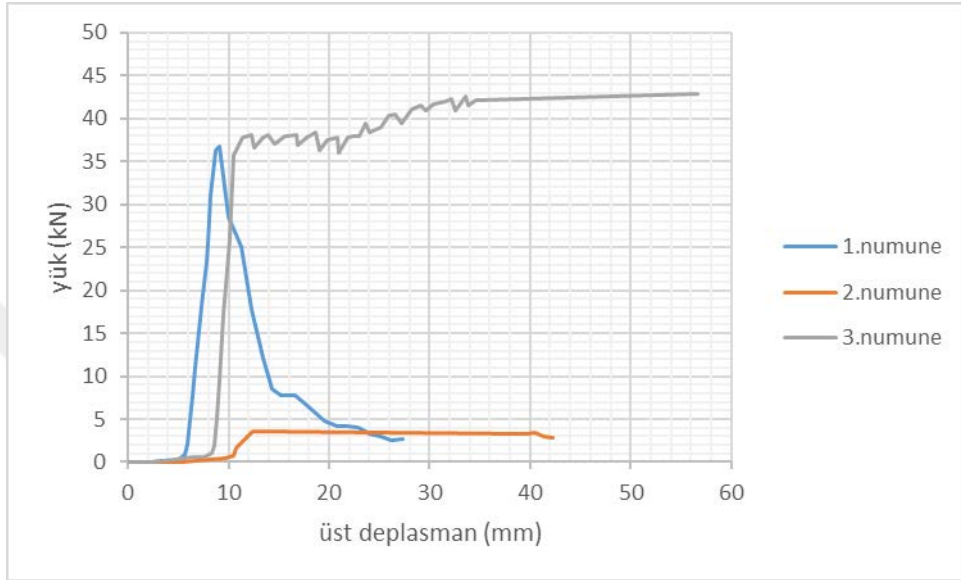
- 100A-2L-5A



- 100A-2L-10A



- 100A-2L-15A



ATIK VE LİF YÜZDESİ	5 CM				10 CM				15 CM			
	1.num (KN)	2.num (KN)	3.num (KN)	ortalama (KN)	1.num (KN)	2.num (KN)	3.num (KN)	ortalama (KN)	1.num (KN)	2.num (KN)	3.num (KN)	ortalama (KN)
0A-0L	28.135	21.184	22.147	23.822	40.318	41.228	43.04	41.529	47.177	46.598	37.063	43.613
0A-0.5L	36.043	26.342	26.94	29.775	44.787	37.413	36.273	39.491	47.499	47.996	47.784	47.760
0A-1L	24.625	28.008	24.769	25.801	29.459	42.552	40.562	36.006	42.745	44.676	41.431	42.951
0A-2L	27.758	51.683	22.582	34.008	32.457	40.061	34.636	35.718	44.759	25.782	45.835	38.792

ATIK VE LİF YÜZDESİ	5 CM				10 CM				15 CM			
	1.num (KN)	2.num (KN)	3.num (KN)	ortalama (KN)	1.num (KN)	2.num (KN)	3.num (KN)	ortalama (KN)	1.num (KN)	2.num (KN)	3.num (KN)	ortalama (KN)
25A-0L	22.968	19.741	18.288	20.332	41.44	35.868	40.456	39.255	45.246	45.044	44.446	44.912
25A-0.5L	22.894	22.775	24.356	23.342	37.532	39.04	40.07	38.881	42.957	46.12	44.235	44.437
25A-1L	24.991	22.573	27.069	24.878	45.311	38.939	39.187	41.146	47.459	47.839	46.534	47.277
25A-2L	44.906	26.434	16.072	29.137	39.555	18.748	24.844	27.716	49.191	48.014	44.686	47.297

ATIK VE LİF YÜZDESİ	5 CM				10 CM				15 CM			
	1.num (KN)	2.num (KN)	3.num (KN)	ortalama (KN)	1.num (KN)	2.num (KN)	3.num (KN)	ortalama (KN)	1.num (KN)	2.num (KN)	3.num (KN)	ortalama (KN)
50A-0L	20.761	18.343	24.623	21.242	40.556	41.247	46.258	42.687	47.766	41.035	47.674	45.492
50A-0.5L	24.944	23.704	6.749	18.466	45.862	45.688	46.295	45.948	44.272	44.492	43.472	44.079
50A-1L	16.752	33.027	34.939	28.239	40.934	39.316	43.04	41.097	49.163	48.4	47.039	48.201
50A-2L	40.612	29.478	8.523	26.204	47.609	46.607	41.357	45.191	47.628	41.624	46.203	45.152

ATIK VE LİF YÜZDESİ	5 CM				10 CM				15 CM			
	1.num (KN)	2.num (KN)	3.num (KN)	ortalama (KN)	1.num (KN)	2.num (KN)	3.num (KN)	ortalama (KN)	1.num (KN)	2.num (KN)	3.num (KN)	ortalama (KN)
75A-0L	21.791	25.772	29.533	25.699	44.033	43.61	35.519	41.054	47.508	43.904	45.357	45.590
75A-0.5L	28.411	24.779	25.855	26.348	41.339	32.015	43.932	39.095	47.674	44.207	44.382	45.421
75A-1L	24.733	17.414	17.139	19.762	44.226	46.524	60.252	50.334	45.283	46.046	47.527	46.285
75A-2L	34.7	30.232	28.696	31.209	41.688	47.711	47.848	45.749	48.814	46.828	45.816	47.153

ATIK VE LİF YÜZDESİ	5 CM				10 CM				15 CM			
	1.num (KN)	2.num (KN)	3.num (KN)	ortalama (KN)	1.num (KN)	2.num (KN)	3.num (KN)	ortalama (KN)	1.num (KN)	2.num (KN)	3.num (KN)	ortalama (KN)
100A-0L	19.226	14.165	20.55	17.981	42.074	34.241	32.65	36.322	38.764	44.686	40.46	27.970
100A-0.5L	14.426	12.63	17.948	15.001	22.49	28.448	32.475	27.804	35.739	11.245	31.216	26.067
100A-1L	18.864	10.791	23.327	17.661	28.595	3.77	24.871	19.079	43.297	41.642	36.512	40.484
100A-2L	25.092	18.775	22.711	22.193	12.905	13.507	13.007	6.473	36.751	23.522	42.911	27.728

3.1.7.2. Yarma Dayanımı Deneyi

Çekme yüklerinin dolaylı olarak uygulanması ile çekme dayanımının tespit edildiği bu yöntem “Brezilya Yarma Deneyi” olarak da adlandırılmaktadır. İlk olarak 1953 yılında Brezilyalı Carnerio ve Barcellas tarafından önerilen bu deney yönteminde, genellikle silindirik beton örnekleri kullanılmaktadır, ayrıca küp örnekler de kullanılabilir. Bu deneyde, yatay olarak presin tablaları arasına yerleştirilen, basınç deneylerinde de kullanılan, küp veya silindirik beton numunelerinin altına ve üstüne yerleştirilen plakalara dik yönde basınç yüklemesi uygulanarak gerçekleştirilir. Yükün arttırılmasıyla, dolaylı olarak çekme gerilmeleri oluşur ve örnek eksenini boyunca yarılarak geçer. Burada uygulanan gerilme iki yönlü olduğundan asıl çekme dayanımından daha büyük değerler elde edilir.

Yarmada çekme deneyi için 150 mm ebatlarında küp numuneler üretilmiştir. 28 günlük küp numuneler üzerinde yarma deneyleri yapılmıştır. Bölünen numunelere çizgisel yük uygulanarak deneyler sonucunda yarma kuvvetleri TS EN 12390-6 ‘ya (Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada çekme dayanımının tayini) göre hesaplanmıştır.

$$f_{ct} = P / D.L \quad (\text{denklem 2.2.})$$

f_{ct} : Yarma-çekme dayanımı (MPa)

P : Kırılma yükü (N)

L : Numunenin yükleme parçasına temas çizgisinin uzunluğu(mm)

D : Numunenin seçilen en kesit ölçüsünü (mm)

Yarma deneyine ait görseller EK-D’ de yer almaktadır.

- 0A-1L

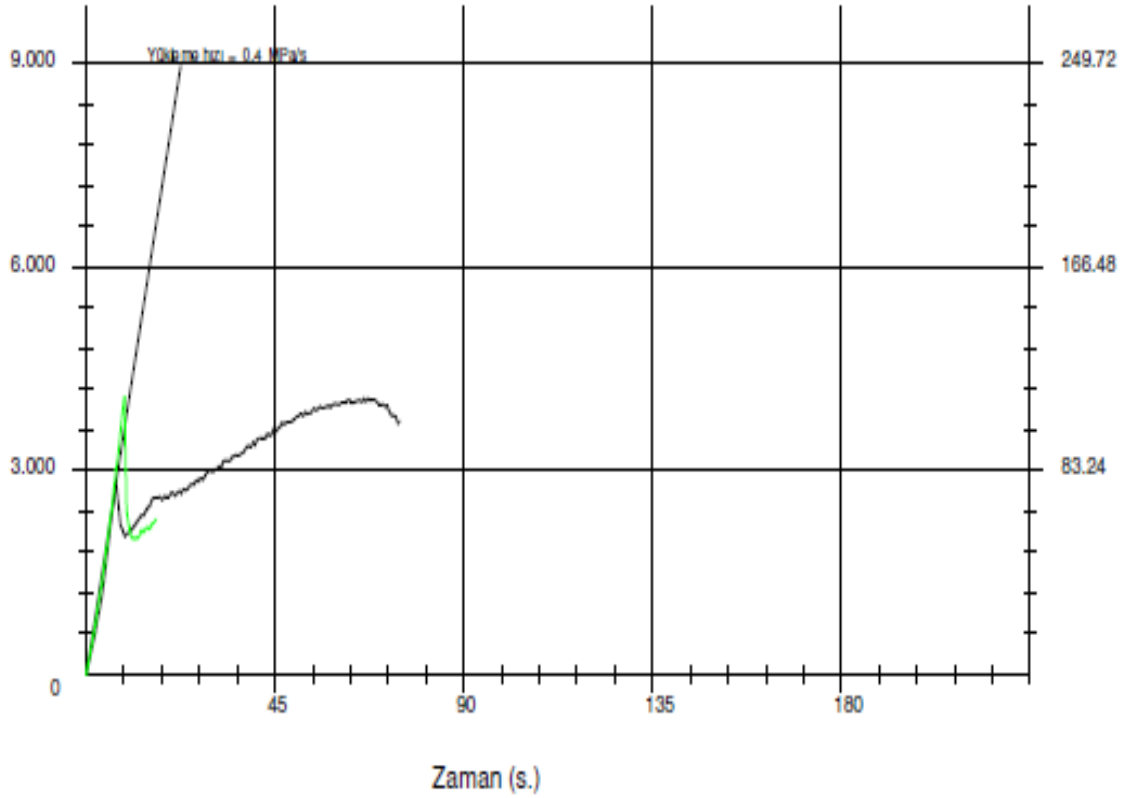
Nr.	Kesil Alanı cm ²	Hacim cm ³	Ağırlık gr.	Birim Ağırlık kg/dm ³	Numune Yaşı gün	Alınış Tarihi	Test Tarihi	Kırılma Yüklü kN	Kesme Dayanımı N/mm ²	Etne çekil değ. °C	Boyuna çekil değ.
1	225.000	0.000	7942.00	0.000	28			113.300	4.083	0.0	0.0000
2	225.000	0.000	7658.00	0.000	28			113.900	4.105	0.0	0.0000

Ortalama : 113.600 4.094

Deney Grafiği

Kesme Dayanımı (N/mm²)

Kırılma Yüklü (kN)



Açıklamalar:

% 0 ATIK % 1 LİF

- 0A-2L

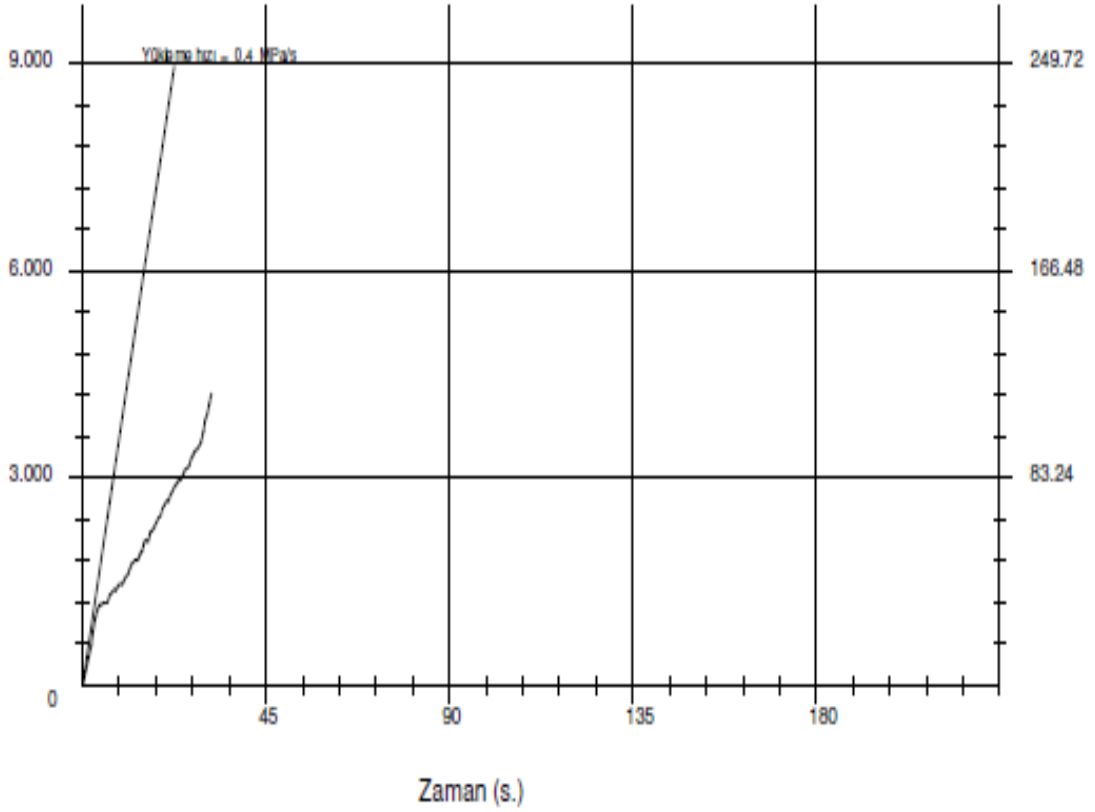
Nr.	Kesil Alanı cm ²	Hacim cm ³	Ağırlık gr.	Birim Ağırlık kg/dm ³	Numune Yaşı gün	Alınış Tarihi	Test Tarihi	Kırılma YDKİ kN	Kesme Dayanımı N/mm ²	Erime noktası °C	Boyuna çekilme %
1	225.000	0.000	7367.00	0.000	28			117.700	4.242	0.0	0.0000

Ortalama : 117.700 4.242

Deney Grafiği

Kesme Dayanımı (N/mm²)

Kırılma YDKİ (kN)



Açıklamalar:

% 0 ATIK %2 LİF

- 25A-0,5L

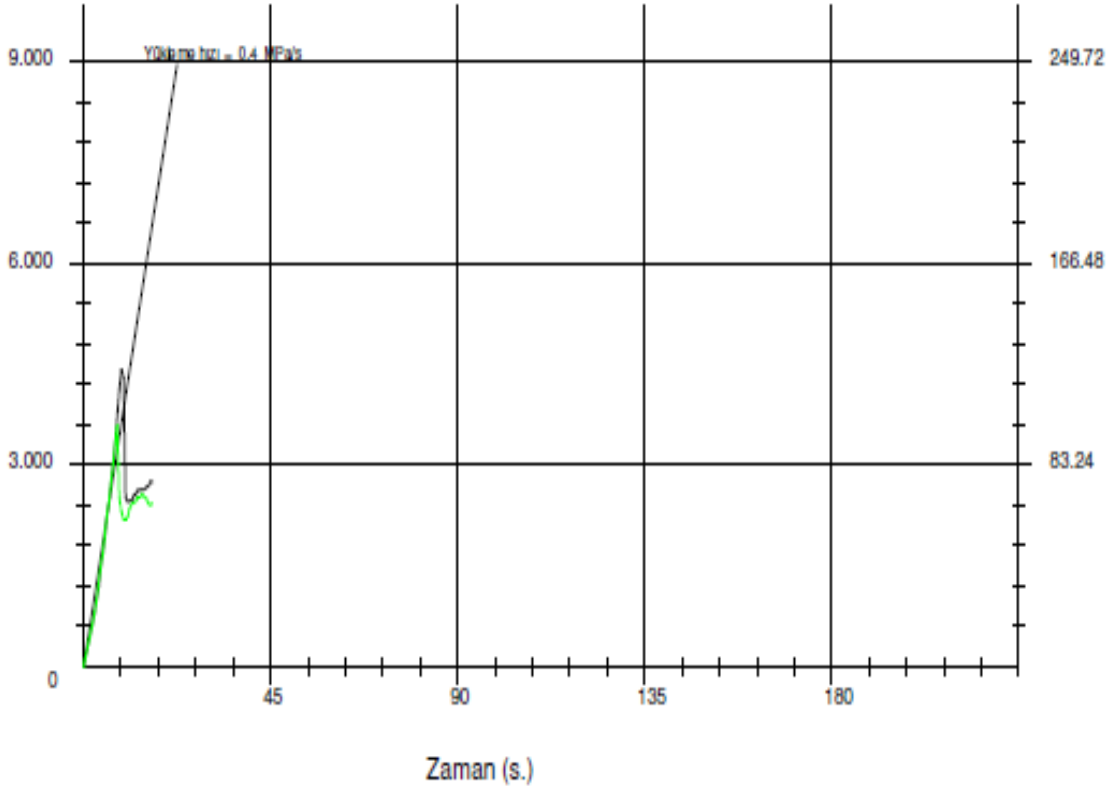
Nr.	Kesit Alanı cm ²	Hacim cm ³	Ağırlık gr.	Birim Ağırlık kg/dm ³	Numune Yaşı gün	Alınış Tarihi	Test Tarihi	Kırılma Yükü kN	Kesme Dayanımı N/mm ²	Enine çekilme değ. %	Boyuna çekilme değ. %
1	225.000	0.000	7933.00	0.000	28			123.400	4.447	0.0	0.0000
2	225.000	0.000	7827.00	0.000	28			100.200	3.511	0.0	0.0000

Ortalama : 111.800 4.029

Deney Grafiği

Kesme Dayanımı (N/mm²)

Kırılma Yükü (kN)



Açıklamalar:

% 25 atık % 0,5 lif

- 25A-2L

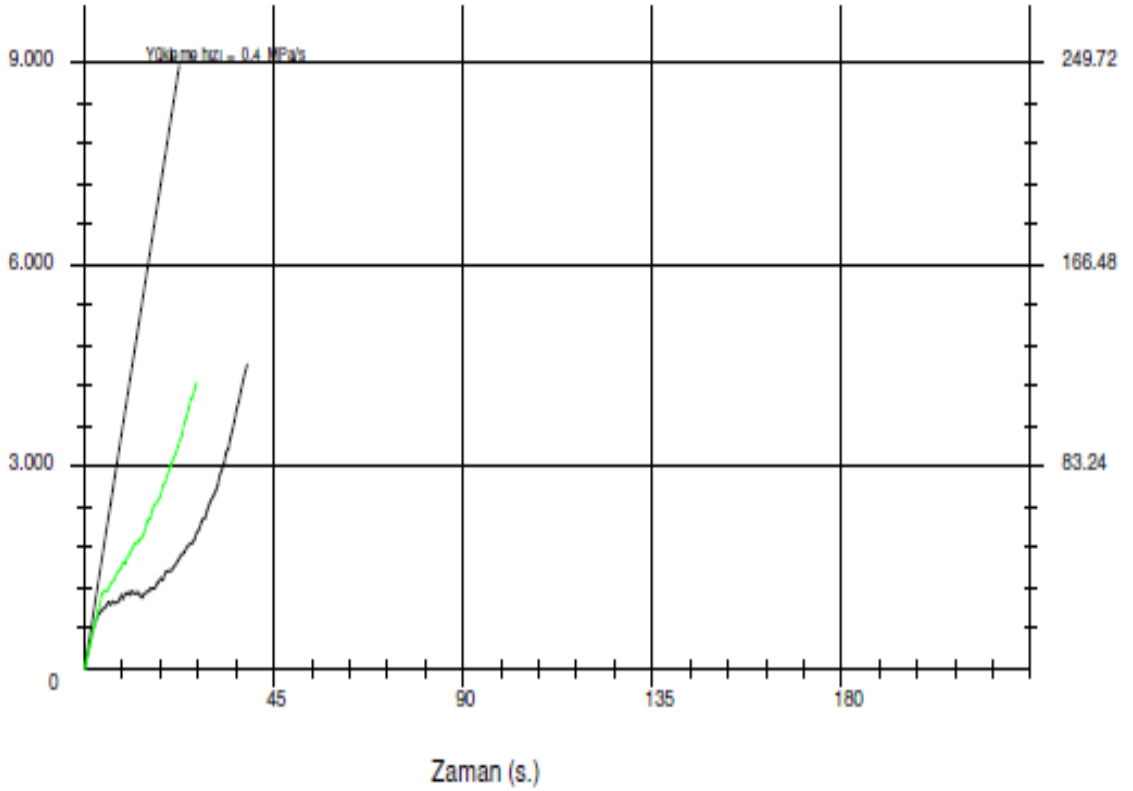
Nr.	Kesil Alanı cm ²	Hacim cm ³	Ağırlık gr.	Birim Ağırlık kg/dm ³	Numune Yaşı gün	Alınış Tarihi	Test Tarihi	Kırılma Yüklü kN.	Kesme Dayanımı N/mm ²	Enine çekiş değ. °C	Boyuna çekiş değ.
1	225.000	0.000	7988.00	0.000	28			125.900	4.537	0.0	0.0000
2	225.000	0.000	8079.00	0.000	28			118.500	4.271	0.0	0.0000

Ortalama : 122.200 4.404

Deney Grafiği

Kesme Dayanımı (N/mm²)

Kırılma Yüklü (kN)



Açıklamalar:

% 25 ATIK % 2 LİF

- 50A-1L

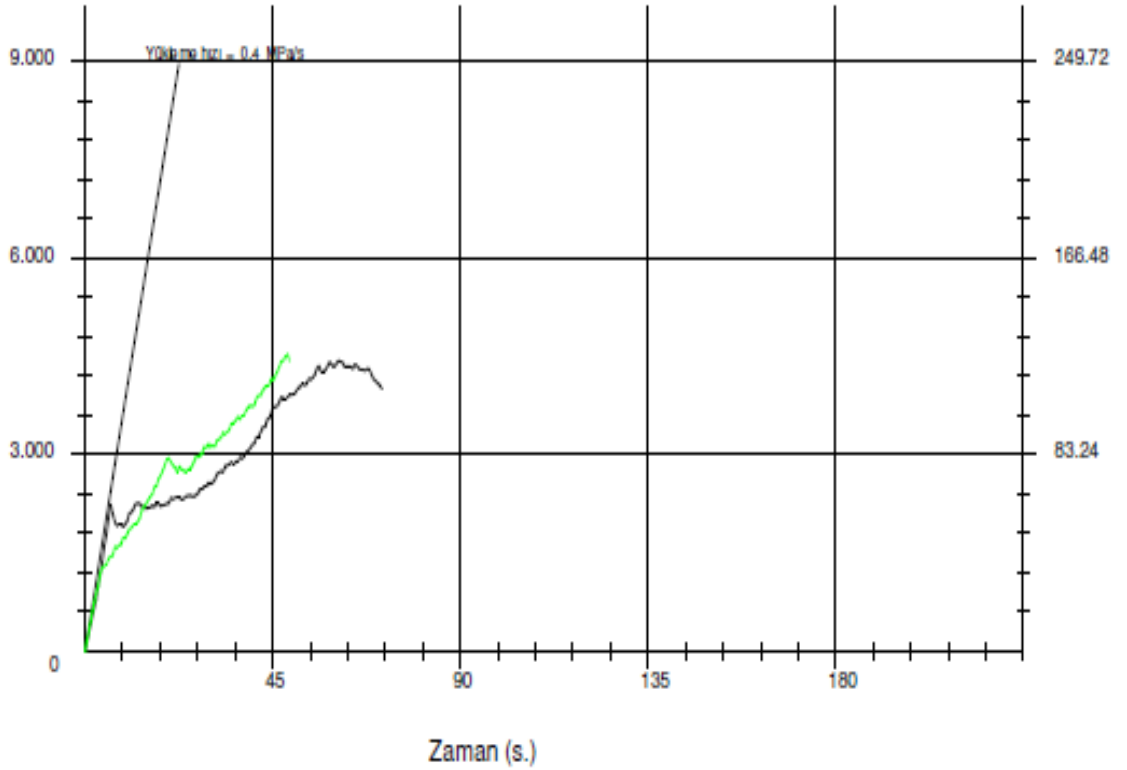
Nr.	Kesil Alanı cm ²	Hacim cm ³	Ağırlık gr.	Birim Ağırlık kg/dm ³	Numune Yaşı gün	Alınış Tarihi	Test Tarihi	Kırılma Yükdü kN	Kesme Dayanımı N/mm ²	Enine çököl değ. °C	Boyuna çököl değ.
1	225.000	0.000	8090.00	0.000	28			123.500	4.451	0.0	0.0000
2	225.000	0.000	8028.00	0.000	28			126.100	4.545	0.0	0.0000

Ortalama : 124.800 4.498

Deney Grafiği

Kesme Dayanımı (N/mm²)

Kırılma Yükdü (kN)



Açıklamalar:

% 50 ATIK % 1 LİF

4.GRUP

- 75A-0L

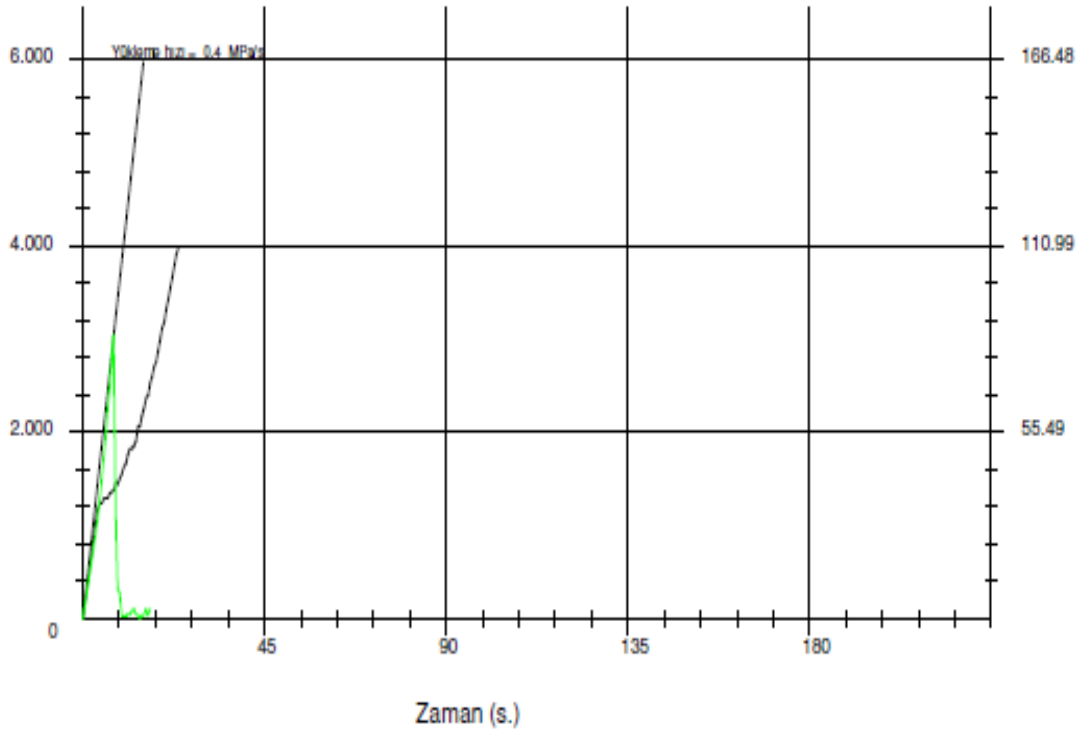
Nr.	Kesil Alan cm ²	Hacim cm ³	Ağırlık gr.	Birim Ağırlık kg/dm ³	Numune Yaşı gün	Alınış Tarihi	Test Tarihi	Kırılma Yüklü kN	Kesme Dayanımı N/mm ²	Enine çekilme değ. %	Boyuna çekilme değ. %
1	225.000	0.000	7719.00	0.000	28			110.900	3.997	0.0	0.0000
2	225.000	0.000	7501.00	0.000	28			84.700	3.053	0.0	0.0000

Ortalama : 97.800 3.525

Deney Grafiği

Kesme Dayanımı (N/mm²)

Kırılma Yüklü (kN)



Açıklamalar:

% 75 ATIK % 0 LiF

- 75A-0,5L

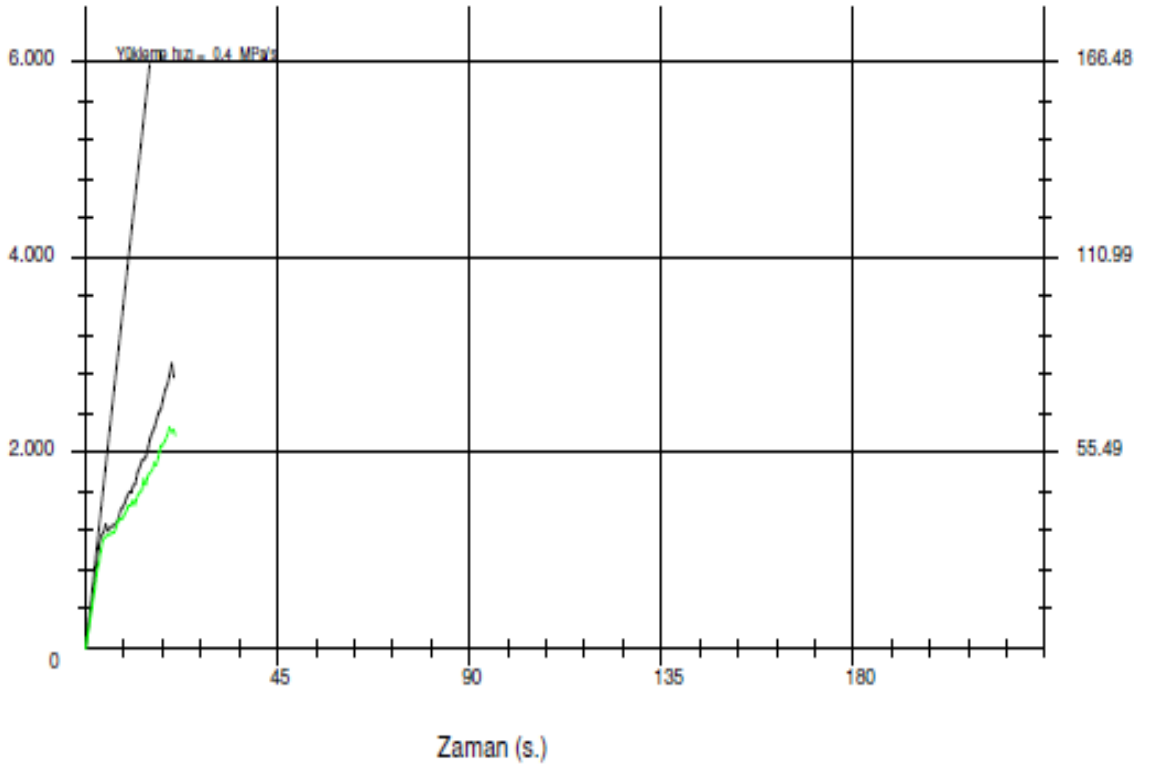
Nr.	Kesit Alanı cm ²	Hacim cm ³	Ağırlık gr.	Birim Ağırlık kg/dm ³	Nemune Yaşı gün	Alınış Tarihi	Test Tarihi	Kırılma Yüklü kN	Kesme Dayanımı N/mm ²	Etme yükü değ. °C	Boyuna yükü değ.
1	225.000	0.000	7871.00	0.000	28			81.100	2.923	0.0	0.0000
2	225.000	0.000	7845.00	0.000	28			82.900	2.267	0.0	0.0000

Ortalama : 72.000 2.595

Deney Grafiği

Kesme Dayanımı (N/mm²)

Kırılma Yüklü (kN)



Açıklamalar:

% 75 ATIK % 0,5 LİF

- 75A-1L

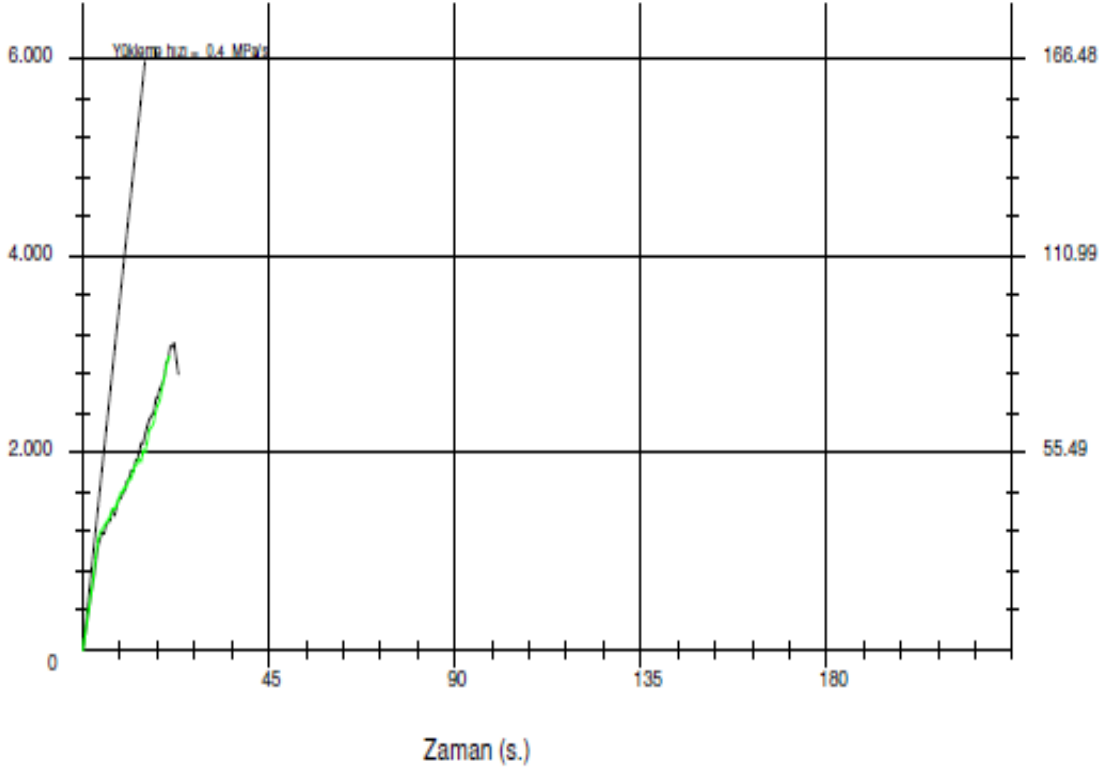
Nr.	Kesil Alanı cm ²	Hacim cm ³	Ağırlık gr.	Birim Ağırlık kg/dm ³	Numune Yaşı gün	Alınış Tarihi	Test Tarihi	Kırılma YDKD kN	Kesme Dayanımı N/mm ²	Enine çekilme değ. %	Boyuna çekilme değ. %
1	225.000	0.000	7774.00	0.000				86.700	3.125	0.0	0.0000
2	225.000	0.000	7886.00	0.000	28			82.700	2.981	0.0	0.0000

Ortalama : 84.700 3.053

Deney Grafiği

Kesme Dayanımı (N/mm²)

Kırılma YDKD (kN)



Açıklamalar:

% 75 ATIK % 1 LiF

5.GRUP

- 100A-0L

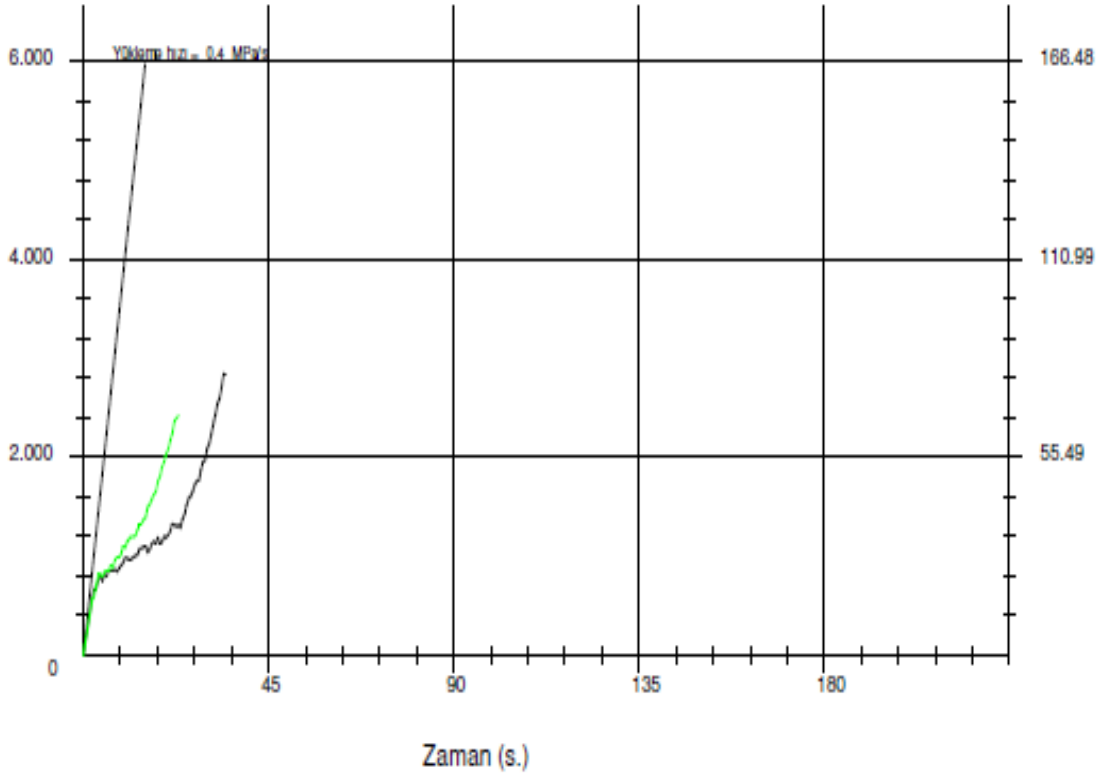
Nr.	Kesil Alan cm ²	Hacim cm ³	Ağırlık gr.	Birim Ağırlık kg/dm ³	Numune Yaşı gün	Alınış Tarihi	Test Tarihi	Kırılma Yüklü kN	Kesme Dayanımı N/mm ²	Erine çekil değ. °C	Boyuna çekil değ.
1	225.000	0.000	7946.00	0.000	28			79.200	2.854	0.0	0.0000
2	225.000	0.000	7879.00	0.000	28			67.500	2.433	0.0	0.0000

Ortalama : 73.350 2.644

Deney Grafiği

Kesme Dayanımı (N/mm²)

Kırılma Yüklü (kN)



Açıklamalar:

% 100 ATIK % 0 LiF

- 100A-0,5L

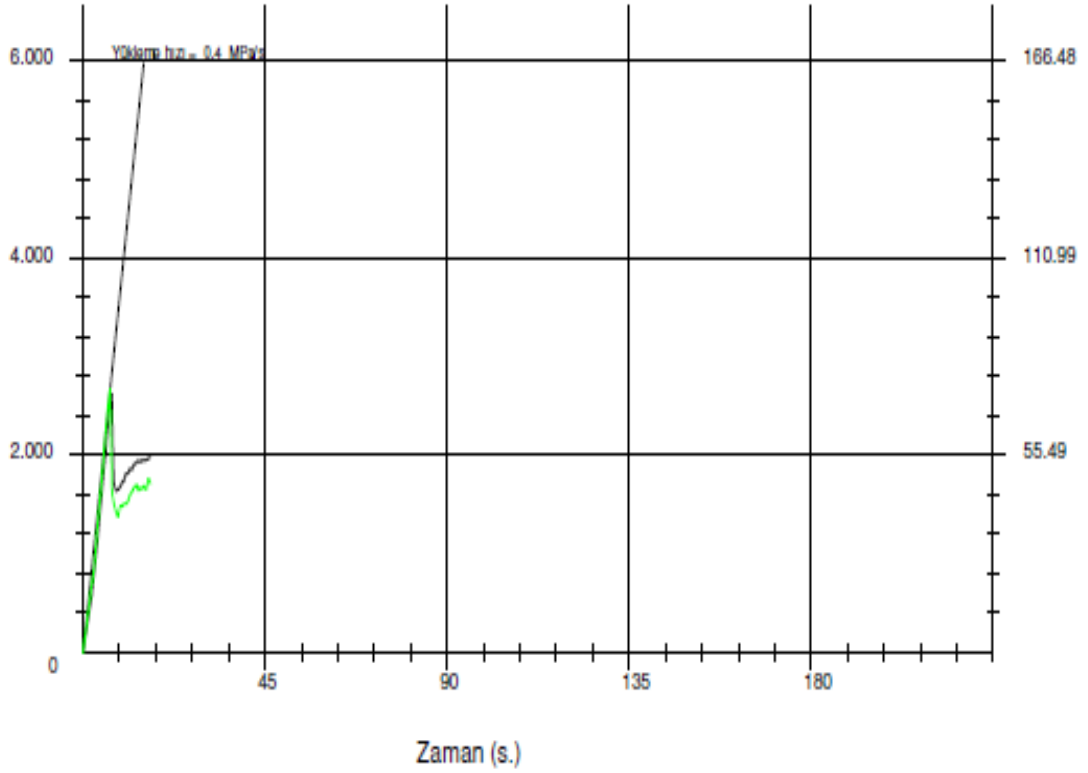
Nr.	Kesil Alan cm ²	Hadim cm ²	Ağırlık gr.	Birim Ağırlık kg/dm ³	Numune Yaşı gün	Alınış Tarihi	Test Tarihi	Kırılma Yüklü kN	Kesme Dayanımı Nmm ²	Enine yönlü değ. °C	Boyuna yönlü değ.
1	225.000	0.000	7792.00	0.000	28			73.000	2.631	0.0	0.0000
2	225.000	0.000	7613.00	0.000	28			74.300	2.678	0.0	0.0000

Ortalama : 73.650 2.655

Deney Grafiği

Kesme Dayanımı (Nmm²)

Kırılma Yüklü (kN)



Açıklamalar:

% 100 ATIK % 0,5 LiF

- 100A-1L

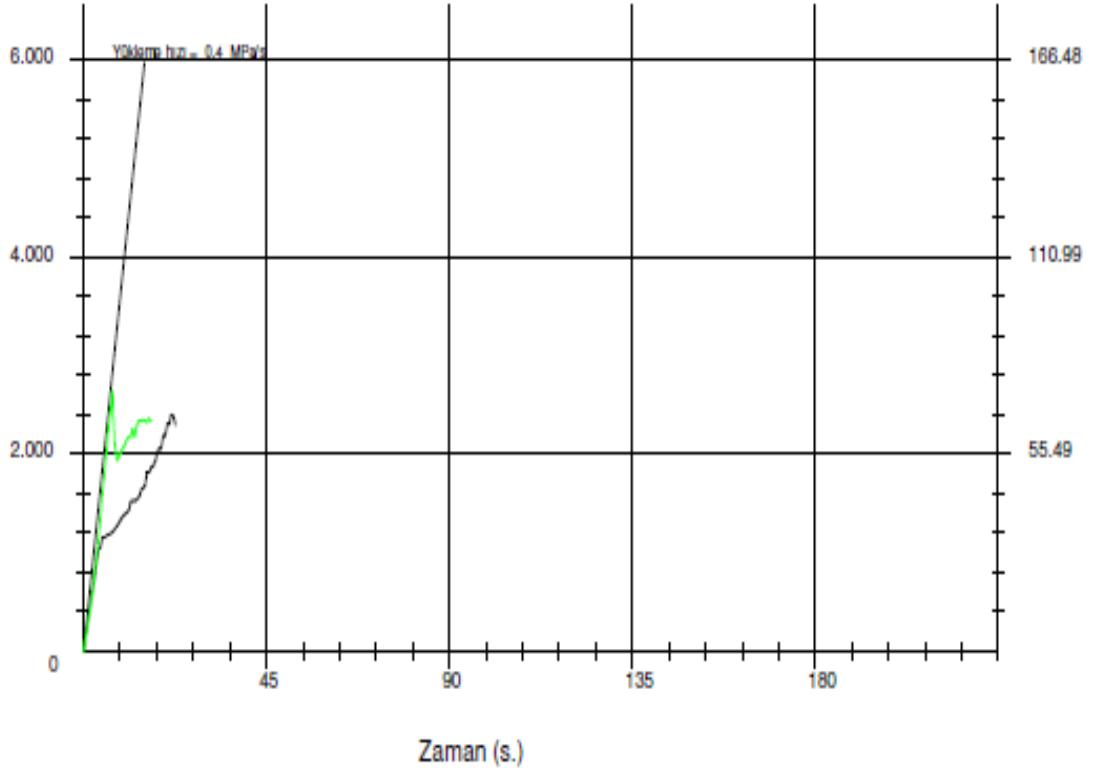
Nr.	Kesil Alanı cm ²	Hacim cm ³	Ağırlık gr.	Birim Ağırlık kg/dm ³	Numune Yaşı gün	Alınış Tarihi	Test Tarihi	Kırılma Y0k0 kN	Kesme Dayanımı Nmm ²	Enine çekil değ. °C	Boyuna çekil değ.
1	225.000	0.000	7337.00	0.000	28			66.900	2.411	0.0	0.0000
2	225.000	0.000	7499.00	0.000	28			73.500	2.649	0.0	0.0000

Ortalama : 70.200 2.530

Deney Grafiği

Kesme Dayanımı (Nmm²)

Kırılma Y0k0 (kN)



Açıklamalar:

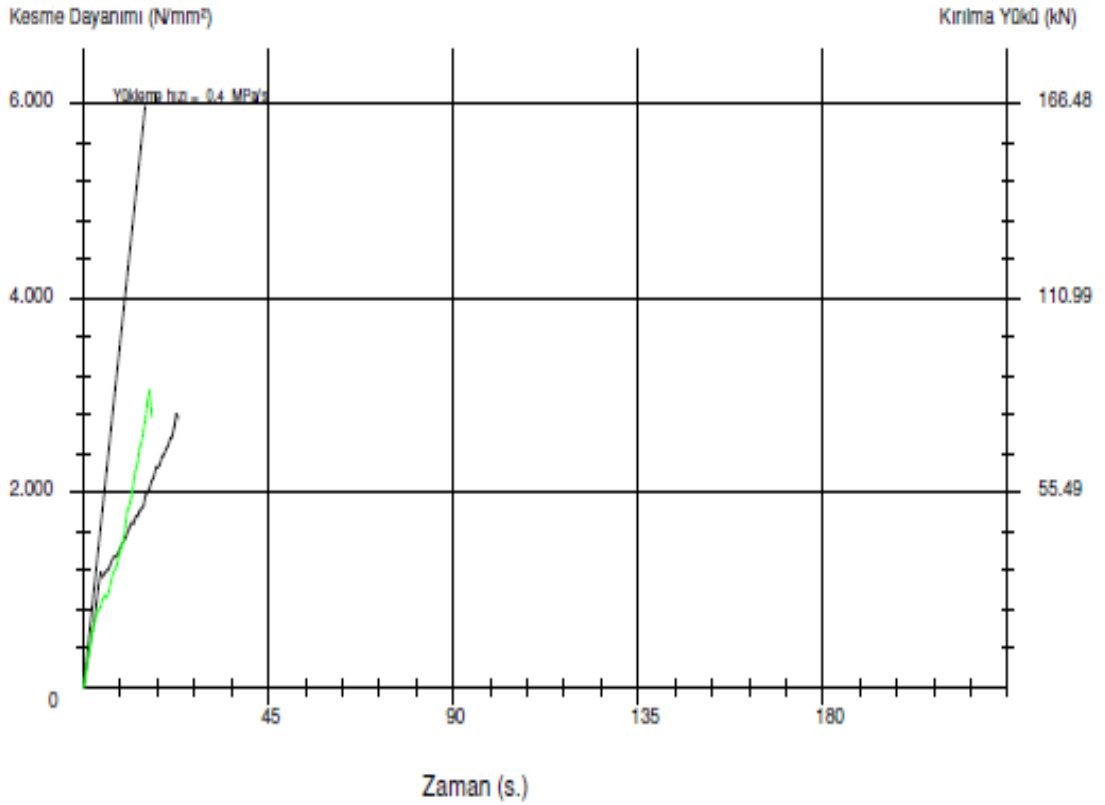
% 100 ATIK % 1 LiF

- 100A-2L

Nr.	Kesit Alanı cm ²	Hacim cm ³	Ağırlık gr.	Birim Ağırlık kg/dm ³	Numune Yaşı gün	Alınış Tarihi	Test Tarihi	Kırılma Yüklü kN	Kesme Dayanımı N/mm ²	Etme sıcaklığı °C	Boyuna çekilme %
1	225.000	0.000	7500.00	0.000	28			78.400	2.826	0.0	0.0000
2	225.000	0.000	7068.00	0.000	28			85.000	3.063	0.0	0.0000

Ortalama : 81.700 2.945

Deney Grafiği



Açıklamalar:

% 100 ATIK % 2 LİF

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Aderans Durumunun Tayini İçin Doğrudan Çekme Dayanımı Deneyinden Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi

Aderans durumunu belirlemek için yapmış olduğumuz doğrudan çekme deneylerinde, her bir küp numunemiz için 5cm, 10cm, 15cm saplama mesafesi kullanılarak aderans durumları incelendi. Deneyimizde her numune için saplama mesafelerine göre aderans durumunu belirleyen üst deplasman değerleri ölçüldü. Ayrıca kullanılan numunelerde donatıların sıyırılması esnasında alt deplasman değerleri de ölçüldü. Gruplarda bulunan her çeşit için, deneylerde 3 adet numune kullanılarak deneyimizin doğruluk payının artırılması amaçlandı. Kodlamasını yapmış olduğumuz her çeşit numune için, aynı özellikteki 3 adet numunenin üst deplasman değerleri bir arada, alt deplasman değerleri de bir arada olacak şekilde grafikte gösterildi. Bu numunelerden elde edilen sayısal veriler grafiklere aktarıldığında, aynı özellikteki 3 adet numunenin üst ve alt sıyırılma noktasındaki değerlerinin birbirine yakın değerlerde olduğu gözlemlendi.

Kullanılan atık agrega ve lif miktarına göre oluşturmuş olduğumuz grup numuneler, hem kendi grubu içinde ki numunelerle hem de gruplar arasında ki numunelerle kıyaslandı.

Kullanılan numunelerde atık agrega oranlarına göre kıyaslama yaptığımızda; 0A-0L-5A numune çeşidimizde bulunan donatıyı betondan sıyırmak için max.28 kN yük gerekirken, 100A-0L-5A numune çeşidinde donatıyı betondan sıyırmak için max. 20 kN yük gerekmektedir. 0A-0L-10A numunesi için max. 40 kN yük, 100A-0L-10A numunesi için max. 35 kN yük gerekmektedir. Yine 0A-0L-15A numunesi için donatıyı betondan sıyırmak için max. 45 kN yük, 100A-0L-15A numunesi için ise max. 40 kN yük gerekmektedir. Atık agrega miktarı arttıkça donatıyı betondan sıyırmak için gerekli olan yük miktarında azalma gözlemlendi. Ayrıca aynı çeşit numuneler için aderans boyları arttıkça, donatıyı betondan sıyırmak için gerekli olan yük miktarında ise artış gözlemlendi.

Kullanılan numunelerde lif oranlarına göre kıyaslama yaptığımızda; 0A-0L-5A numune çeşidimiz de donatıyı betondan sıyırmak için max. 28 kN yük gerekirken, 0A-2L-5A numunemiz için max. 50 kN yük gerekmektedir. Yine 100A-0L-5A numunemiz için

max. 20 kN yük gerekirken, 100A-2L-5A numunemiz için ise max. 25 kN yük gerekmektedir. Numunelerde kullanılan lif miktarı arttıkça donatıyı betondan sıyırmak için gerekli olan yük miktarında da artış gözlemlendi.

4.2. Yarma Dayanımı Deneyinden Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi

Küp numunelere uygulanan yarma deneylerinden elde edilen kırılma yükleri,

$$f_{ct} = P / D.L$$

2.2.denkleminde yerine konulmasıyla hesaplanan yarma dayanımlarının atık agrega ve lif miktarına göre ortalama sayısal değerleri Tablo 4.1.'de görülmektedir.

Tablo 4.1. 28 günlük küp numunelerin yarma deneyi ortalama değerleri

	NUMUNE KODLARI	Kırılma Yüğü Ort. (kN)	Yarma Dayanımı N/mm ² f = (P)/(d*l)
1.GRUP	0A-0L	95,55	4,246
	0A-0,5L	94,4	4,195
	0A-1L	113,6	5,049
	0A-2L	117,7	5,231
2.GRUP	25A-0L	94,75	4,211
	25A-0,5L	111,8	4,969
	25A-1L	70,05	3,113
	25A-2L	122,2	5,430
3.GRUP	50A-0L	118	5,243
	50A-0,5L	63,65	2,829
	50A-1L	124,8	5,546
	50A-2L	141,45	6,286
4.GRUP	75A-0L	97,8	4,347
	75A-0,5L	72	3,199
	75A-1L	84,7	3,764
	75A-2L	131,5	5,845
5.GRUP	100A-0L	73,35	3,259
	100A-0,5L	73,65	3,273
	100A-1L	70,2	3,119
	100A-2L	81,7	3,631

Betona atık agrega katılması; kırılma yükü ve yarma dayanımı değerlerinde azalma meydana getirdi. 0A-0L numunemiz için yarma dayanımı değeri 4,246 N/mm² iken, 100A-0L numunemiz için 3,259 N/mm² değerine düşmektedir.

Atık agreganın kullanılmadığı beton numunelerimizde lif ilavesi ile oluşturulan numunelerde ise lif miktarı arttıkça genel olarak kırılma yükünde ve yarma dayanımı değerlerinde artış gözlemlendi. 0A-0,5L numunemiz için yarma dayanımı değeri 4,195 N/mm² , 0A-2L numunemiz için ise 5,231 N/mm² olarak belirlendi.

Atık agregası ve lif miktarının kullanılması ile oluşturulan 2.3.4. grup numunelerdeki yarma dayanımı değerlerinin, 1.grup numunelere kıyasla daha yüksek değerlere ulaştığı gözlemlendi.



5. GENEL SONUÇLAR

Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmektedir:

- Numunelerde atık agreganın kullanılıp, lifin kullanılmaması durumunda donatıyı betondan sıyırmak için gerekli olan maksimum yük miktarında genel olarak %20-30 aralığında azalma meydana gelmektedir. Numuneler deney sonrasında incelendiğinde sıyırma işleminin yanında, donatının akması, kopması, numunenin parçalanması gibi durumlarda meydana gelmiştir. Donatının betondan sıyırılması aderans açısından istenmeyen bir durumdur. Lakin donatıyı betondan sıyıran maksimum yük; numunelerin kullanılacağı yerlere göre kabul edilebilir sınırlar içinde olabilmektedir.
- Numunelerde lifin kullanılıp, atık agreganın kullanılmaması durumunda donatıyı betondan sıyırmak için gerekli olan maksimum yük miktarında genel olarak \pm %3-5 aralığında bir değişim gözlenmiştir. Atık agreganın kullanılmayıp lifin kullanılması aderans için belirleyici bir değişim olmamaktadır. Hem atık agrega hem de lifin birlikte kullanılması durumunda ise sadece atık agreganın kullanıldığı numunelere kıyasla donatıyı betondan sıyırmak için gerekli maksimum yük miktarında %20-25 aralığında artış gözlenmiştir. Atık agrega ve lifin birlikte kullanılması numunenin özelliklerinde iyileştirme meydana getirmekte olup, kullanılabilirlik çeşitliliğini arttırmaktadır.
- C 25/30 standardında üreterek kullandığımız numunelerin yarma dayanımları değerleri incelendiğinde, TS-500 standardında olması gereken eksenel çekme dayanımı değerinden 1,8 N/mm² değerinden daha yüksek değerlerin elde edildiği gözlenmiştir. Atık agrega miktarının %50-75 aralığında artması yarma dayanımı değerini arttırmaktadır. Aynı oranda lif kullanılması da, atık agreganın kullanılmadığı numunelere kıyasla yarma dayanımı değerinde artış meydana getirmektedir. Atık agreganın maksimum seviyede kullanılması ise lif eklemesi olsada/olmasada, diğer gruptaki numunelerin yarma dayanım değerlerine kıyasla azalma eğilimi göstermektedir.
- Makro sentetik polipropilen liflerin betona katmış olduğu özelliklerinden biri de yarma dayanımı değerini arttırmasıdır. Deneylerde kullanılan numunelerde de bu durum gözlenmiştir. Ayrıca bu lifler beton içinde 3 boyutlu donatı etkisi oluşturarak aderans durumunu da olumlu yönde etkilemiştir.

- Atık agreganın belli oranlarda %25-50-75 kullanılması ile üretilen beton numuneler yalın betonla kıyaslandığında kullanılabilir beton sınıfında olduğunu göstermiştir. Ayrıca bu numunelere lif takviyesiyle elde edilen değerler yalın betonla elde edilen değerlerle kısmen örtüşmektedir.
- Bu çalışmamızda kullanılan numunelere aderans durumunu belirlemek için çekme deneyi ve yarmada çekme deneyi uygulanmıştır. Ayrıca diğer mekanik deneyler uygulanarak, eksik özellikleri iyileştirilerek yapı malzemesine yeni bir malzeme kazandırılmış olacaktır.

İnşaat alanının insanlık var oldukça devam edecek olması ve her geçen gün artan hızla ilerleme kaydediyor olması; kullanılan malzemelerde çeşitliliği, yeniliği, ekonomikliliği, dayanımı gerekli kılmaktadır. Diğer taraftan bu malzemeleri elde ederken doğal kaynakların hızla tükeniyor olması da geri kazanım seçeneğini önümüze sunmaktadır. Geri kazanım; günümüzün ve geleceğimizin en çok ihtiyacı olan çalışmalardan birini içermektedir. Özellikle son yıllarda kentsel dönüşüm nedeni ile hafriyat ve yıkıntı atıkları miktarlarında ilerleme söz konusudur. Bu atıkları geri kazanma yolu ile emniyetli, ekonomik malzeme üretebiliriz. Bu çalışmamızda da ilk olarak inşaat atıklarının agrega olarak kullanılması ile beton üretilmektedir.

Üretilen betonun özelliklerini iyileştirmek için ise lifler kullanılmaktadır. Makro sentetik lifler korozyona dayanıklı olması, yüksek elastisite modülü ve dayanımı bakımından tercih edilen lif çeşitlerindedir. Yapılan çalışmalarda liflerin; betonda çatlakların oluşmasını engellediği, gevrekliği azaltıp sünekliği arttırdığı, çekme ve eğilme dayanımlarını, tokluğu, durabiliteyi arttırdığı belirlenmiştir.

İnşaat atıklarından üretilmiş makro sentetik polipropilen lifli taze betonun işlenebilirliğini belirlemek için ise TS EN 12350-2 Yönetmeliği'nde belirlendiği üzere Slump (Çökme) Deneyi yapılmaktadır.

Beton sertleştikten sonra TS EN 12390-6 ve TS EN 12390-5 Yönetmelikleri'nde ki gibi Yarma dayanımı ve Aderans Durumunun Tayini İçin Doğrudan Çekme dayanımları deneyleri yapılmaktadır. Elde edilen sonuçlar ise Standartlardaki değerler ile karşılaştırılacaktır.

Üretmiş olduğumuz betonun yapı malzemesi olarak kullanılabilmesi için diğer özelliklerinin de araştırılarak uygunluğu belirlendikten sonra malzeme çeşitliliğine yeni bir malzeme daha eklenebilir.



EK-A

NUMUNELERİN HAZIRLANMASI



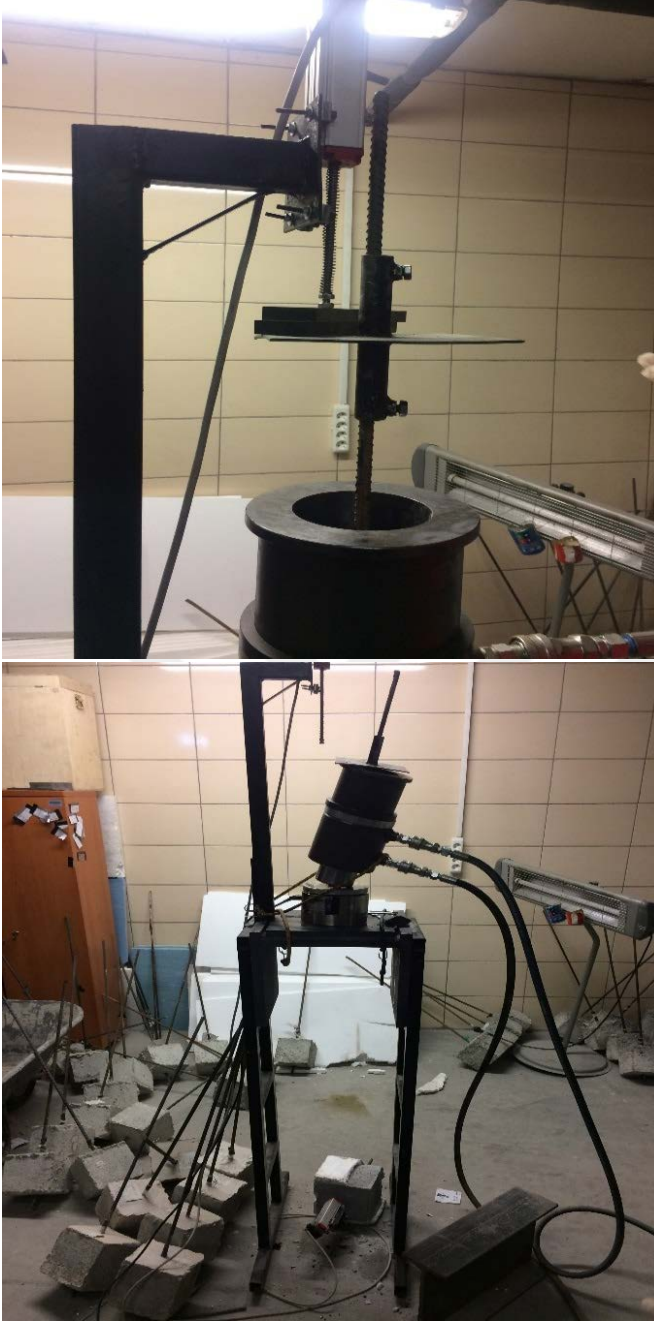


EK-B

TAZE BETON DENEYLERİ



EK-C

ADERANS DURUMUNUN TAYİNİ İÇİN DONATI ÇEKME DENEYİ



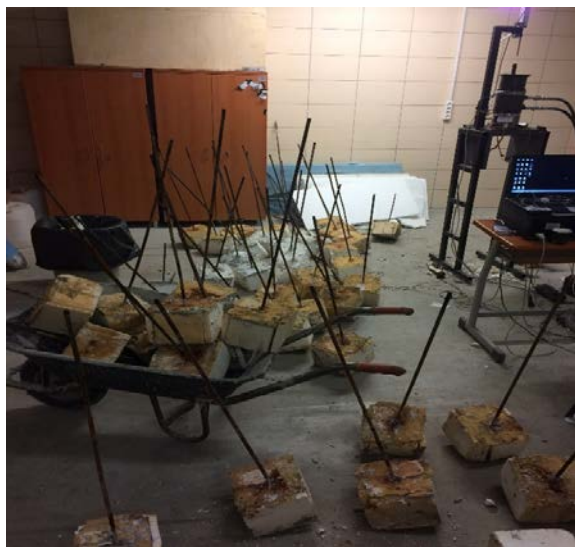








3.12.2016
ETE
C25
BR)
1%
FT
15CM
50%



EK-D

YARMADA ÇEKME DENEYİ



KAYNAKLAR

- [1] Eiswirth, M, et al 1999: Umtersuchurgen zur umweltver trähgchlecit von Baustoffenum grundwasser. Wasser Abwasser Proxisis Haft 2, S.32 – 38 Wiesbaden. Friedrich - Viewege -Sahn Verlag
- [2] Erdin E., Alten A., Tunalı T., İnşaat Atıklarının Değerlendirilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, 5.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 2004, İzmir
- [3] Yazıcı, Ş., İnan Sezer, G., 2008, “Çelik Lifli Betonların Darbe Direncine Agreg a Maksimum Boyutunun Etkisi”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 14, Sayı 3, Sayfa 237-245
- [4] Ocean Concrete Products, Ocean Heidelberg Cement Group. 1999. Steel Fibre Reinforcement, Working Together to Build Our Communities Report”.
- [5] <http://atiksahasi.com/At%C4%B1k>
- [6] <https://www.gninsaat.com.tr/agrega-nedir-ozellikleri>
- [7] Kılıc N., 2012, Kentsel Dönüşümde Geri Dönüşüm Atağı, Ar&Ge Bülten
- [8] Coskun H., Ozturk M., 2012, Katı Atık Yönetimi Konusunda İnşaat Sektörü Paydaşlarının Algılamaları, NWSA-Engineering Sciences.
- [9] www.tekirdag.ormansu.gov.tr
- [10] Gessellschaft, F. 1998: Systemanalyse und Organisation — der Kreislauf wird geplant. Industrielle Kreislaufwirtschaft.
- [11] Oikonomou N.D., 2005. Recycled Concrete Aggregates, Cement & Concrete Composites, 27,315-318.
- [12] Rao A., 2005. Experimental Investigation on Use of Recycled Aggregates in Mortar and Concrete, Thesis Submitted to the Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Kanpur.
- [13] Fonteboa B.G. ve Abella F.M., 2008. Concretes with Aggregates From Demolition Waste and Silica Fume, Materials and Mechanical Properties, Building and Environment, 43, 429437.
- [14] Topçu İ.B. ve Sengel S., 2004. Properties of Concretes Produced with Waste Concrete Aggregate. Cem Concr Res., 34, 8, 1307-1312.
- [15] Poon C.S., Qiao X.C. ve Chan D., 2006. The Cause and Influence of Self-Cementing Properties of Waste Recycled Concrete Aggregates in the Properties of Unbound Sub-Base, Waste Management, 26, 1166-1172.
- [16] Rakshvir M. ve Barai S.V., 2006. Studies on Recycled Aggregates-Based Concrete, Waste Manage Res, 24, 225-233.
- [17] Kartam N., Al-Mutairi N., Al-Ghusain I. ve Al-Humoud J., 2004. Environmental Management of Construction and Demolition Waste in Kuwait, Waste Management, 24, 1049-1059.
- [18] Park, T., 2003. Application of Construction and Building Debris as Base and Subbase Materials in Rigid Pavement, Journal of Transportation Engineering, 129, 5, 558-563.
- [19] Chini A.R., Kuo S.S., Armaghani J.M., Duxbury J. P., 2001. Test of Recycled Concrete Aggregate In Accelerated Test Track, Journal of Transportation Engineering, 127, 6, 486492.
- [20] Mulder E., Jong T.P.R. ve Feenstra L., 2007. Closed Cycle Construction: An Integrated Process for the Separation and Reuse of C&D Waste, Waste Management, 27, 1408-1415.

- [21] Arıoğlu E., Köylüoğlu Ö.S. ve Akıllıoğlu E., 1996. Dünyadaki Geri Kazanılmış Agregada Üretim Politikalarının Gözden Geçirilmesi ve Ülkemiz Açısından İrdelenmesi, I. Ulusal Kırmataş Sempozyumu'96, İstanbul.
- [22] Çevre ve Orman Bakanlığı, 2004. Hafriyat Toprağı ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği (HTYAKY), Ankara.
- [23] Ünal, O., Uygunoğlu, T., Gençel, O., 2007, “Çelik Liflerin Beton Basınç ve Eğilme Özelliklerine Etkisi”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 13, Sayı 1, Sayfa 23-30
- [24] Topçu, İ. B., 2006, “Beton Teknolojisi”, Uğur Ofset A.Ş., Eskişehir.
- [25] Ekincioglu, Ö. , (2003). Karma lif içeren çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı bir optimum tasarım, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [26] Sim, J., Park, C. And Moon, D., (2005). Characteristics of Basalt Fiber as a Strengthening Material for Concrete Structures. Composites: Part B, 36.
- [27] Brik, V.B., (1999). Performance evaluation of basalt fibers and composite rebars as concrete reinforcement. Tech Res Report submitted to NCHRP- IDEA, Project 45.
- [28] Klimov, U.A., Piskun, R.A., (2010). Report on the results of experimental research to determine strength, hardness, and crack resistance of concrete elements reinforced by non-metallic composite rebar produced by Technobasalt Invest LLC, Kiev.
- [29] ASTM A 820, (1996). Standart Specification for Steel Fibers for Fiber-Reinforced Concrete, The American Society for Testing and Materials, U.S.A.
- [30] TS 10513, (1992). Beton Takviyesinde Kullanılan Çelik Teller, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [31] Taşdemir, M.A., Bayramov, F., Kocatürk, A.N., Yerlikaya, M., (2004). Betonun Performansa Göre Tasarımında Yeni Gelişmeler, Beton 2004 Kongresi Bildiriler, İstanbul.
- [32] Bentur, A., Mindess S., 1990, “Fiber Reinforced Cementitious Composites”, Elsevier Applied Science, London.
- [33] Hannant, D.J., (2003). Advanced Concrete technology, Elsevier Ltd.
- [34] Kamile TOSUN, Dokuz Eylül üniversitesi, Yapı Malzemesi 2-Özel Betonlar Ders Notları
- [35] Doç.Dr.Halit YAZICI, Dokuz Eylül Üniversitesi, Özel Betonlar-Lifli Beton
- [36] Yıldırım, S. T., 2002, “Lif Takviyeli Betonların Performans Özelliklerinin Araştırması”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Elazığ.
- [37] TS 10514, 1992, “Beton – Çelik Tel Takviyeli – Çelik Telleri Betona Karıştırma Ve Kontrol Kuralları”, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- [38] Yardımcı, M. Y., 2007, “Çelik Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik, Mekanik, Kırılma Parametrelerinin Araştırılması ve Optimum Tasarımı”, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [39] Anonim, 1994, “Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton”, 1994, T.C Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- [40] Zeynal, E., 2008, “Çelik Lif ve S/Ç Oranlarının Çelik Lifli Betonların Darbe Mukavemetine ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- [41] Shah, S. P. and Rangan, B.V. (1971). “Fiber Reinforced Concrete Properties”, ACI Journal, pp. 126-135, February.
- [42] TS EN 12350-3 (Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 3: Vebe deneyi)
- [43] TS EN 12350-2 (Beton- Taze beton deneyleri-Bölüm 2: Çökme (slamp) deneyi)

- [44] civil.ce.metu.edu.tr/betonarme/pdf/Bolum_9_1.pdf
- [45] Kassas, A.A., Studies on the Tensile Strenght of Concrete, M.S. Thesis, METU, Ankara, 1976.
- [46] Ersoy U., Betonarme Temel İlkeler Taşıma Gücü Hesabı Cilt I, Evrim Yayınevi, 1985.
- [47] Erdoğan T., Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., 2003.
- [48] TS EN 12390-6 (Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini)
- [49] TS EN 12390-5 (Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini)
- [50] Köken A., Köroğlu M.A., Yonar F.,2008, Atık Betonların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, Teknik-Online Dergi, Cilt 7, Sayı:1-2008, Konya
- [51] Sarı M., 2013, Farklı Tipteki Liflerin Betonun Mekanik Davranışına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 25-33.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : ESRA TOLU
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : İZMİT – 20.05.1988
Telefon : 0532 432 52 41
e-mail : esratolu@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Açıköğretim Lisesi	2005
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Konya	2014
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Çevre Mühendisliği, Konya	2014
Üniversite	: Anadolu Üniversitesi, Kamu Yönetimi, Eskişehir	3.sınıf
Yüksek Lisans	: KTO Karatay Üniversitesi, Konya	2.sınıf

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2014-2015	BAKYAPI	Kontrol ve Saha Müh.

UZMANLIK ALANI

Çevre Görevlisi Belgesi
 LPG Sorumlu Müdür Belgesi

YABANCI DİLLER

İngilizce – Orta
 Arapça – Orta
 Osmanlıca - Orta