



**T.C.**  
**KTO Karatay Üniversitesi**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**MİKROFİBER DONATILARIN BETON İLE DONATI ARASINDAKİ**  
**ADERANSA VE BETON BASINÇ DAYANIMINA ETKİLERİ**

**İsmail Emre TEKELİ**

**KONYA**  
**AĞUSTOS 2019**

MİKROFİBER DONATILARIN BETON İLE DONATI ARASINDAKİ  
ADERANSA VE BETON BASINÇ DAYANIMINA ETKİLERİ

İsmail Emre TEKELİ

KTO Karatay Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı

Yüksek Lisans Tezi

KONYA  
AĞUSTOS 2019

Fen Bilimleri Enstitü Onayı

  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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

Prof. Dr. Atilla Özütok  
Anabilim Dalı Başkanı  


İsmail Emre TEKELİ tarafından hazırlanan MİKROFİBER DONATILARIN BETON İLE DONATI ARASINDAKİ ADERANSA VE BETON BASINÇ DAYANIMINA ETKİLERİ başlıklı bu çalışma 23.08.2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jüri tarafından tezli yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi S. Kemal ALIN

Jüri Üyeleri

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi Fethi BAHADIR

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Fethi Süleyman BALIN

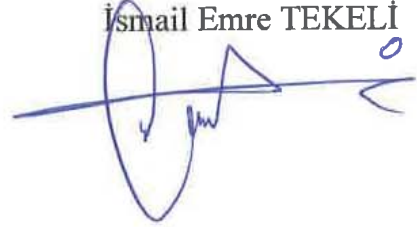
Üye: Dr. Öğr. Üyesi S. Kemal ALIN

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak ve kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

23.08.2019

İsmail Emre TEKELİ



## ÖZET

### MİKROFİBER DONATILARIN BETON İLE DONATI ARASINDAKİ ADERANSA VE BETON BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİ

TEKELİ, İsmail Emre

Yüksek Lisans - İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Süleyman Kâmil AKIN

Ağustos 2019

Bu çalışmada 3 farklı mikrofiber katkı donatısından değişken oranlar kullanılarak katkılı beton numuneleri üretilmiş, bu numuneler basınç ve de çelik çubuk çekme deneylerine tabi tutulmuştur. Mikrofiber katkı donatılarından polipropilen elyaf, cam elyaf, karbon elyaf malzemelerinin her birinden %1, %0,5, %0,25 oranlarında katkı kullanılarak ve katkısız olarak çelik çubuk çekme deneyi ve beton basınç deneyi için küp numuneler hazırlanmıştır. Çelik çubuk çekme deneyi için hazırlanan numunelere aderans boyları 5cm, 10cm, 15cm olan Ø10 çelik çubuklar yerleştirilmiş ve toplamda 90 adet çelik çubuklu küp numune 28 günlük kürlerinin ardından deneye tabi tutulmuşlardır. Beton basınç deneyi için ise yine polipropilen elyaf, cam elyaf, karbon elyaf malzemelerinden %1, %0,5, %0,25 oranlarında katkı kullanılarak ve de katkısız olarak 6'şar adet küp numune dökülmüş, 3'er adet numuneler 7 günlük kürün ardından diğer 3'er adet numuneler ise 28 günlük kürün ardından olmak üzere toplamda 60 adet küp numune deneye tabi tutulmuşlardır. Deney sonuçlarına göre mikrofiber katkı malzemelerinin ve donatı aderans boylarının betonarme çalışma prensiplerine etkileri gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Mikrofiber katkı donatısı, katkılı beton, aderans, çelik çubuk çekme deneyi, beton basınç deneyi.

## ABSTRACT

### THE EFFECT OF MICROFIBER REINFORCEMENTS ON ADHERENCE BETWEEN CONCRETE AND REINFORCEMENT AND CONCRETE COMPRESSION RESISTANCE

TEKELİ, İsmail Emre

Post Graduate – Department of Civil Engineering

Thesis Advisor: Dr. Süleyman Kâmil AKIN

August 2019

In this study, additive concrete samples were produced from 3 different microfiber additive reinforcements using variable rates and these samples were subjected to pressure and steel bar tensile tests. Cubic samples were prepared for steel bar tensile test concrete pressure test by using 1%, 0.5%, 0.25 additives from each of polypropylene fiber, glass fiber, carbon fiber materials from microfiber additive reinforcements and without additives. Ø10 steel bars were adhered to samples prepared for steel bar tensile test with adherence lengths 5cm, 10cm, 15cm. For the concrete pressure test, 6 cubic samples were cast, again by using 1%, 0.5%, 0.25% additives from polypropylene fiber, glass fiber, carbon fiber materials and without additives and a total of 60 cubic samples were subjected to the test as 3 for each samples after 7 days of curing and other 3 for each samples after 28 days of curing. According to the results of the test, the effects of microfiber additives and reinforcement adherence lengths on concrete working principles were observed.

**Keywords:** Microfiber additive reinforcement, additive concrete, adherence, steel bar tensile test, concrete pressure test.

## TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bana rehberlik eden, bilgi ve tecrubesini benimle paylaŐan danıŐman hocam Sayın Dr. Suleyman Kamil Akın'a teşekkür ederim.

İsmail Emre TEKELİ  
AĞUSTOS-2019

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
KISALTMA VE SEMBOLLERİN LİSTESİ	xiii
1.GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Betonlar	3
2.2. Lifli Betonlar	5
2.2.1. Polipropilen elyaf	6
2.2.2. Cam elyaf	7
2.2.3. Karbon elyaf	7
2.3. Beton ve Donatı Arasındaki Aderans	8
2.3.1. Aderans deneyleri	11
2.3.1.1. Çekip çıkarma deneyi	11
2.3.1.2. Kiriş deneyleri	12
2.3.1.2.1. Bureau of standards deneyi	12
2.3.1.2.2. Teksas deneyi	13
2.3.1.2.3. Standard Belçika mafsalı kiriş deneyi	14
2.3.1.2.4. Kiriş çatlama deneyi	15
2.3.2. Çatlama olayı	16
2.4. Literatür Çalışması	16
3. MALZEME VE YÖNTEM	19
3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler	19
3.1.1. Çimento	19



3.1.2. Agregalar	20
3.1.3 Yüksek performanslı süper akışkanlaştırıcı	20
3.1.4. Polipropilen (PP) lifler	21
3.1.5. Cam elyaf	21
3.1.6 Karbon elyaf	22
3.1.7. Karışım suyu	22
3.1.8. Çekme donatısı	23
3.2. Deneysel Çalışmanın Amacı ve İçeriği	23
3.2.1. Beton karışımları ve numune kodları	24
3.2.2. Beton numune kalıplarının hazırlanması	25
3.2.3. Beton karışımlarının hazırlanması	28
3.2.4. Taze beton deneyleri	29
3.2.5. Çelik çubuk çekme deneyi düzeneği	32
4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	38
4.1. Çekip Çıkarma Deneyi Sonuçları	38
4.2. Beton Basınç Deneyi Sonuçları	74
4.3. Aderans Hesapları	77
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	79
KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ	83

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

ÇİZELGE	SAYFA
Çizelge 2.1 Çökme sınıfları	4
Çizelge 3.1 Kullanılan çimentonun özellikleri	19
Çizelge 3.2 1 m <sup>3</sup> Beton karışımı için kullanılan agregaların özellikleri	20
Çizelge 3.3 Akışkanlaştırıcı kimys. katkı malz. fiz. ve kim. özellikleri	20
Çizelge 3.4 PP liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri	21
Çizelge 3.5 Cam elyaf liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri	22
Çizelge 3.6 Karbon fiberin özellikleri	22
Çizelge 3.7 Kullanılan çelik donatıların özellikleri	23
Çizelge 3.8 Beton karışım bileşenleri	24
Çizelge 3.9 PP Katkılı Numune Sayıları	27
Çizelge 3.10 Cam Elyaf Katkılı Numune Sayıları	27
Çizelge 3.11 Karbon Elyaf Katkılı Numune Sayıları	27
Çizelge 3.12 Katkisız Numune Sayıları	27
Çizelge 3.13 Beton Basınç Dayanımı Deneyi İçin Fiber Katkılı Num. Sayıları	28
Çizelge 3.14 Slump deneyi sonuçları	29
Çizelge 4.1 Beton num. çelik çubuk çekme deneyi maks. kuvvet değerleri	68
Çizelge 4.2 Beton num. çekme çubuk deneyindeki ort. maks. çekme day. kuv.	69
Çizelge 4.3 28 Günlük beton basınç deneyi maksimum kuvvet değerleri	74
Çizelge 4.4 7 Günlük beton basınç deneyi maksimum kuvvet değerleri	76
Çizelge 4.5 Aderans gerilmeleri	78

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

ŞEKİL	SAYFA
Şekil 1.1 İdealize edilmiş kuvvet transfer mekanizması	2
Şekil 1.2 Nervürlü donatı ve çevresin saran beton arasındaki aderans ve yarıлма gerilmeleri	2
Şekil 2.1 Çökme deneyi konisi	3
Şekil 2.2 Betona gömülü donatı çubuğu parçasının serbest cisim diyagramı ve aderans dayanımı bileşenleri	10
Şekil 2.3 Çekip çıkarma (pull-out) deneyi	12
Şekil 2.4 Bureau of standards deneyi	13
Şekil 2.5 Teksas deneyi	13
Şekil 2.6 Standard Belçika mafsalı kiriş deneyi	14
Şekil 2.7 Etriye, montaj donatılı ve çekme donatısı ekli olarak yerleştirilmiş kiriş deneyi	15
Şekil 2.8 Çekme donatısı sabit moment bölgesinde bindirmeli ekli olarak yerleştirilmiş kiriş deneyi	16
Şekil 3.1 Donatı çubukları aderans boyu yerleşimi	25
Şekil 3.2 Numune kalıpları	26
Şekil 3.3 Hassas terazi	28
Şekil 3.4 Betonyerle katkılı beton karışımı hazırlanması	28
Şekil 3.5 Slamp deneyleri	29
Şekil 3.6 Beton kalıpları	30
Şekil 3.7 Numunelerin saklanması	31
Şekil 3.8 Çelik çubuk çekme deneyi düzeneği	32
Şekil 3.9 Çekme deneyi düzeneği çalışma şekli	33
Şekil 3.10 Potansiyometrik cetvellerin ayarlanması	34
Şekil 3.11 Çekme deneyinin uygulanması	35
Şekil 3.12 Çekme deneyi uygulanmış numuneler	37
Şekil 4.1 Katkısız, A:5cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	38
Şekil 4.2 Katkısız, A:10cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	39
Şekil 4.3 Katkısız, A:15cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	40

Şekil 4.4 PP %0,25, A:5cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	41
Şekil 4.5 PP %0,25, A:10cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	42
Şekil 4.6 PP %0,25, A:15cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	43
Şekil 4.7 PP %0,5, A:5cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	44
Şekil 4.8 PP %0,5, A:10cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	45
Şekil 4.9 PP %0,5, A:15cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	46
Şekil 4.10 PP %1, A:5cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	47
Şekil 4.11 PP %1, A:10cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	48
Şekil 4.12 PP %1, A:15cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	49
Şekil 4.13 Cam %0,25, A:5cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	50
Şekil 4.14 Cam %0,25, A:10cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	51
Şekil 4.15 Cam %0,25, A:15cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	52
Şekil 4.16 Cam %0,5, A:5cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	53
Şekil 4.17 Cam %0,5, A:10cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	54
Şekil 4.18 Cam %0,5, A:15cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	55
Şekil 4.19 Cam %1, A:5cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	56
Şekil 4.20 Cam %1, A:10cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	57
Şekil 4.21 Cam %1, A:15cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	58
Şekil 4.22 Karbon %0,25, A:5cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	59
Şekil 4.23 Karbon %0,25, A:10cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	60
Şekil 4.24 Karbon %0,25, A:15cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	61
Şekil 4.25 Karbon %0,5, A:5cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	62
Şekil 4.26 Karbon %0,5, A:10cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	63
Şekil 4.27 Karbon %0,5, A:15cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	64
Şekil 4.28 Karbon %1, A:5cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	65
Şekil 4.29 Karbon %1, A:10cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	66
Şekil 4.30 Karbon %1, A:15cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri	67
Şekil 4.31 Beton numunelerinin çekme çubuk deneyindeki maksimum çekme dayanım kuvvetleri	70

Şekil 4.32 Çekme dayanım kuvvetlerinin aderans boylarına göre grup.	70
Şekil 4.33 %0,25 Fiber katkılı betonun maksimum çekme kuvvetleri	71
Şekil 4.34 %0,5 Fiber katkılı betonun maksimum çekme kuvvetleri	71
Şekil 4.35 %0,1 Fiber katkılı betonun maksimum çekme kuvvetleri	72
Şekil 4.36 5cm aderans boyuna sahip betonlarda maksimum çekme kuvvetleri	72
Şekil 4.37 10cm aderans boyuna sahip betonlarda maksimum çekme kuvvetleri	73
Şekil 4.38 15cm aderans boyuna sahip betonlarda maksimum çekme kuvvetleri	73
Şekil 4.39 Basınç dayanım deneyi düzeneği	74
Şekil 4.40 28 Günlük beton basınç dayanım değerleri	75
Şekil 4.41 28 Günlük beton basınç dayanımı ortalama değerleri	75
Şekil 4.42 7 Günlük beton basınç dayanım değerleri	76
Şekil 4.43 7 Günlük beton basınç dayanımı ortalama değerleri	77

## KISALTMALAR VE SEMBOLLER

Kısaltmalar/Semboller	Açıklama
S/Ç	: Su / Çimento oranı
PP	: Polipropilen
MPa	: Mega Paskal
TS	: Türk Standartları
J/m <sup>2</sup>	: Joule/ metrekare
P	: Yük
Kg/m <sup>3</sup>	: Birim hacim ağırlık
Mm	: Milimetre
Cm	: Santimetre
°C	: Santigrat Derece
%	: Yüzde
Gr	: Gram
Kg	: Kilogram
N	: Newton
kN	: Kilo Newton
XPS	: Ekstrude Polistren malzeme
$\Sigma_s$	: Çekme donatısındaki gerilme (MPa)
$\sigma_s'$	: Basınç donatısındaki gerilme (MPa)
$A_s$	: Çekme donatısı alanı (mm <sup>2</sup> )
$A_s'$	: Basınç donatısı alanı (mm <sup>2</sup> )
db	: Çekme donatısının çapı (mm)
$l_s$	: Bindirme uzunluğu (mm)
u	: Aderans dayanımı (MPa)
$\rho$	: Donatı oranı
$f_{cd}$	: Hesapta kullanılan beton basınç dayanımı (MPa)
a	: Eşdeğer dikdörtgen basınç bloğu derinliği (mm)
M	: Kesitin taşıyabileceği moment (Nmm)

<b>c</b>	: Tarafsız eksen derinliği (mm)
<b>f<sub>c</sub>'</b>	: 28 günlük beton basınç dayanımı (mm)
<b>φ</b>	: Donatı çapı (mm)
<b>P<sub>max</sub></b>	: Göçme yükü (kN)
<b>M<sub>max</sub></b>	: Kesitin taşıyabileceği maksimum moment (Nmm)
<b>G<sub>f</sub></b>	: Betonun kırılma enerjisi(N/m)
<b>f<sub>eq</sub></b>	: Betonun eşdeğer çekme dayanımını(MPA)
<b>h<sub>k</sub></b>	: Elemanların karakteristik boyutu
<b>TSE</b>	: Türk Standartları Enstitüsü



## 1. GİRİŞ

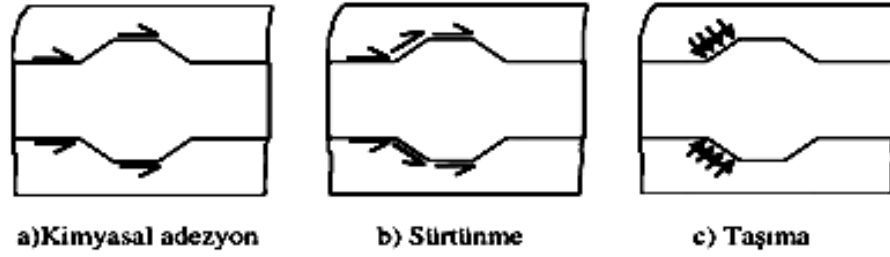
Beton agrega, çimento ve suyun, kimyasal ya da mineral katkı maddeleri ilave edilerek veya edilmeden homojen olarak üretim teknolojisine uygun olarak karıştırılmasından oluşan, başlangıçta plastik kıvamda olup, zamanla katılaşp sertleşerek mukavemet kazanan önemli bir yapı malzemesidir. Beton basınç dayanımı çok yüksek bir malzeme olmasına karşın çekme mukavemeti açısından çok yetersiz kalmıştır.

Betonun eğilme ve çekme gibi kuvvetlere karşı da mukavemet sağlayabilmesi için içerisine çelik yerleştirilmesiyle elde edilen ve dayanıklılığı ile ön plana çıkan yapı malzemesine de betonarme denilmektedir. Donatı çubukları ve çevresini saran beton arasındaki gerilme aktarımı betonarme teorisinin temelini oluşturmaktadır. Bu gerilme aktarımı, beton ve betona gömülü donatı çubuğunun yüzeyi arasındaki rölatif harekete veya kaymaya karşı direnç ile mümkün olmaktadır. Beton ve donatı arasındaki kaymaya karşı gösterilen direnç aderans olarak tanımlanır. Betonarme elemanların analiz ve tasarımı yapılırken beton ve donatı arasındaki kenetlenme ve bindirmeli ekli donatılar beton ve donatı arasındaki aderans açısından büyük bir öneme sahiptir. Aderans mekanizması, üç farklı mekanizmanın sonucu olarak dikkate alınır: kimyasal adezyon, sürtünme direnci ve donatı çubuklarının çıkıntıları ile beton arasındaki mekanik kenetlenme (Şekil 1.1).

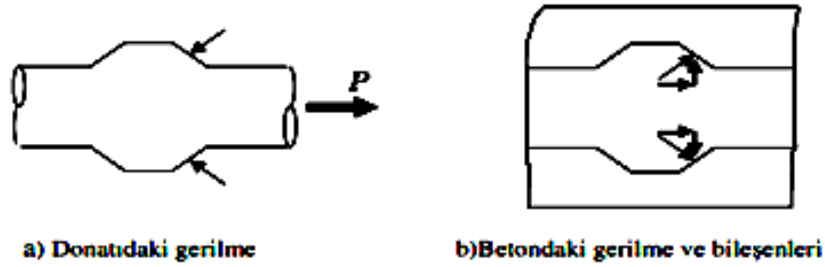
Ancak mekanik kenetlenme mekanizmasının dikkate alındığı seviyeye bağlı olarak sürtünme şeklinde değerlendirilebilir. Kimyasal adezyondan kaynaklanan aderans direnci küçüktür, donatı ile beton arasındaki kayma başladığında etkisini hemen kaybeder [1,2].

Donatı çubuk çıkıntılarının taşıma etkisinden kaynaklanan eğik kuvvetler, donatı ile beton arasındaki kuvvetlerin transferinin devamını mümkün kılmaktadır. Bu durum, aderans etkisinin betonda dışa doğru yayılan eğik kuvvetleri oluşturduğunu gösterir. Eğik gerilme çoğunlukla aderans gerilmesi ve normal veya yarma gerilmesi olarak iki bileşene ayrılır (Şekil 1.2).





Şekil 1.1 İdealize edilmiş kuvvet transfer mekanizması



Şekil 1.2 Nervürlü donatı ve çevresin saran beton arasındaki aderans ve yarılma gerilmeleri

Gelişen teknolojiden inşaat sektörü de olumlu yönde etkilenmiş, bu gelişime paralel olarak beton sektöründe de büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Artık daha dayanıklı, güçlendirilmiş, çatlamayan, aşınmayan ve estetik görünümlü betonlar hem daha kullanışlı hale gelmiş hem de kullanılan katkı malzemeleri sayesinde uygulanan eski yöntemlere nazaran çok daha hesaplı çözümler sunulmaya başlanmıştır. Katkı maddelerinin kullanımı yüksek dayanımlı betonların çok daha kolay imal edilebilmesini de sağlamıştır.

Betonun mutlak hacminin yaklaşık %70 oranını agrega (kum, çakıl, mıcır), %10 oranını çimento, %20 oranını su oluşturur. Gerektiğinde, çimento ağırlığının oranı olarak veya agrega hacminin azaltılmasıyla katkı malzemeleri betona ilave edilebilir. Betonda kullanılan katkıları; kimyasal (akışkanlaştırıcı, priz geciktirici, geçirimsizlik sağlayıcı, antifriz vb.), mineral (silis dumanı, taş unu, tras, yüksek fırın cürufu, uçucu kül vb.) ve fiber (çelik, PPF, cam lifi, karbon lifi vb.) katkıları olarak gruplandırılmaktadır.

Yapılan bu çalışmada mikro fiber katkı donatılarının ve donatı aderans boyunun betonun çalışma prensiplerine etkisi araştırılmıştır.

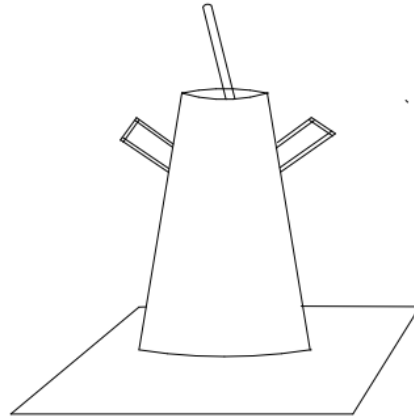
## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Betonlar

Beton, çimento, su, agreganın ve istenirse kimyasal ya da mineral katkı maddelerinin homojen olarak karıştırılmasıyla meydana gelen, başlangıçta plastik kıvamda olup, şekil verilebilen, zamanla katılaşıp sertleşerek mukavemet kazanan bir yapı malzemesidir. Betonun mutlak hacminin %70'ini agrega, %10'unu çimento, %20'sini de su oluşturur. Gerekliğinde, çimento ağırlığının %5'inden fazla olmamak kaydıyla, katkı malzemesi ilave edilebilir. Normal şartlar altında betonların basınç dayanımları 20MPa ile 60MPa, kırılma enerjileri 100 J/m<sup>2</sup> ile 120 J/m<sup>2</sup> civarındadır.

Taze betonun işlenebilirliği beton kalitesine etkisi bakımından büyük önem arz etmektedir. Betonun işlenebilirlik seviyesi slump deneyi ile tespit edilebilmektedir. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi slump hunisi düz bir zemine konur. Standart slump hunisi üç eşit kademede doldurulup, her kademede 25 kez standart şişleme çubuğuyla şişlenir. Huni tamamen dolunca üst yüzeyi mala ile düzlenir. Huni yavaşça yukarı doğru kaldırılır, bu sırada taze beton kendi ağırlığıyla çöker. Şişleme çubuğu huninin üzerine konur ve çöken betonun üst seviyesinden çubuğun altına kadar olan mesafe ölçülür. Bu uzunluk, taze betonun çökme (slump) değeri olarak adlandırılır.

TS EN 12350-2'de kabul edilen kıvam sınıfları çizelge 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1 Çökme deneyi konisi

Çizelge 2.1 Çökme sınıfları

Sınıf	S1	S2	S3	S4	S5
Çökme (mm)	10 – 40	50 – 90	100 – 150	160 – 210	>220

S1, S2, S3, S4 ve S5 sembolleri ile tanımlanan bu kıvam sınıfları, çökme (slump) konisi deneyi ile ölçülmektedir. Hazır betonda şantiye teslimi kıvam; taşıma süresi ve beton sıcaklığına bağlıdır. Taşıma süresi ve beton sıcaklığı yükseldikçe, santralden şantiyeye kıvam kaybı artmaktadır. Bu kıvam kaybının betona su verilerek dengelenmesi S5 220mm çökmemesi mukavemetini düşürmektedir ki bu son derece yanlış bir uygulamadır. Özellikle bina inşaatları beton işçiliğinde taşıma, yerleştirme ve mastarlama işlemlerinin kolaylığı bakımından 180-220 mm (S3-S4 kıvamlı beton) çökmeli, çok akıcı kıvamlı beton kullanma, bu amaçla da şantiyede hazır betona su verme eğilimi yüksektir. Bu eğilimin mukavemet düşürücü zararlı sonucunu yok etmek için Türkiye Hazır Beton Birliği Yönetim Kurulu bir karar alarak üyelerine şantiye teslimi beton kıvamını S4 düzeyinde (çökme>160mm) tutmalarını tavsiye etmiş, bunu yaparken su/çimento oranına (dolayısıyla mukavemete) dikkatlerini çekmeyi de ihmal etmemiştir.

Günümüzde yapı sektörünün olmazsa olmazı olan beton kompozit bir malzemedir. Betonun içerisinde kalın ve ince agregalar rastgele dağıldıklarından dolayı, yer yer heterojen ve gözenekli bir yapıya sahip olabilmektedirler. İç yapının heterojenliği iç şekil değiştirmelerin dağılı şekilde olmasına sebep olabilir ve bu şartlarda da kırılma süreci süresiz olur. Betonda en zayıf bölge çimento ile agrega ara yüzeyi arasındaki bölgedir. Beton içinde ara yüzeyinde oluşan mikro çatlaklar ilerde büyük çatlaklara sebep olacak potansiyel çatlak uçlarıdır. Betonun sünekliğinin geliştirilmesi için değişik güçlendirilmelere ihtiyaç duyulmuştur. Günümüzde katkı maddesi olarak liflerin betona katılmasıyla bu özellikler geçen gün geliştirilmektedir.

## 2.2. Lifli Betonlar

Çeşitli malzemelerin fiberlerle donatılarak özelliklerini iyileştirmeye yönelik çalışmaların teorik yönüyle ele alınışı son yıllarda yaygınlaşmasına karşın, ilk uygulama işlemlerinin çok eskiye dayandığı bilinmektedir. Kerpiç malzemenin bitkisel elyaf ve samanla karıştırılarak üretilmesi, alçı hamurunda bitkisel fiber kullanımı verilebilecek örneklerin başlıcalarıdır [3]. Betona yeni özellikler kazandırmak ya da bazı özelliklerini belirgin oranda arttırmak için de içerisine katkı malzemeleri katılmaktadır [4]. Günümüzde betonda yaygın olarak kullanılan fiber katkı malzemeleri çelik, polimer (polipropilen, PVA), cam ve karbon esaslıdır. Fiberin betona katılması, betonun; çekme ve eğilme dayanımını, düktilitesini, enerji tüketme kapasitesini ve çatlak gelişim karakteristiklerini geliştirmek için kullanılan yöntemlerden biridir [5]. Kullanılan fiberin cinsi, miktarı, boyutu gibi özellikler betonun mekanik özelliklerini farklı şekillerde etkilemektedir [6,7,8]. Yine katılan fiberin cinsi ne olursa olsun, matris içerisinde çökelerek homojen dağılması, betonun mekanik özellikleri üzerinde yapacağı katkıyı doğrudan etkilemektedir [9,10].

Beton, aşınma, çekme, kayma, çatlama sonrası yük taşıma, tokluk, yangına karşı dayanıklılık ve enerji emme kapasitesi zayıf olan bir malzemedir. Zayıf olan bu özelliklerini iyileştirmek için birçok çalışma yapılmıştır. Betonda ani kırılmayı önleyebilmek ve betonun sünekliğini artırabilmek için beton içerisinde farklı mekanik ve fiziksel özeliğe sahip lifler kullanılmaktadır. Fiziksel ve mekanik özellikleri farklı olan bu lifler, beton karışımı içerisinde karma olarak da kullanılarak, çok gevrek davranış gösteren yüksek dayanımlı betonlara süneklik kazandırmada ve zayıf yönlerini iyileştirmede katkı sağlamaktadır. Betonlara katılan lifler belli oranda katılmalıdır. Liflerin özelliklerine göre lif katkılı betonlar günümüzde özel uygulamalarda kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda beton teknolojisindeki gelişmelerle birlikte, basınç dayanımı çok yüksek olan betonlar, yüksek yapılar, köprüler, deniz altı yapıları, nükleer santraller gibi önemli yapılarda kullanılmaya başlanmıştır. Fiber katkı malzemelerinin en önemli özelliklerinden birisi betonda oluşacak plastik rötre çatlaklarını sınırlamasıdır.

Bu betonlar günümüzde özellikle yol inşaatlarında, endüstriyel döşemelerde, havaalanı pist kaplamalarında, su yapılarında, püskürtme betonlarda, şev stabilitesi problemi olan yamaçlarda, ince kabuk yapılarında, beton borularda, yüksek sıcaklığa maruz yapılarda, askeri yapılarda, öngermeli yapılarda, dış cephe mantolama uygulamalarında kullanılan sıvaların içinde ve daha birçok inşaatlarda kullanılmaktadır. Özellikle betonun içindeki boşlukları doldurmak, rötre ve büzülme çatlaklarını azaltmak, betonun darbeye karşı dayanımını artırmak gibi önemli faydalar sağladığı için son yıllarda ülkemizde önde gelen beton şirketleri de katkılı beton üretimini artırmıştır.

### **2.2.1. Polipropilen elyaf**

Hazır beton, prekast beton, köpük beton, hafif beton, hazır sıva harçları, dekoratif betonlar, beton borular gibi alanlarda beton harcına karıştırılarak kullanılan fiber elyaflar betondaki rötre kontrolünü, darbelere karşı betonun korunmasını, betondaki kesme ve kopma direncinin artmasını sağlamaktadır. Her tip çimento ile uyum göstermektedir. Polipropilen lifler, beton içinde homojen dağılarak üç boyutlu mikro donatı sistemi oluştururlar. Böylece agrega danelerini bağlayan çimento harcının performansını önemli ölçüde arttırmaktadırlar.

Polipropilen elyafların avantajları: Betonun erken yaşlardaki rötre ve büzülme çatlaklarını önemli ölçüde azaltırlar. Mikro çatlakların oluşmasına engel olduğu için betonun su geçirgenliğini azaltırlar. Buna bağlı olarak betonun donma-çözülme karşı dayanımını arttırlar. Donatının korozyonunu geciktirirler. Beton içinde homojen dağılabildiği için çimento harcı için mikro donatı oluştururlar. Betonun darbeye karşı dayanımını arttırlar. Beton agrega granülometrisini etkilemezler. Rötre donatısı ve sıcaklık donatısı yerine kullanılarak maliyetleri azaltabilirler. Derzlerde ve beton bitimlerinde kenar ve köşelerin kırılma dayanımını arttırlar. Gevrek olan betona sünek bir yapı kazandırır. Segregasyonu azaltırlar. Betonun durabilesini arttırlar. Kalıcılığı ve sağlamlığı artırır. Aşınma, kırılma ve kopma mukavemetini artırır. Burkulma mukavemetini ve yorulma direncini artırır.

### **2.2.2. Cam elyaf**

Tüm dünyada GRC (glass reinforced concrete) olarak bilinen cam elyaf takviyeli beton, Türkiye’de de kullanımı son dönemlerde yaygınlaşan çok yönlü bir inşaat materyalidir. Cam elyaf takviyeli beton yüksek performanslı çimento bazlı bileşimin alkali dayanımlı cam elyafı ile takviye edilmesiyle oluşur. Alkali dayanımlı cam elyafı, betonda oluşan çatlakların ani olarak yayılmasını engelleyerek, beton dayanımının artmasını sağlar. Normal betonun sahip olduğu basınç dayanımı yanında çekme dayanımı da katkı sağlamaktadır.

Cam elyafların avantajları: Suya karşı dayanıklılığı sağlayarak su geçirgenliğini azaltmakta ve mevcut yapının üzerinde oluşacak korozyonu geciktirmektedir. Darbelere karşı büyük oranda dayanıklılık sağlamaktadır. Erken zamanlarda oluşacak rötne ve büzülme çatlaklarına etkili çözümler getirmektedir. Mikro çatlaklar engellenmekte, donma ya da çözülme gibi oluşumlara karşı dayanıklılık artmaktadır. Asit ve alkaliye, biyolojik etkilere, iklim koşullarına ve ultraviyole ışığa karşı dayanıklılık sağlanmaktadır. Yanmaya karşı dayanıklı bir yapı sunmaktadır.

### **2.2.3. Karbon elyaf**

Katran, naylon ve orlondan oluşan fiber malzeme, çelik malzemedan 4-5 kat daha hafif olup yaklaşık 3 kat daha dayanıklı olması kullanım alanlarını arttırmaktadır. Günümüzde karbon elyaf uçaklarda, roket sistemlerinde, uydularda, yarış arabalarının iskelet sisteminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde de üretimi başlayan karbon elyaf, deprem bölgelerindeki binaların yapı güçlendirmelerinde sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Karbon elyaf inşaat sektöründe cephe kaplamalarda kullanılmasıyla beraber enerji sektöründe de tercih edilmektedir. Karbon fiberin ipliksi yapısı çelikten daha dayanıklı bir hale getirmektedir.

Karbon elyafın avantajları şu şekildedir; öncelikle karbon elyaf yapısı bakımından hafifliği nedeniyle oldukça kullanışlıdır. Oksitlenme gibi bir sorunu olmadığından görsel olarak çekici olmaktadır. Bununla beraber uzun ömürlü olması sebebiyle de tercih sebebidir. Karbon elyafın yoğunluğu çeliğe oranla düşük olduğundan yüksek ağırlık yükü istemeyen uygulamalar için ideal bir malzemedir.

### **2.3. Beton ve Donatı Arasındaki Aderans**

Beton ve donatı arasındaki aderans, betonarmenin işlevini yerine getirmesi için önemli şartlardan birisidir. Bu bağlamda, aderans donatı çubuklarının boylamasına yöndeki beton ve donatı arasındaki yük taşıma mekanizmasının tanımıdır. Aderans etkisi, örneğin, düz demirlerin veya tel liflerin ankraj uçlarında, donatı çubuklarının bindirmeli eklemelerinde veya çatlaklara yakın bölgeler içinde belirgin olur. Bütün bu durumlarda donatı çubuğundaki toplam kuvvet donatıdan betona veya tersine olarak iletilir. Betonarme yapıların analizinde, genellikle beton ve donatı arasında tam uyumluluk varsayımı yapılır. Esasen bu varsayım sadece donatı ve beton arasında ihmal edilebilir gerilme transferinin meydana geldiği veya hiç gerilme transferinin oluşmadığı bölgelerde geçerlidir. Ankraj uçları veya çatlaklara yakın temas ara yüzeyindeki yüksek gerilme durumlarında aderans gerilmeleri, donatı ve beton arasındaki rölatif deplasmanlarla alakalıdır. Aderans-kayma olarak adlandırılan bu rölatif deplasmanlar, beton ve donatıdaki farklı ortalama şekil değiştirmelerden kaynaklanır. Donatı ile beton temas ara yüzü boyunca aderans gerilme dağılımı, çekme kuvvetine maruz betonarme elemanlardaki çatlaklar arası mesafe ve onların genişliği üzerinde kesin bir etkiye sahiptir. Donatı çubuklarının korozyonu ve sonuç olarak yapının faydalı ömrü bu niceliklere bağlı olduğundan dolayı, aderans gerilmelerinin değerlendirilmesi betonarme elemanların esas problemlerinden biridir. Çelik ve beton arasındaki aderans, betonarmenin başlangıcından beri birçok araştırmacı ve uygulayıcının dikkatlerini kendi üzerinde toplamış ve bu konuda büyük sayıda araştırma yapılmıştır.

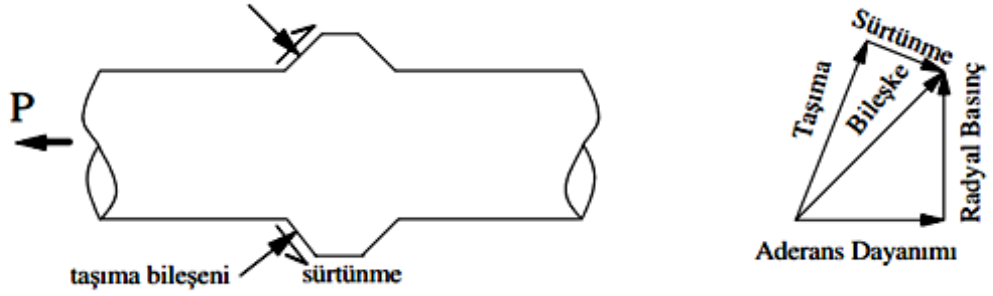
Yüksek dayanımlı çeliklerin uygulama alanındaki öncüleri, yuvarlak ve düz yüzeyle enkesitleri ile klasik yumuşak betonarme demirlerinden pek farklı olmayan aderans özelliklerine sahiptiler. Ancak bir süre sonra bu yeni tip çeliklerin yüksek dayanımlarından bütünüyle yararlanabilmek için betonla bağlantılarının artırılması gerektiği anlaşılmış ve yüzeylerindeki çıkıntı, girinti ve nervürlerle aderansı geliştirilmiş modern betonarme donatısı türleri uygulama alanına yayılmışlardır [11]. Nervürlü çubukların aderans dayanımı, öncelikle nervürlerin çevresini saran betona karşı gösterecekleri taşıma gücüne bağlıdır. Çubuk nervürü yüzü boyunca, çelik ve beton arasındaki sürtünme, nervüre göre rölatif kayma sonucu beton dışı önlemeye yardım etmekle aderans dayanımını geliştirmede önemli rol oynar. Sürtünmeden dolayı oluşan kuvvet, nervüre dik etki eden aderans taşıma bileşenine vektörel olarak eklenir. Bileşke aderans kuvvetinin düşey bileşeni ise, donatıyı çevreleyen betona dik etki eden radyal basınçtır. Yatay bileşen ise, etkin aderans dayanımıdır (Şekil 2.2). Aderans olayının nedenlerinin genellikle donatı ile beton arasındaki üç ana sebepten ileri geldiği kabul edilmektedir.

a-Çelik ve beton arasında yapışmaya sebep olan molekülsel ve kapiler bağ kuvvetleri.

b-Çubukların düz denilen kısımlarının yüzeyinde yeni imal edilmiş bile olsalar varolan pürüzlerin betona tutunmasından ileri gelen sürtünme kuvvetleri.

c-Çubuk yöresindeki betonun makaslama ve basınç dirençlerini de olaya karıştıran, helisel, tek veya çok sayıda, sürekli veya süreksiz nervürlerden ve enine çıkıntılardan ileri gelen mekanik dış kuvvetleri.





Şekil 2.2 Betona gömülü donatı çubuğu parçasının serbest cisim diyagramı ve aderans dayanımı bileşenleri

Genel durumda bir enine kesitteki aderans gerilmesi, mekaniksel ve geometrik parametreler, donatı çubuklarının çıkıntı geometrisi ve donatıyı saran beton üzerindeki yanal basınca bağlı bölgesel aderans gerilme-kayma ilişkisi ile donatı ve beton arasındaki rölatif kayma ile alakalıdır.

Betonarme yapıların analizinde sonlu eleman metodu uygulaması ile ilgili ilk yayın Ngo ve Scordelis (1967) [12] tarafından sunuldu. Çalışmalarında, basit kirişler beton ve donatının sabit şekil değiştiren üçgen elemanlarla gösterildiği bir model ile analiz edildi. Bu analizde, donatı ile betonu birleştirmek ve aderans-kayma etkisini tanımlamak için özel bir aderans bağlantı elemanı kullanıldı. Betondaki esas gerilmeleri, donatıdaki gerilmeleri ve aderans gerilmelerini tayin etmek için önceden tanımlanmış çatlak modellere sahip kirişler üzerinde lineer elastik analiz yapıldı. Ancak, yüksek dayanımlı betonların da geniş ölçüde kullanılmaya başlanmasıyla aderans problemi yeniden önem kazanmıştır. Aderans üzerine geniş çapta ilk araştırmalar Abrams tarafından 1909 – 1912 yıllarında Illinois Üniversitesinde, çekip çıkarma ve kiriş deneyleri kullanılarak yapılmış, daha sonra birçok araştırmacı bu problemi ele almıştır.

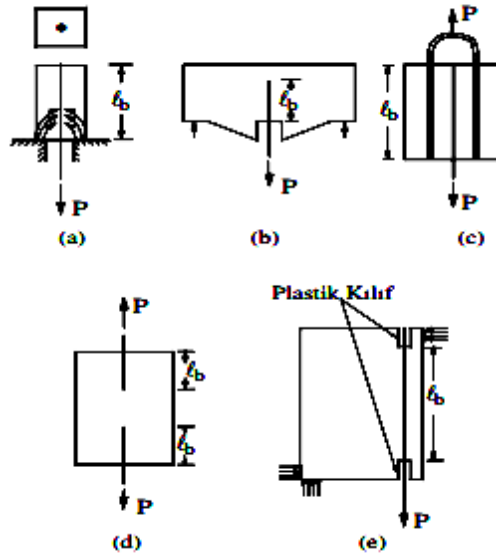
### **2.3.1. Aderans deneyleri**

Bu konuda yapılan deneyler genelde dış aderans denilen direkt aderansla ilgili özellikleri (kenetlenme, bindirmeli ekleme, sınır gerilme) konu alan çekip-çıkarma (pull-out) deneyleri ile iç aderans denilen çatlama özelliklerini konu alan giriş deneyleri olmak üzere iki türdür. Yaygınlığı daha az olan itip-çıkarma (push-out) deneyleri de yapılmaktadır.

#### **2.3.1.1. Çekip çıkarma deneyi**

Aderans deneyleri arasında en eskisi, en yaygın olarak kullanılanı, en basit ve en pratik olanı aksenal çekip-çıkarma deneyleridir.

Bu deneyde alt tabandan mesnetlenmiş prizmatik veya silindirik bir beton kütlesi içine yerleştirilmiş olan çelik çubuk, alt serbest ucundan, eksenini doğrultusunda üniform artan bir  $P$  kuvveti ile betondan çekilip çıkarılmaya çalışılır (şekil 2.3). Çubuğun yüksüz ve yüklenmiş uçlarının beton kütlesine göre kaymaları (sıyırılma)  $P$  ile bağıntılı olarak ölçülür. Bu ölçmeler ile çelik gerilmesine bağlı gerilme-sıyırılma diyagramları elde edilmektedir. Ayrıca değişik kenetlenme boyları kullanılarak yapılan deneylerle kenetlenme boyunun belirlenmesi de mümkündür. Bu tür deney elemanında donatıya dik kesme kuvvetinin bulunmayışı, mesnetin uyguladığı yerel basınç gerilmeleri ve beton örtüsünün gerçekte olandan çok büyük olması ve çekme çatlaklarının oluşmaması gibi sakıncalar söz konusudur. Bu sebeple bu deney elemanı aderans dayanımı ve kenetlenme boyunun saptanmasında uygun değildir. Ancak iki tür donatının izafi aderans ve kenetlenme özelliklerinin saptanıp karşılaştırılmasında bu tür deneyden yararlanılabilir. [13]



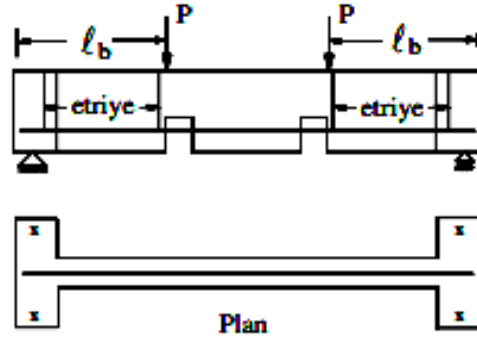
Şekil 2.3 Çekip çıkarma (pull-out) deneyi

### 2.3.1.2. Kiriş deneyleri

Çekip-Çıkarma deneylerinin eğilmeye çalışan bir elemandaki gerçek durumu yansıtamamasından dolayı kiriş deneyleri geliştirilmiştir. Özellikle eğilme çekme çatlaklarının aderans davranışını etkilediği kabul edildiğinden beri, çekip-çıkarma deneyleri, kiriş testlerinden daha az güvenilir olarak dikkate alınmıştır. Kiriş deneylerinden en yaygın olarak kullanılanları, Bureau of Standards Deneyi, Texas Deneyi, Standard Belçika Mafsallı Kiriş Deneyi ve büyük boyutlu betonarme kirişler üzerinde yapılan kiriş çatlama deneyidir.

#### 2.3.1.2.1. Bureau of standards deneyi

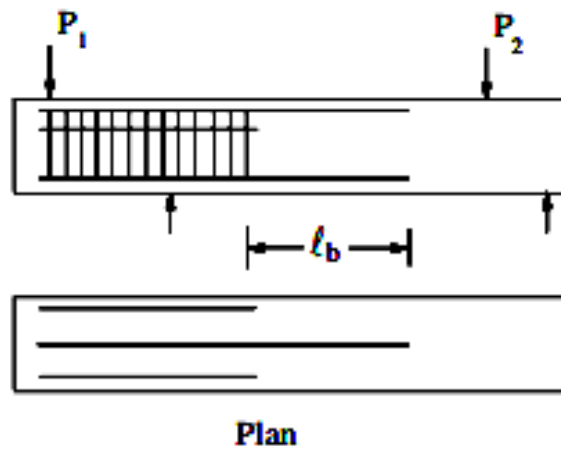
Kenetlenme boyunun saptanmasında daha gerçekçi şartları sağlayan bir deney türüdür. Şekil 2.4'de gösterilen Bureau of Standards deney elemanında kesme kırılmasını önlemek için aşırı etriye kullanmak gerekmektedir. Bu durum ise aderansı büyük ölçüde etkilemektedir. Dolayısıyla, gerçeğe daha yakın sonuçlar elde etmek açısından önemli bir sakınca doğmaktadır.



Şekil 2.4 Bureau of standards deneyi

### 2.3.1.2.2. Teksas deneyi

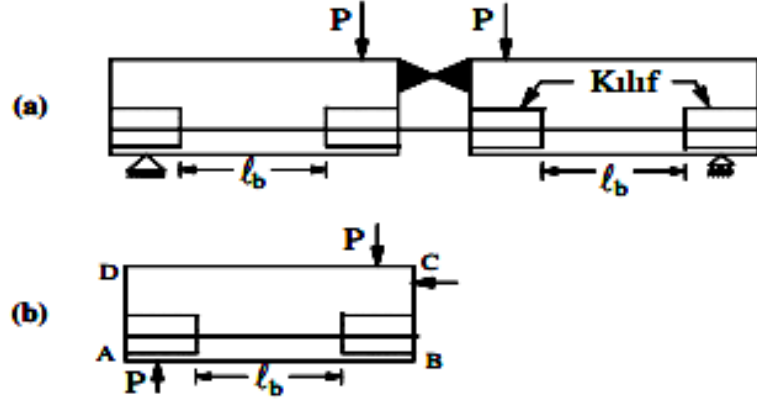
Bureau of Standards deneyine benzer şekilde kenetlenme boyunun incelendiği bu deney türünün sakıncası, donatının gerçekle bağdaşmayacak genişlikte bir beton kütleyle gömülmüş olmasıdır (Şekil 2.5). Bu kiriş tipinde de başlıca önemli olan, donatıyı örten betonu sınırlayabilecek olan mesnetin uyguladığı yerel basınç gerilmelerinin önlenmesidir. Böylece, yarıma göçmesinin önlenmesi ortadan kaldırılmaktadır.



Şekil 2.5 Teksas deneyi

### 2.3.1.2.3. Standard Belçika mafsallı kiriş deneyi

Donatı çubuklarının çekme durumundaki betonla sarılı olmalarını sağlayan bu tür bir deney elemanı ile gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilebilir. Kiriş ortasındaki mafsalın amacı, çubuğa etkiyen kuvvetin kesin olarak belirlenmesidir (Şekil 2.6). Denenen çubuklara etkiyen kuvvet, kirişe yüklenen P kuvveti ile orantılı olup, kademeli olarak arttırılmaktadır. Kademeler çubukta belirli çekme gerilmeleri oluşturmak üzere düzenlenmiştir.

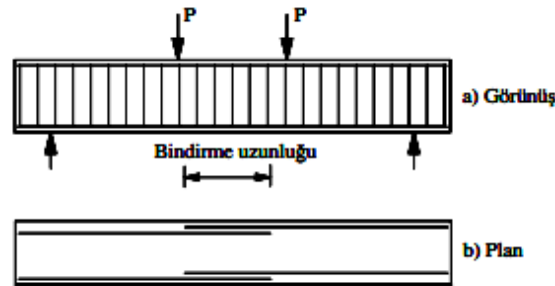


Şekil 2.6 Standard Belçika mafsallı kiriş deneyi

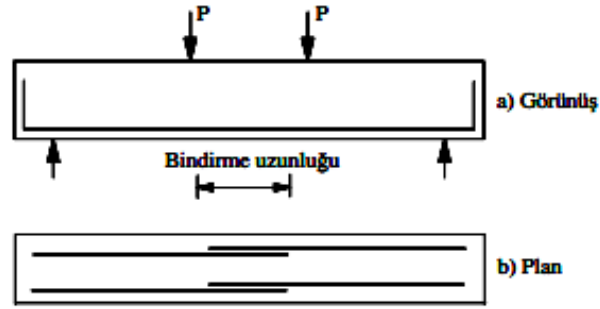
Şekil 2.6 (b)'deki serbest cisim diyagramından görüleceği gibi, bu deney elemanının yarısı, Şekil 2.3 (e)'de gösterilen eksantrik çekip-çıkarma deney numunesine benzemektedir. Ancak, O.D.T.Ü.' de yapılan deneyler, bu iki tür deney elemanından elde edilen sonuçların oldukça farklı olduğunu göstermiştir. Belçika deneyinde, mesnet ile yük uygulanan nokta arasındaki deplasman farkının, eksantrik çekip-çıkarma deneyine oranla çok fazla olması, iki deney türü arasındaki tek fark olduğundan, gözlenen dayanım farkı bu nedene bağlanmıştır. Daha sonra özel bir deney düzeni geliştirilerek, eksantrik çekip çıkarma deneyinde, Belçika deneyine yakın deplasmanlar verildiğinde, sonuçların birbirine yaklaştığı gözlenmiştir [14].

#### 2.3.1.2.4. Kiriş çatlama deneyi

Eğilme çekme çatlaklarının aderans davranışını etkilediği kabul edildiğinden beri, bu tür deneyler daha çok önem kazanmıştır. Bu deney tipinde, belirli bir türdeki donatının kullanılmasıyla oluşan kiriş çatlama durumunun incelenmesi ve donatıdaki gerilmenin tespiti esastır. Genellikle dikdörtgen kesitli olarak alınan bu betonarme deney kirişi, belli bir L açıklığında iki mesnete oturtulmaktadır. Yükleme, düşey, simetrik ve belli bir aralıkta olan iki tekil yük aracılığıyla yapılmaktadır. Yükleme esnasında, açıklık ortası sehim ölçümlerinin de yapılabilmesi bu deney türüne ayrı bir önem kazandırmaktadır. Bu deney türünde, test numunesinin büyük boyutlu olması ve dolayısıyla daha gerçekçi sonuçlara götürmesi oldukça önemlidir. Şekil 2.8'de görüldüğü gibi, çekme donatısı, sabit moment bölgesinde bindirmeli ekli olarak yerleştirilmektedir. Böylece nihai yükte, donatı akmadan önce, yarıma göçme modu ile numunenin göçmesi söz konusu olmaktadır. Bu durum ise, bindirmeli ekli donatıların maksimum kapasitesine ulaştığını göstermektedir. Dolayısıyla aderans dayanımı direkt olarak donatıda meydana gelen gerilmeden tayin edilebilmektedir [15]. Bu deney türü, pratikte karşılaşılabilecek ve aderans dayanımını etkileyen birçok faktörün (donatı çapı ve yüzey şekli, beton basınç mukavemeti, kenetlenme ve ekleme uzunlukları, beton örtü kalınlığı, çelik çubuğun betonlama esnasındaki konumu, enine donatı, yükleme durumu ve hızı v.b.), değişken parametre olarak incelenmesini sağlaması açısından büyük bir avantaja sahiptir. Diğer taraftan, donatı detaylandırması kapsamlı tutularak (etriye ve montaj donatısı) daha gerçeğe yakın bir kiriş davranışı amaçlanmıştır (Şekil 2.8)



Şekil 2.7 Etriye, montaj donatılı ve çekme donatısı ekli olarak yerleştirilmiş kiriş deneyi



Şekil 2.8 Çekme donatısı sabit moment bölgesinde bindirmeli ekli olarak yerleştirilmiş kiriş deneyi

### 2.3.2. Çatlama olayı

Betonun çekme altındaki kopma uzaması değerinin çeliğe göre çok düşük olması ( $\Sigma_{ek}=0.0001$ ) betonun, donatı çubuklarının şekil değiştirmesini belirli bir sınır gerilmeden sonra izleyememesi çatlama sonucunu doğurur. Aderansı geliştirilmiş yüksek mukavemetli çeliklerle donatılan yapılarda, servis yükleri altındaki çatlama rahatça gözlenebilecek bir düzeydedir. Donatı çubuğunun betona nervür kuvvetleri aracılığıyla tutunması kaymayı azalttığından, betonun, çeliğin uzamasını takip edememesinden ileri gelen çatlakların sayısı artar. Böylece çeliğin toplam uzaması ile betonun toplam uzaması arasındaki fark, az açılmış çok sayıda çatlama bölünmüş olur [16].

### 2.4. Literatür Çalışması

Baena ve arkadaşları (2009) yaptıkları çalışmada, ACI 440.3R-04 ve CSA S806-02 standartlarına göre hazırlanmış beton numuneler üzerinde direkt çekme yöntemi ile aderans dayanımını incelemişlerdir. Donatı olarak karbon lifli, cam lifli ve çelik donatı kullanılmıştır. Çalışmada sabit gömme uzunluğu ve farklı donatı çapları kullanılarak deneyler oluşturulmuştur. Çalışmada aderans-sıyrılma birlikteliği üzerinde, donatı yüzeyi, donatı çapı ve beton dayanımının etkisi incelenmiştir. Ayrıca deneysel çalışmaya ek olarak aderans sıyrılma ilişkisi analitik olarak da incelenmiş ve donatı çapına bağlı olarak yeni formüller ortaya çıkarılmıştır [17].

Erten (2009), tarafından hazırlanan yüksek lisans tez çalışmasında, mineral, kimyasal, fiber gibi katkıların ilavesiyle beton-donatı arasındaki aderansın nasıl değiştiği incelemiştir. İlave edilen katkılar, beton ve donatı özelliklerinden bahsedilmiştir. Ayrıca aderansın önemi üzerinde durulmuştur. Aderans deneyleri, 15x15x60 cm boyutlardaki 28 günlük prizmatik beton numuneler içerisine gömülü olan 14mm (Ø14) çapındaki düz ve 18mm (Ø18) çapındaki nervürlü donatılar üzerinde çekip çıkarma deneyleri yapılarak belirlenmiştir. Ortaya çıkan bulgular, bulanık mantık (Fuzzy Logic) ve veri madenciliği (Data Mining) yöntemleri ile modellenmiştir. Çalışma sonucunda, betonun basınç dayanımıyla birlikte aderans dayanımının da arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, modelleme ile deneysel verilerin birbirine çok yakın olduğu belirlenmiştir. Çalışmada, aynı zamanda mineral, kimyasal, fiber katkıların ilavesiyle beton-donatı arasındaki aderansın nasıl değiştiği de incelenmiştir [18].

(Akkaş, Alpaslan, Başığit, & Arabacı, 2010) tarafından yapılan deneysel çalışmada normal dayanımlı beton ile aynı karışıma çimento ağırlığının % 6 oranında polimer ilave edilerek polipropilen lifli yarı hafif beton numuneler üretilmiştir. Numuneler basınç dayanımı deneyi yapılarak 7 ile 28 günlük dayanımları tespit edilmiştir. Yük altında lifli numunelerin çatlaklar oluşmasına rağmen yük taşıdığı gözlenmiştir.

(Karahana, 2006) betona uçucu kül, PP ve çelik lif katılması sonucu numunelerin bazı özellikleri araştırmak istemiştir. Numunelere 19 mm uzunluğunda, hacimce % 0,05 - % 0,1 - % 0,2 oranlarında PP lif ilave edilmiştir. Basınç dayanımında PP liflerin pek etki etmediği çelik liflerin ise basınç dayanımını artırdığı gözlenmiştir. PP betona süneklik kazandırdığı belirtilmiştir.

(Tokyay, Ramyar, & Turanlı, 1991) tarafından yapılan çalışmada PP lifli ve çelik lifli betonların basınç ve eğilme yükleri altındaki davranışları incelenmiştir. S/Ç oranı 0,25 ve PP lif 1 kg/m<sup>3</sup> ve hacimce % 1,5 oranında çelik lif kullanılmıştır. Çalışma sonucunda her iki lif tipinin de çekme dayanımını artırdığını, basınç değerlerinde ise PP lifli numunelerin çok az oranda azalmakla beraber kontrol numunelerine çok yakın değerler de olduğu tespit edilmiştir.



(Sümer & Sarıbyık, 2013) Silis dumanı ve polipropilen lif kullanımı katkı içeriğine bağlı olarak şahit numunelerine nazaran basınç dayanımında %23 ile %44 arasında artış sağlamıştır. % 10 silis dumanına % 0,1 ve %0,5 oranında katılan polipropilen lifler basınç dayanımını arttırmış fakat %1 polipropilen lif oranında artan lif hacimleri ile beton basınç dayanımını azaltma eğiliminde olduğu görülmüştür.

(Song, Hwang, & Sheu, 2005) yaptıkları çalışmada betona PP lif ilave edip özelliklerini incelemişlerdir. Bir m<sup>3</sup> te 600 g olacak şekilde PP lifi kullanmışlardır. Bu ekleme sonucunda basınç, darbe, yarmada çekme dayanımının arttığı, çökme değerinin azaldığı sonucuna ulaşmışlardır.

(Bahadır, 2010) yaptığı çalışmada PP liflerin betonun mekanik özelliklerine etkisini araştırmıştır. S/Ç olarak 0/4 - 0/5 - 0/6 olmak üzere üç farklı oran kullanılmıştır. Karışımlara 0,9 - 1,8 kg/m<sup>3</sup> oranlarında PP lif eklenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda PP liflerin betonun çekme dayanımını önemli ölçüde arttırdığı, beton boşluk oranını azalttığı ve betonun dayanıklılığına katkıda bulunduğu belirlenmiştir.

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde deney için kullanılan agrega, çimento, su, katkı malzemesi, donatı ve fiber katkı malzemelerinin özellikleri, deney düzenek bilgileri ile yapılan beton basınç ve çelik çubuk çekme deneyleri verilmektedir.

#### 3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Deneylerde kullanılan malzemelerin teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

##### 3.1.1. Çimento

Çimento, bileşenleri kalker ve kil olan mineral parçalarını (kum, çakıl, tuğla, briket vb.) yapıştırmada kullanılan bir malzemedir. Çimentonun yapıştırıcı özelliğinin aktif olabilmesi için suya ihtiyaç vardır. Çimento, su ile reaksiyona girerek sertleşen bir bağlayıcıdır. Çimento birçok beton karışımında hacimce en küçük yeri işgal eden bileşen olmasına rağmen beton bileşenleri içinde en önemlisidir [19].

Deneylerde kullanılan çimento 42,5 R olup, fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1 Kullanılan çimentonun özellikleri

##### **Fiziksel Özellikler**

Özgül Yüzey (Blaine)	3718 cm <sup>2</sup> /g
Özgül Ağırlık	3,15 g/cm <sup>3</sup>
Priz başlangıcı	167 dakika
Priz sonu	213 dakika

##### **Mekanik Özellikler**

Basınç dayanımı (2.gün)	27,9 MPa
Basınç dayanımı (28.gün)	58,9 MPa

##### **Kimyasal Özellikler**

Cl-	0,0082%
SO <sub>3</sub>	2,57%
Çözünmeyen kalıntı	0,78%
Kızdırma kaybı	1,45%

### 3.1.2. Agregalar

Üretilen karışımlarda kum, kırma taş-I ve kırma taş - II olmak üzere 3 tip agrega kullanılmıştır. Beton bileşimlerinde agrega granülometrisi sabit tutulmuştur. Agregaların fiziksel özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. 1 m<sup>3</sup> Beton karışımı için kullanılan agregaların özellikleri

Malzeme	Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Kullanılan miktar (kg)	Karışım oranları (%)	Su emme yüzdesi (%)
0/4 mm agrega	2,64	1217	61,75	1,6
4/11 mm Kırma taş-I agrega	2,77	278	14,10	0,8
11/22 mm Kırma taş-II agrega	2,71	476	24,15	0,8

### 3.1.3 Yüksek performanslı süper akışkanlaştırıcı

Süper akışkanlaştırıcılar, ayrışma riski olmaksızın betonun işlenebilmesini artırır ve daha kolay yerleşmesini sağlar, vibrasyon süresini kısaltır. Buhar kürü ihtiyacını oldukça azaltır, ekonomi sağlarlar.

Su miktarını %20’nin üzerinde azaltır. Azaltılmış su içeriği ve düşük geçirimsizlik sayesinde betonun dona ve suya karşı direncini artırır.

Numunelerin üretiminde kullanılan akışkanlaştırıcı kimyasal malzemesi Sikament-300 olup, fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.3’te verilmiştir [20].

Çizelge 3.3 Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı malzemesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özgül ağırlık	Klorür iyon içeriği	Alkali içeriği
1,21-1,25 kg/l	0,1 %	max 6 %

### 3.1.4. Polipropilen (PP) lifler

Polipropilen lifler, taze betonun rötre ve büzülme çatlaklarını önemli ölçüde azaltır. Mikro çatlakların azalmasına sebep olduğu için betonun su geçirgenliğini azaltarak betonun donma ve çözünmeye karşı dayanımını attırarak, donatının korozyonunu geciktirmeye yardımcı olmaktadır.

Karışımlarda kullanılan PP liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4 PP liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri

TEKNİK ÖZELLİKLERİ	
Görünüş	Şeffaf beyaz lif
Yoğunluk	~0,91kg/lit
Çekme dayanımı	500-700 N/mm <sup>2</sup>
Elastisite formülü	2000-2800 N/mm <sup>2</sup>
Alkali reaksiyonu	Durağan
Asit reaksiyonu	Durağan
Nem alma	% 70 nem ve 21°C <% 0,10
Sıcaklık dayanımı	+165 °C'de erime
Uzama	% 25
Parlama noktası	>239 °C

### 3.1.5. Cam elyaf

Alkali dayanımlı cam elyafı, betonda oluşan çatlakların ani olarak yayılmasını engelleyerek, beton dayanımının artışı sağlar. Cam elyafın teknik özellikleri çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5 Cam elyaf liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri

Teknik Özellikler	
Eğilme Maksimum Mukavemet (Mpa)	10- 14
Eğilme Elastikiyet Sınırı (Mpa)	5-8
Gerilme Maksimum Mukavemet (Mpa)	4-7
Gerilme Elastikiyet Sınırı (Mpa)	4-6
Kayma Mukavemeti (Mpa)	N.A
Düzlemiçi Kayma Mukavemeti (Mpa)	4-7
Basınç Mukavemeti (Mpa)	40-60
Darbe Dayanımı (KJ/ m <sup>2</sup> )	10-5
Elastic Modulus (Gpa)	10-20
Kopma Uzaması %	0,1-0,2
Kuru Yoğunluk (Ton/ m <sup>3</sup> )	1,8-2,0

### 3.1.6 Karbon elyaf

Karbon elyafın Teknik özellikleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 3.6 Karbon fiberin özellikleri

Çekme Dayanımı	3,43 GPa
Elastisite Modülü	230GPa
Kopmada Uzama	% 1,5
Elektrik Direnci	$1,6 \times 10^{-5} \Omega m$
Yoğunluk	1,82 gr/cm <sup>3</sup>

### 3.1.7. Karışım suyu

Beton üretiminde kullanılan karışım suyunun iki önemli işlevi olduğu söylenebilir. Birincisi, kuru haldeki çimento ve agregayı, işlenebilir bir kompozit haline getirmektir. İkincisi ise, çimento ile kimyasal reaksiyon yaparak plastik kütleinin sertleşmesini sağlamaktır.

Deneyleerde kullanılan karışım suyu, içilebilir olan Karatay Üniversitesiinden temin edilen şehir şebekesinin suyudur.

### 3.1.8. Çekme donatısı

Deneyleerde uzunluğu 110 cm olan Ø10 çapında nervürlü çelik çubuklar kullanılmıştır. Mekanik özellikleri Çizelge 3.7’de verilmiştir. [21]

Çizelge 3.7 Kullanılan çelik donatıların özellikleri

#### **S420 Nervürlü çeliğin özellikleri**

Çekme dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	500
Akma dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	420
Minimum kopma uzaması (%)	10

#### **Ø10 Çelik çubuğun özellikleri**

Çap (mm)	10
Alan (cm <sup>2</sup> )	0,785
Birim ağırlık (kg/m)	0,617
Hacim (m <sup>3</sup> )	0,098

### 3.2. Deneysel Çalışmanın Amacı ve İçeriği

Bu tez çalışmasında su/çimento oranı aynı beton reçetelerine eklenen farklı oranlardaki polipropilen elyaf, cam elyaf ve karbon elyaf fiber katkı malzemelerinin beton dayanımına etkisi ve farklı aderans boylarındaki donatı çubuklarının beton ile arasındaki çekme/sıyrılma dayanımına etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu doğrultuda 60 adet beton numunesi hazırlanarak beton basınç deneyine, 90 adet beton numunesi hazırlanarak da çelik çubuk çekme deneyine tabi tutulmuştur.

### 3.2.1. Beton karışımları ve numune kodları

Yapılan deneylerde aynı reçeteye sahip beton numuneleri üretilmiştir. Bu numunelere hacimsel olarak % 0,25, % 0,5 ve % 1 oranlarında katkı malzemesi olarak PP, cam ve karbon lifleri eklenmiştir. Örnek olarak bir m<sup>3</sup> karışım için hacim olarak % 0,25 lif bulunan karışım için 2,275 kg lif kullanılmıştır.

Hazırlanan karışım için numune kodlaması yapılırken karışım K1 ile gösterilmiştir. Lif içeriklerine göre kodlama yapılırken ise içerdiği polipropilen elyaf yüzde oranına göre; %0,25 için “PP25”, %0,50 için “PP50” ve %1 için ise “PP100”, cam elyaf yüzde oranına göre; %0,25 için “CM25”, %0,50 için “CM50” ve %1 için ise “CM100”, karbon elyaf yüzde oranına göre; %0,25 için “KN25”, %0,50 için “KN50” ve %1 için ise “KN100” ifadeleri kullanılmıştır. Örneğin % 0,25 KN katılan karışım için K1KN25 ismi kullanılmıştır. Elyaf katkısı katılmayan numuneler ise katkısız olarak adlandırılmıştır. Numune karışım kodları ve içerikleri Çizelge 3.8’de verilmiştir.

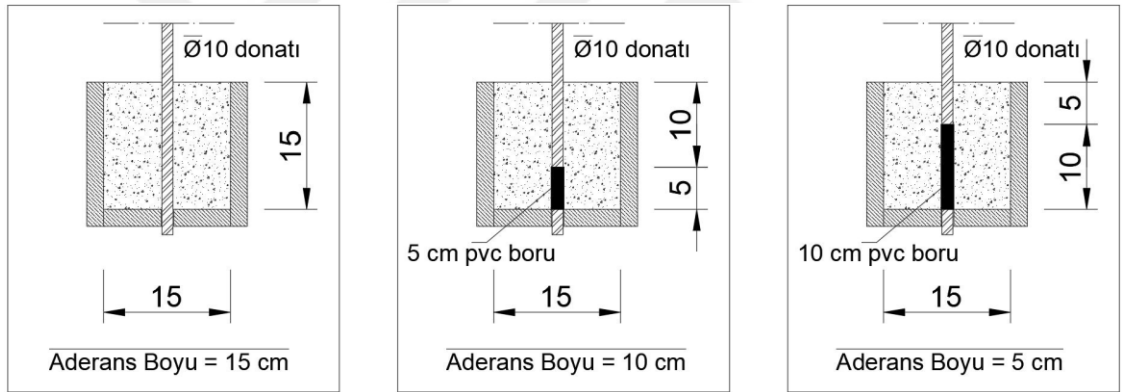
Çizelge 3.8 Beton karışım bileşenleri

Kullanılan malzeme	Birim	Miktar
Çimento	kg/m <sup>3</sup>	250
Su	kg/m <sup>3</sup>	175
0-4 mm Agrega	kg/m <sup>3</sup>	1217
4-11mm Agrega	kg/m <sup>3</sup>	278
11-22mm Agrega	kg/m <sup>3</sup>	476
Süper akışkanlaştırıcı	kg/m <sup>3</sup>	0,175
Su/çimento	%	0,7

### 3.2.2. Beton numune kalıplarının hazırlanması

Çelik donatı ve beton arasındaki aderans etkilerinin incelenmesi için içerisine donatı çubuklarının yerleştirilebileceği boyutları 15x15x15 cm beton numuneleri oluşturacak şekilde kalıplar hazırlandı. Farklı aderans uzunluklarında davranışların incelenmesi için Şekil 3.1'deki gibi donatı çubukların betonla temas yüzeyleri, plastik elektrik boruları yardımıyla 5 cm, 10 cm ve 15 cm olacak şekilde bir düzenek hazırlanmıştır.

Basınç deneyleri için ise yine aynı ölçülerde donatısız beton numuneleri hazırlanmıştır.

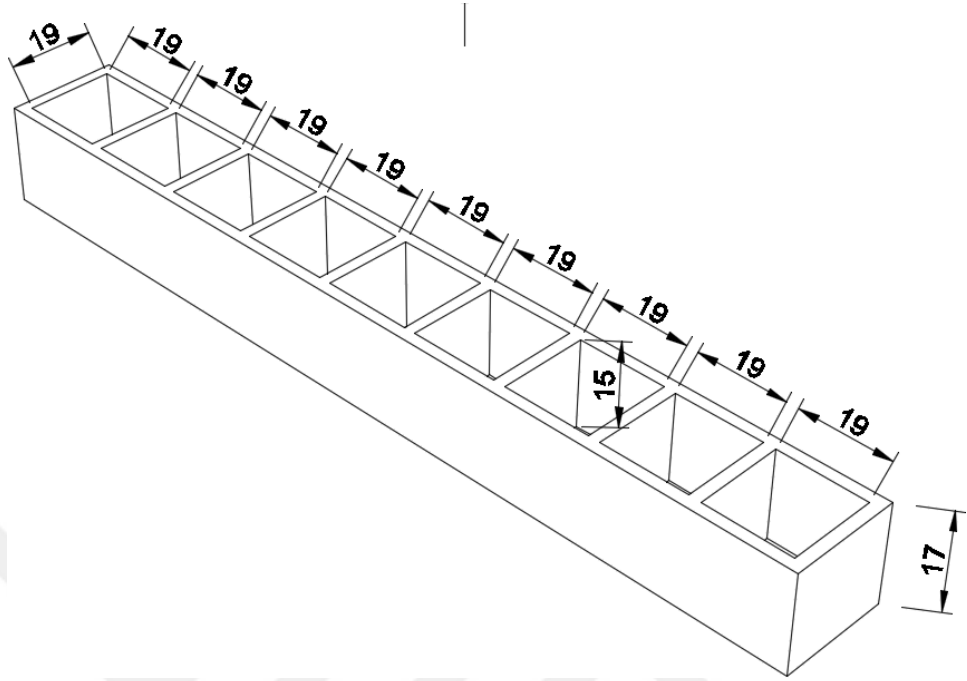


Şekil 3.1 Donatı çubukları aderans boyu yerleşimi

Hazırlanacak numunelerin içerisine donatı çeliği yerleştirilebilmesi için Şekil 3.2'deki gibi plywood malzemeden dokuzar numunelik kalıplar hazırlanmıştır.

Numunelerin kalıplardan hasarsız çıkarılabilmesi için XPS köpük kullanılmıştır. Bu köpüklerin kalınlıkları da hesaplanarak hazneler en\*boy\*yükseklik/19\*19\*15cm olacak şekilde yapılmıştır. Oluşturulan bu haznelerin tabanlarına donatının geçebileceği çapta delikler açılmıştır. Oluşturulan bu dokuz hazneden 3 tanesi 5 cm, 3 tanesi 10 cm ve 3 tanesi de 15 cm aderans sağlayacak şekilde donatılara 5 cm ve 10 cm boyunda plastik borular takılıp, beton dökümüne hazır hale getirilmiştir.





Şekil 3.2 Numune kalıpları

Her bir katkı cinsi ve katkısız olarak üretilen beton numunelerinin sayıları aşağıdaki tablolarda belirtilmiştir.

Çizelge 3.9 PP Katkılı Numune Sayıları

Aderans Boyu	Polipropilen Yüzdesi		
	% 0.25	% 0.50	% 1.00
5 cm	3	3	3
10 cm	3	3	3
15 cm	3	3	3
TOPLAM	27 adet		

Çizelge 3.10 Cam Elyaf Katkılı Numune Sayıları

Aderans Boyu	Cam Elyaf Yüzdesi		
	% 0.25	% 0.50	% 1.00
5 cm	3	3	3
10 cm	3	3	3
15 cm	3	3	3
TOPLAM	27 adet		

Çizelge 3.11 Karbon Elyaf Katkılı Numune Sayıları

Aderans Boyu	Karbon Elyaf Yüzdesi		
	% 0.25	% 0.50	% 1.00
5 cm	3	3	3
10 cm	3	3	3
15 cm	3	3	3
TOPLAM	27 adet		

Çizelge 3.12 Katkısız Numune Sayıları

Aderans Boyu	Katkısız
5 cm	3
10 cm	3
15 cm	3
Donatısız	6
TOPLAM	15 adet

Çizelge 3.13 Beton Basınç Dayanımı Deneyi İçin Fiber Katkılı Numune Sayıları

Katkı Cinsi	Katkı Yüzdesi		
	% 0.25	% 0.50	% 1.00
PP Katkılı	6	6	6
Cam Elyaf Katkılı	6	6	6
Karbon Elyaf Katkılı	6	6	6
TOPLAM	54 adet		

### 3.2.3 Beton karışımlarının hazırlanması

Beton karışımları Çizelge 3.8'deki beton reçetesi Şekil 3.3' teki hassas dijital terazi kullanılarak tartılmış ve Şekil 3.4'deki betoniyer yardımıyla beton karışımları hazırlanmıştır.



Şekil 3.3 Hassas terazi



Şekil 3.4 Betoniyerle katkıli beton karışımı hazırlanması

### 3.2.4. Taze beton deneyleri

Taze beton hazırlandıktan sonra işlenebilirliği ve kıvamı hakkında bilgi sahibi olabilmek için Şekil 3.5'te görüldüğü gibi slump deneyleri uygulanmıştır. Çökme miktarı TS EN 12350-2'ye göre belirlenmiştir.



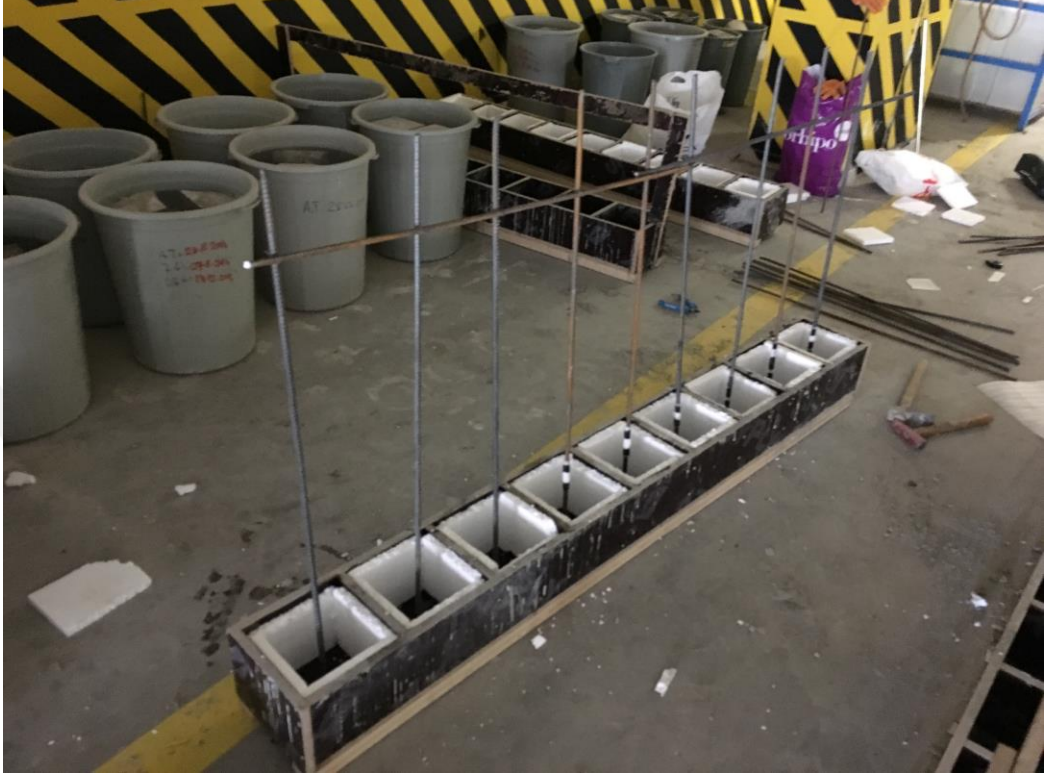
Şekil 3.5 Slump deneyleri

Slump deneyi sonuçları Çizelge 3.14'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.14. Slump deneyi sonuçları

Numune Kodları	Çökme (cm)	Yayıma (cm)
K1	24	34
K1PP25	9	29
K1PP50	5	26
K1PP100	2	23
K1CM25	6	28
K1CM50	3	25
K1CM100	1	21
K1KN25	4	27
K1KN50	3	25
K1KN100	1	21

Hazırlanan beton gerekli miktarda şişlemeye tabi tutularak kalıplara dökülmüştür.



Şekil 3.6 Beton kalıpları

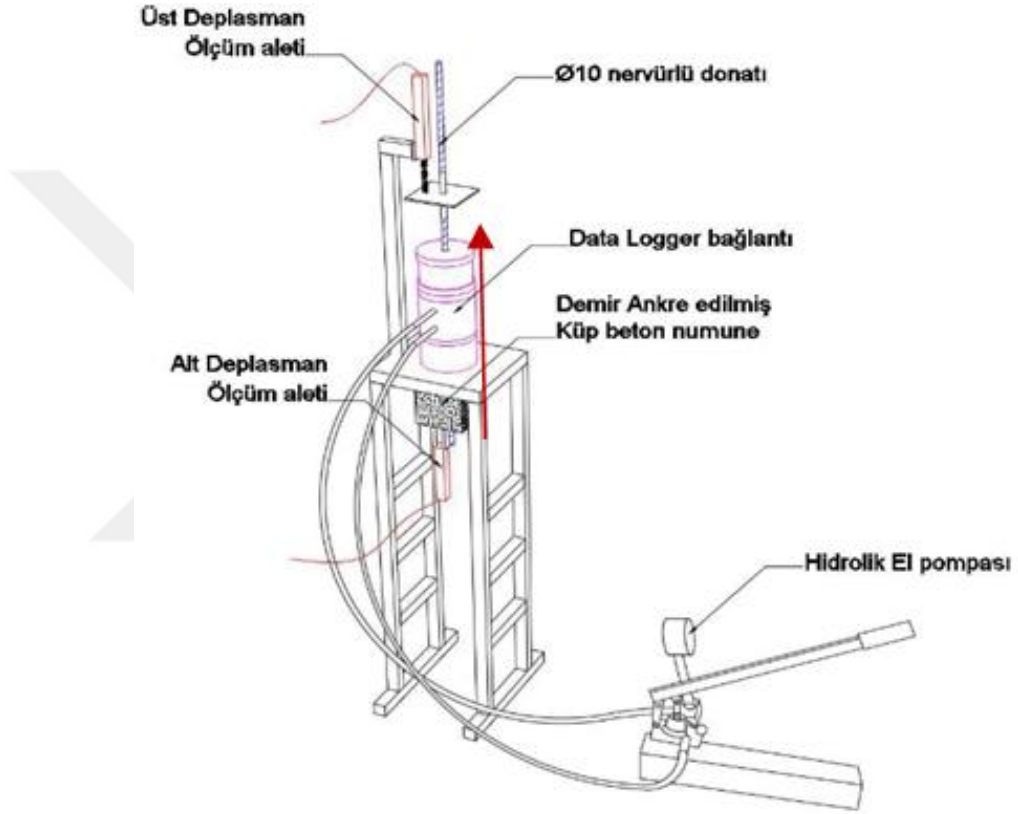


Şekil 3.7 Numunelerin saklanması

Numuneler kalıplara yerleştirildiği günü takip eden gün kalıplardan çıkartılıp ve deney yapılacak güne kadar Şekil 3.7'deki gibi sıcaklık kontrollü ve sirkülasyonlu kür havuzlarında beklemeye alındı. En az 28 gün bekletilen numuneler havuzdan çıkartılarak deneye tabi tutulmuştur.

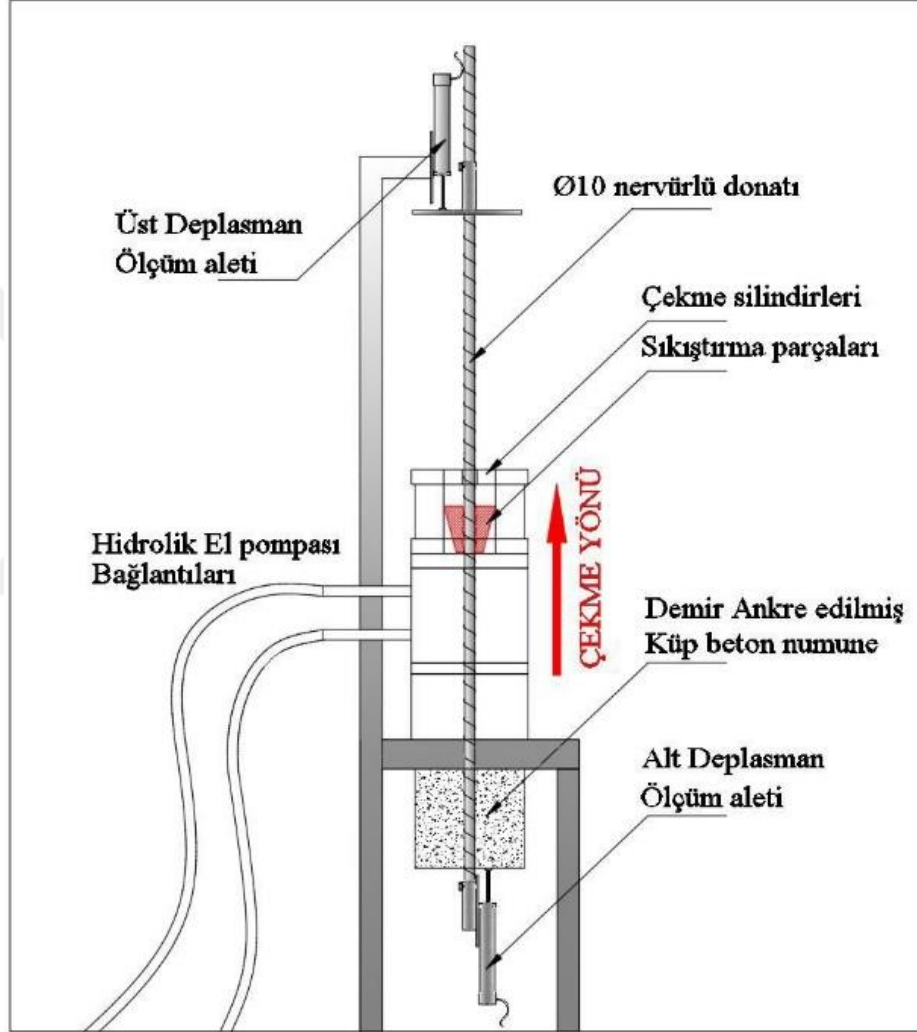
### 3.2.5. Çelik çubuk çekme deneyi düzeneği

İçerisinde donatı olan 15x15x15 cm boyutlarındaki farklı karışım oranlarında imal edilen beton numunelerin içerisindeki donatı çubuğu, Şekil 3.8'deki düzenek yardımıyla yukarı yönlü çekme işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.8 Çelik çubuk çekme deneyi düzeneği

Çelik çubuk çekme deneyi için ortası boşluklu hidrolik silindir imal edilmiştir. Şekil 3.9'da gösterilen silindirin içerisine donatının sistemle beraber hareket edebilmesi için sıkıştırma parçaları üretilmiştir. Sisteme manuel el pompası ile çekme yükü uygulanmıştır.



Şekil 3.9 Çekme deneyi düzeneği çalışma şekli

Deneysel çalışma sırasında, öncelikle donatı ankrajlı küp numuneler, aparatlar yardımı ile deney çerçevesine tespit ettirildi. Donatı deplasman değerleri gözlemek amacıyla maksimum 100 mm ölçüm yapabilen potansiyometrik cetveller kullanılmıştır.

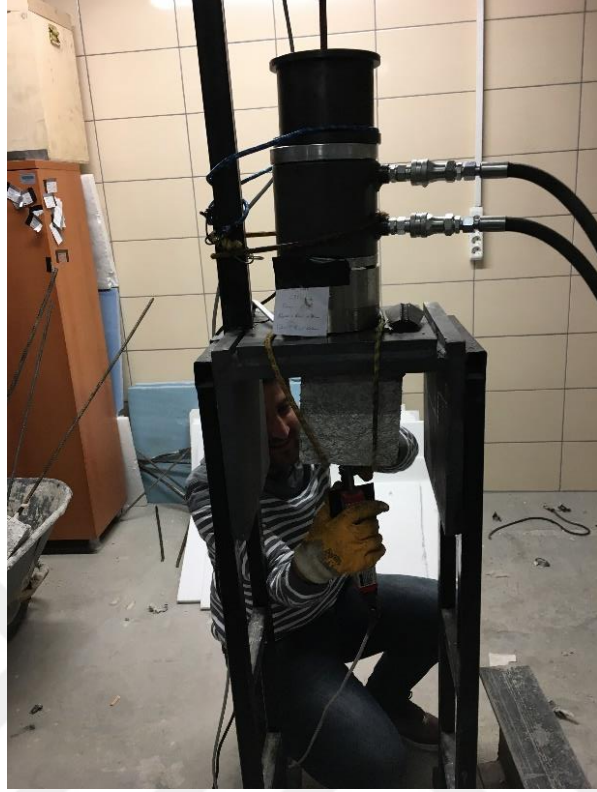


Şekil 3.10’da gösterildiği gibi deney öncesinde potansiyometrik cetveller donatının açıkta kalan üst ve alt bölgelerine sabitlendi. Data logger bağlantısı olan cetveller ve hidrolik el pompası değerleri sıfırlandı.



Şekil 3.10 Potansiyometrik cetvellerin ayarlanması

Hidrolik el pompası yardımıyla sisteme yük verilerek betonun içerisinden donatı çubuğu çekip çıkarılmaya (pull-out) çalışıldı. Yük verilme işlemi yükün numune üzerinde taşınabildiği nihai değere kadar devam edildi. Deneysel çalışmalarda elde edilen deneysel değerler (çekme kuvvetleri ve deplasman değerleri) tespit edilerek kayıt edildi. Şekil 3.11’deki gibi Numunelerin alt ve üst tarafına yerleştirilen potansiyometrik lineer cetvellerden okunan alt ve üst deplasman değerleri data logger cihazıyla kaydedilmiştir. Deney sonrası bazı numunelere ait görüntüler Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.11 Çekme deneyinin uygulanması



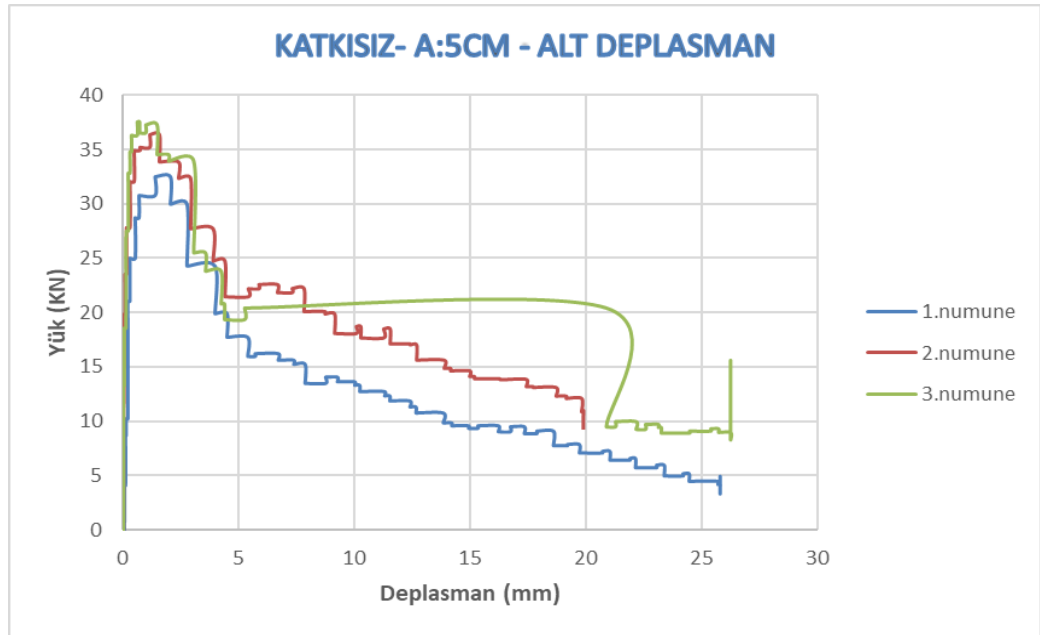
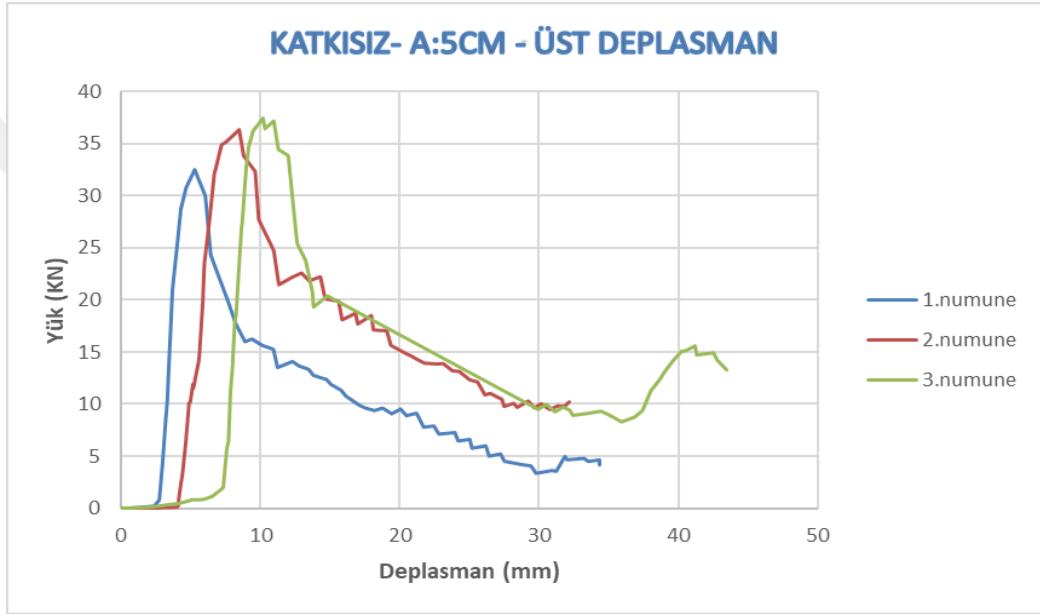


Şekil 3.12 Çekme deneyi uygulanmış numuneler

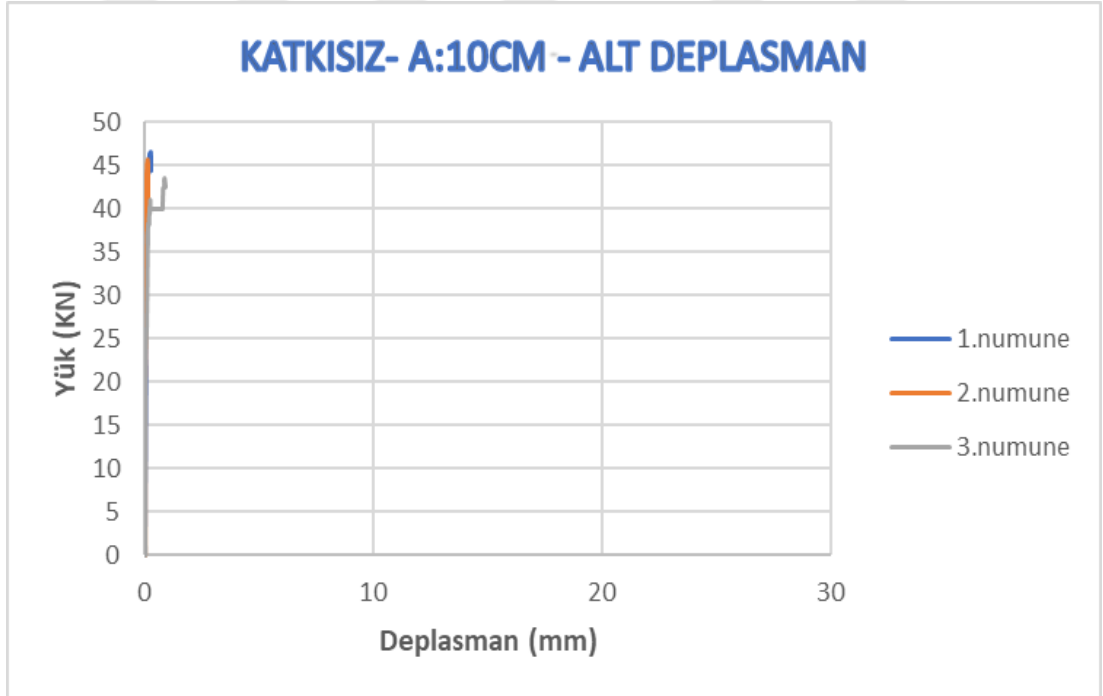
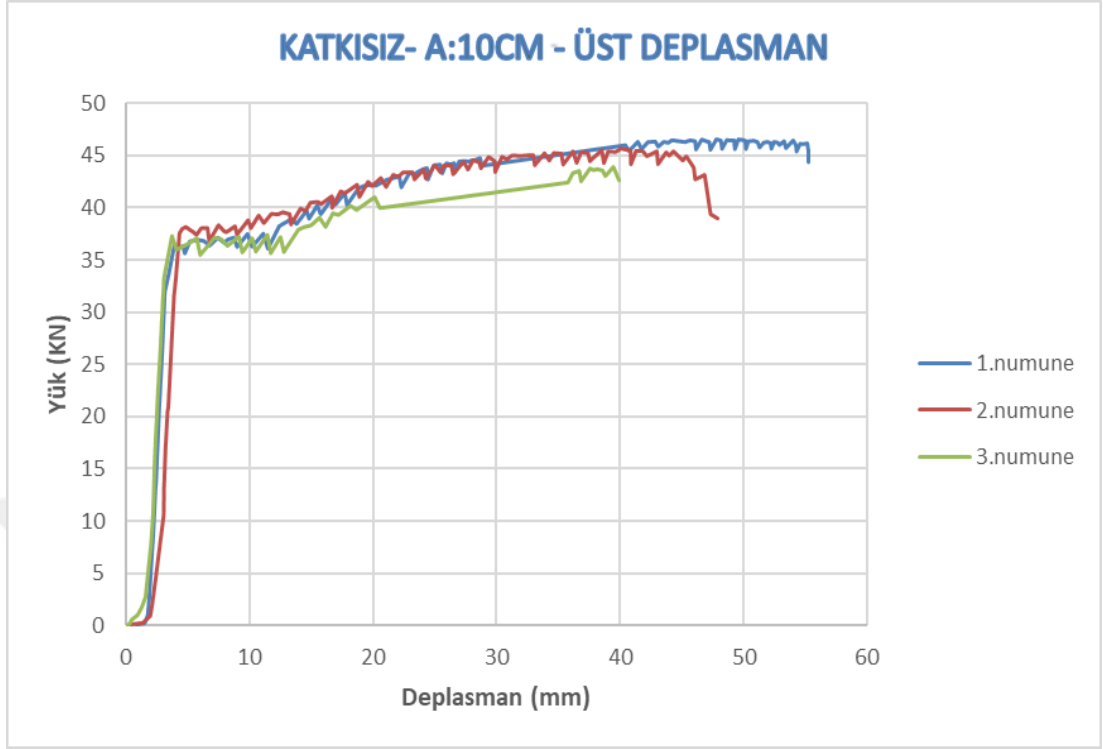
## 4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Çekip Çıkarma Deneyi Sonuçları

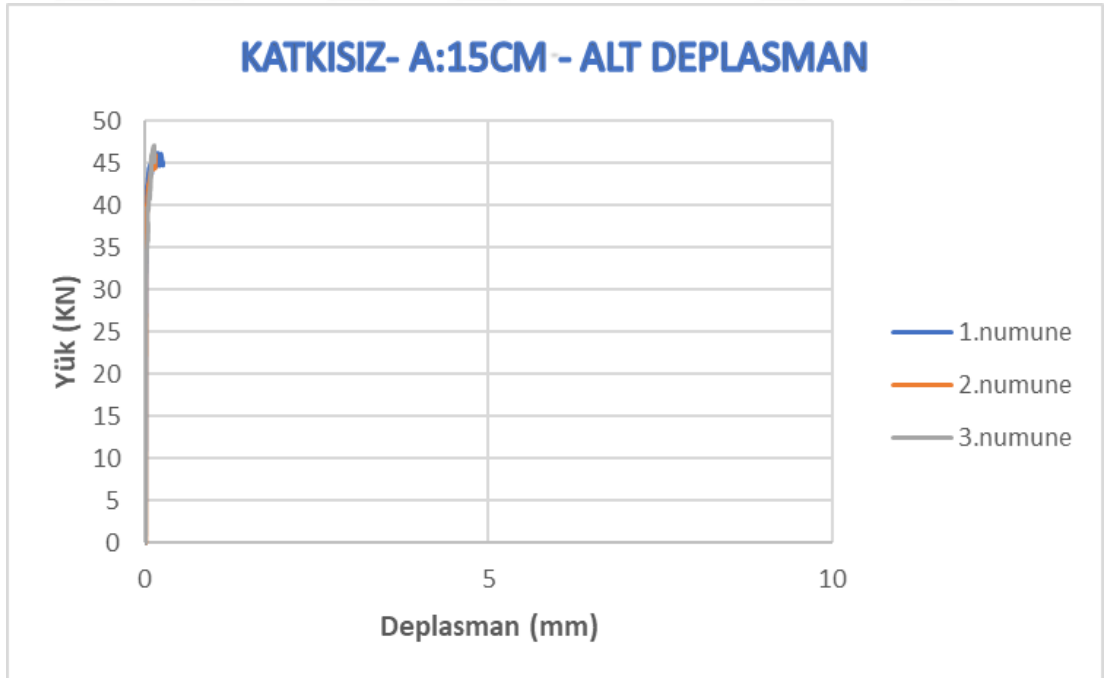
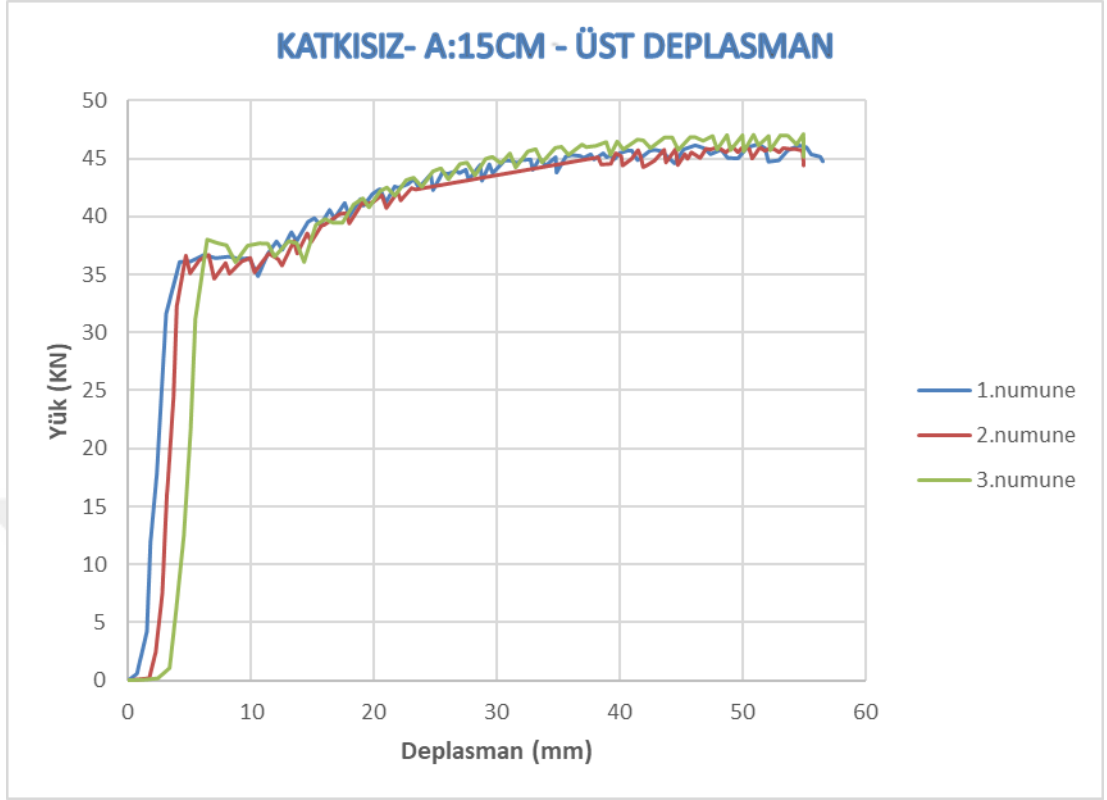
Deney numunelerine ait elde edilen yük/alt deplasman ve yük/üst deplasman grafikleri oluşturulmuş ve aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



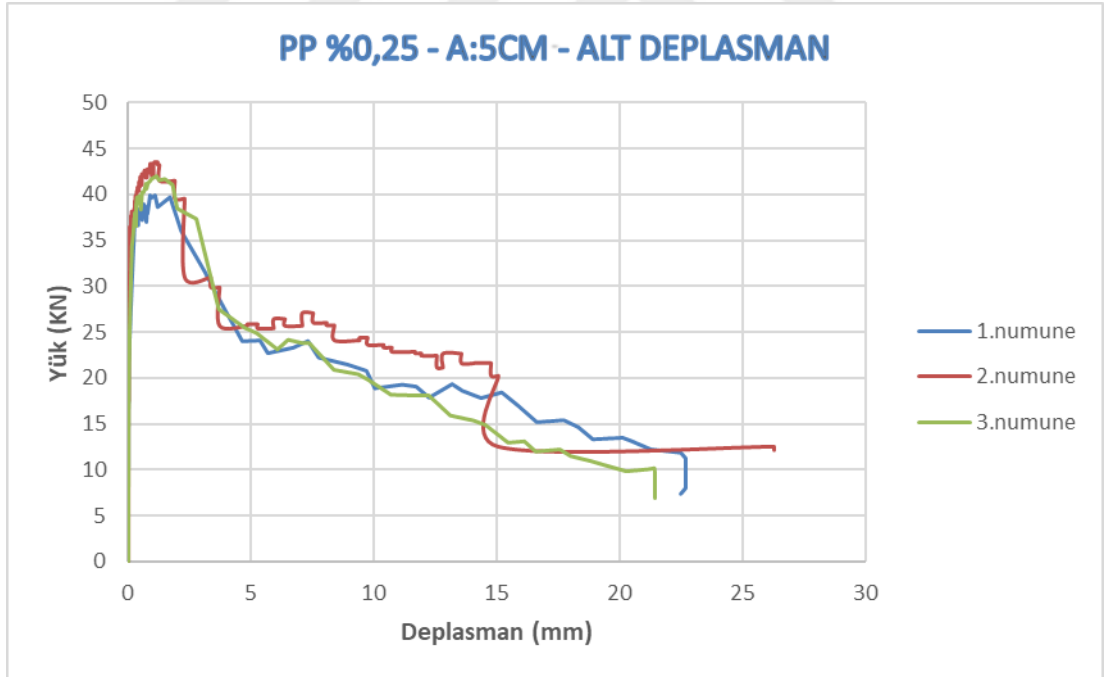
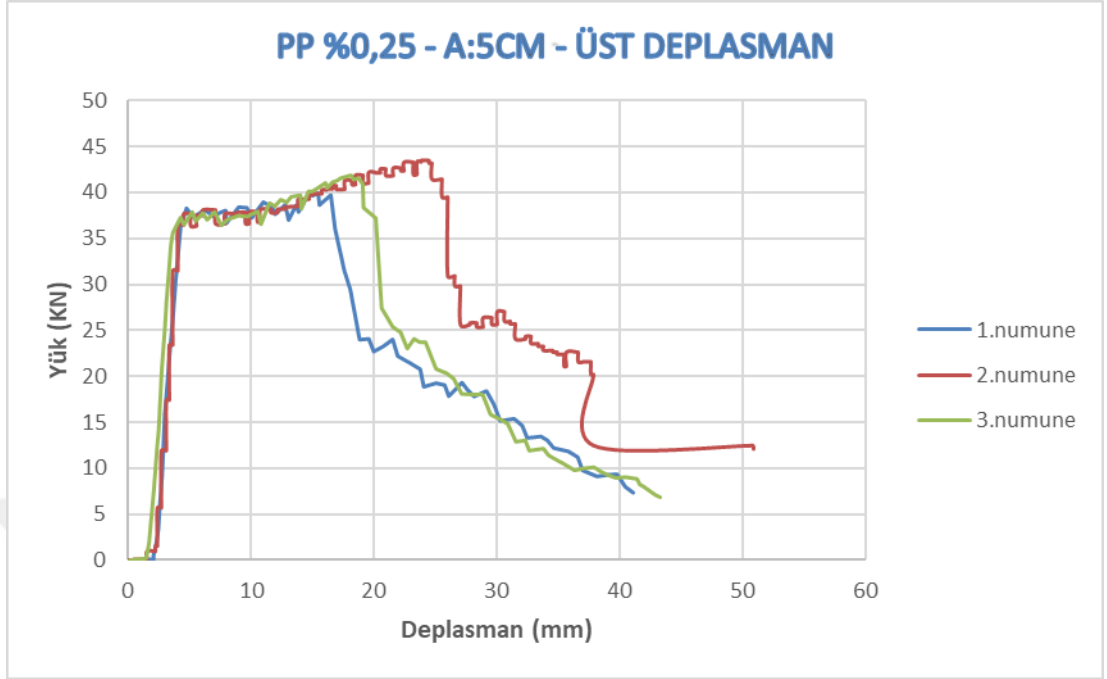
Şekil 4.1 Katkısız, A:5cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri



Şekil 4.2 Katkısız, A:10cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri

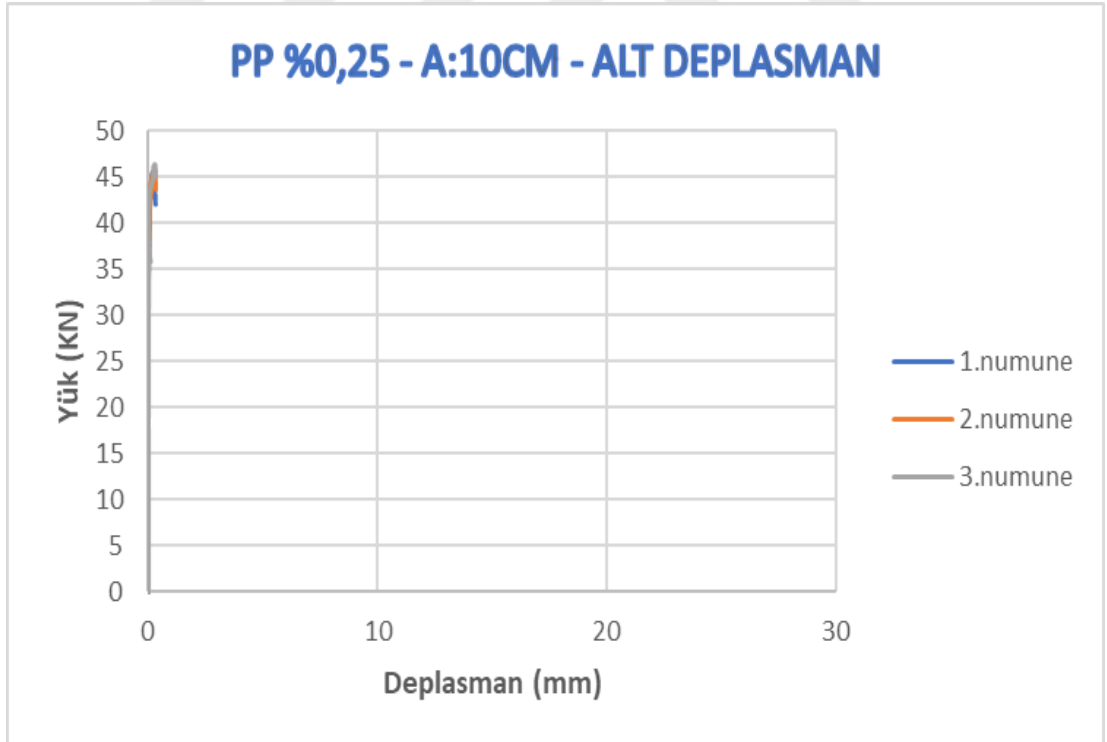
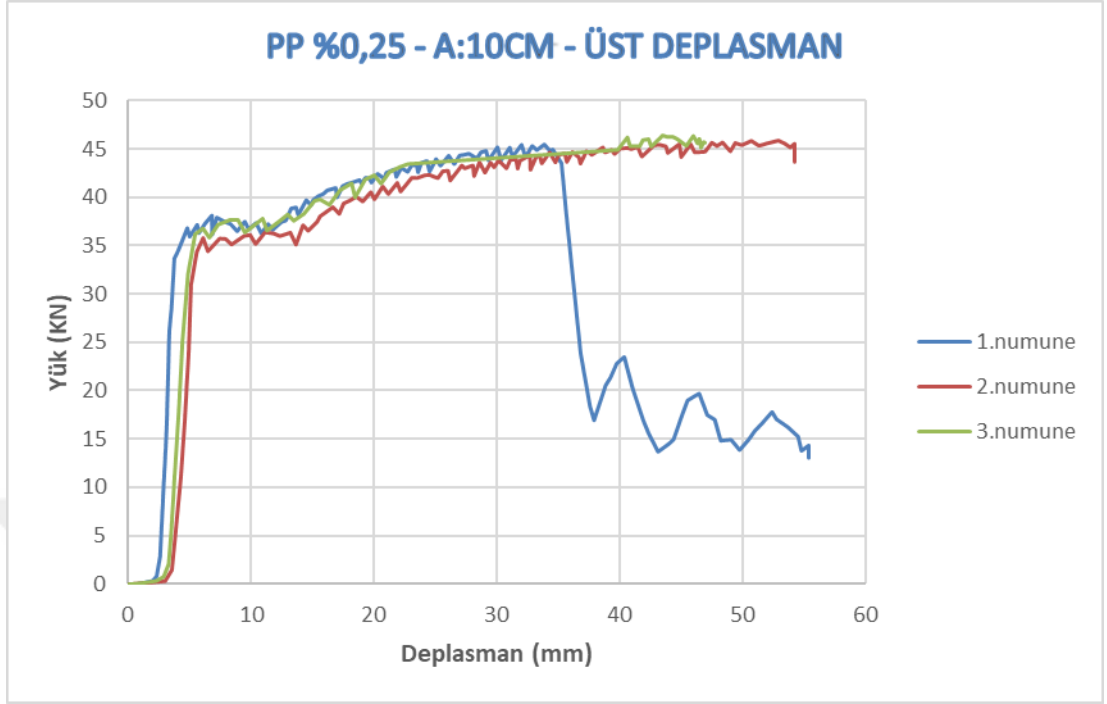


Şekil 4.3 Katkısız, A:15cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri

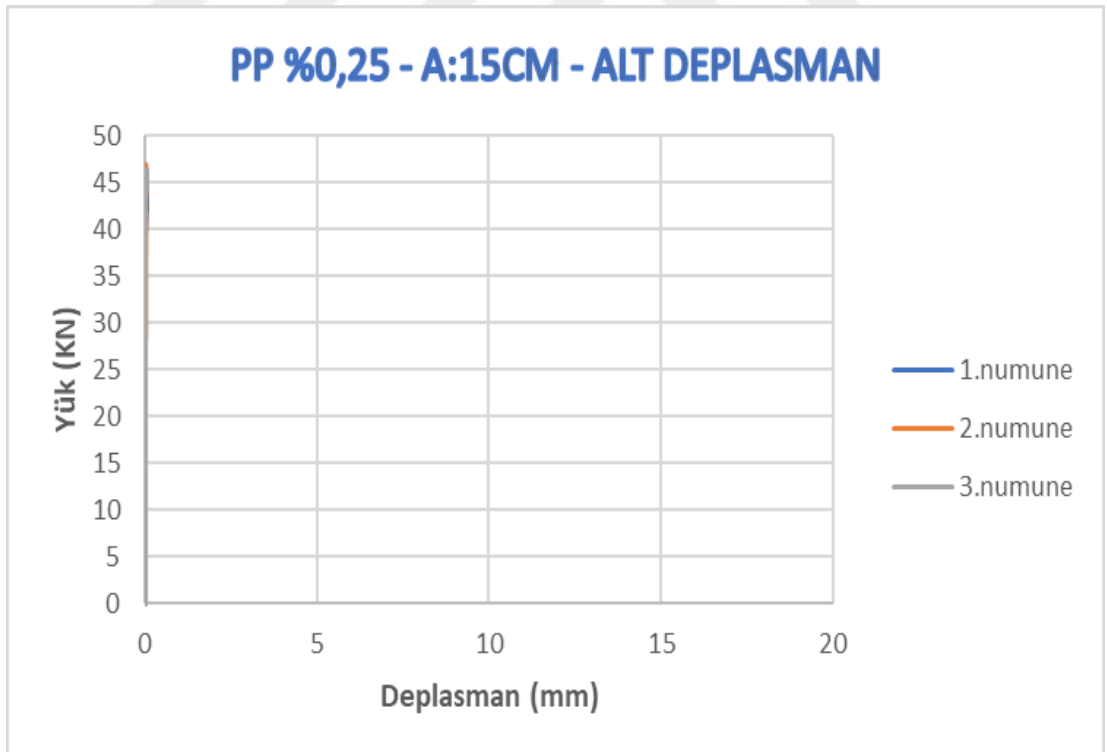
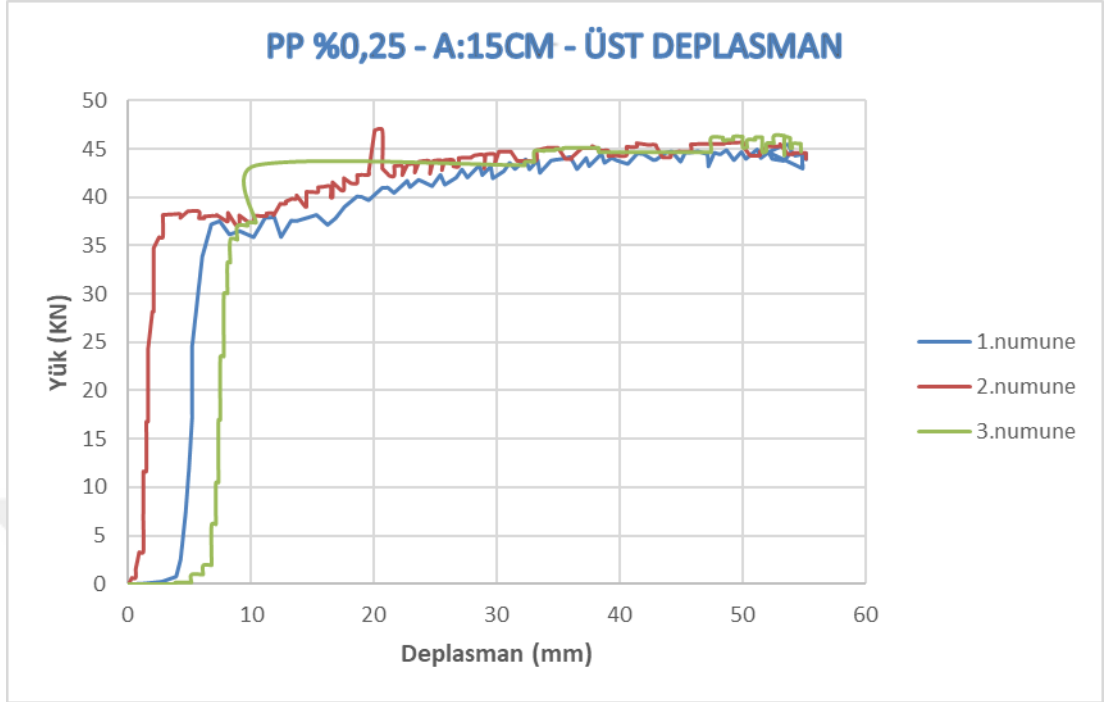


Şekil 4.4 PP %0,25, A:5cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri

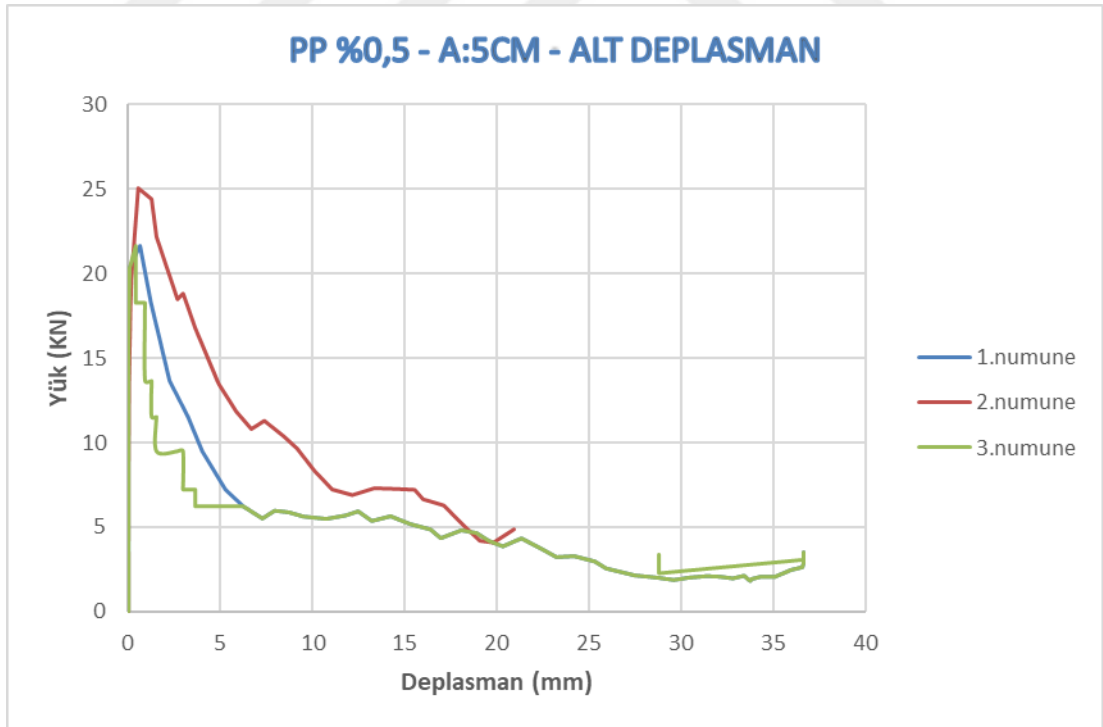
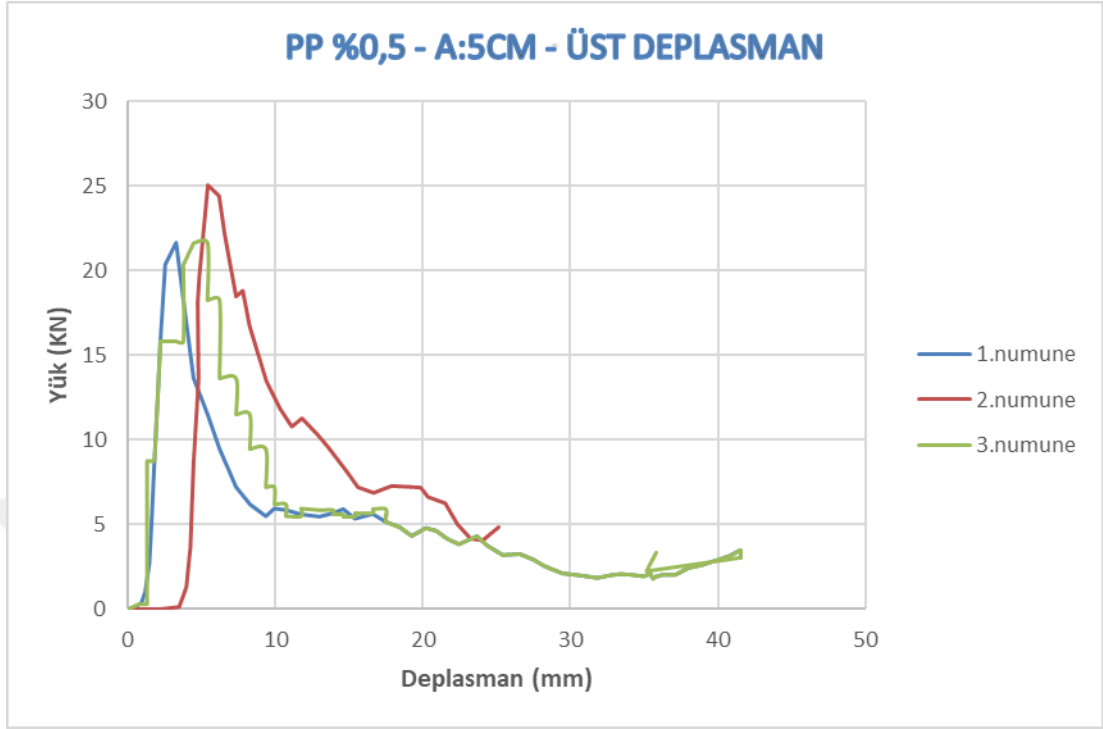




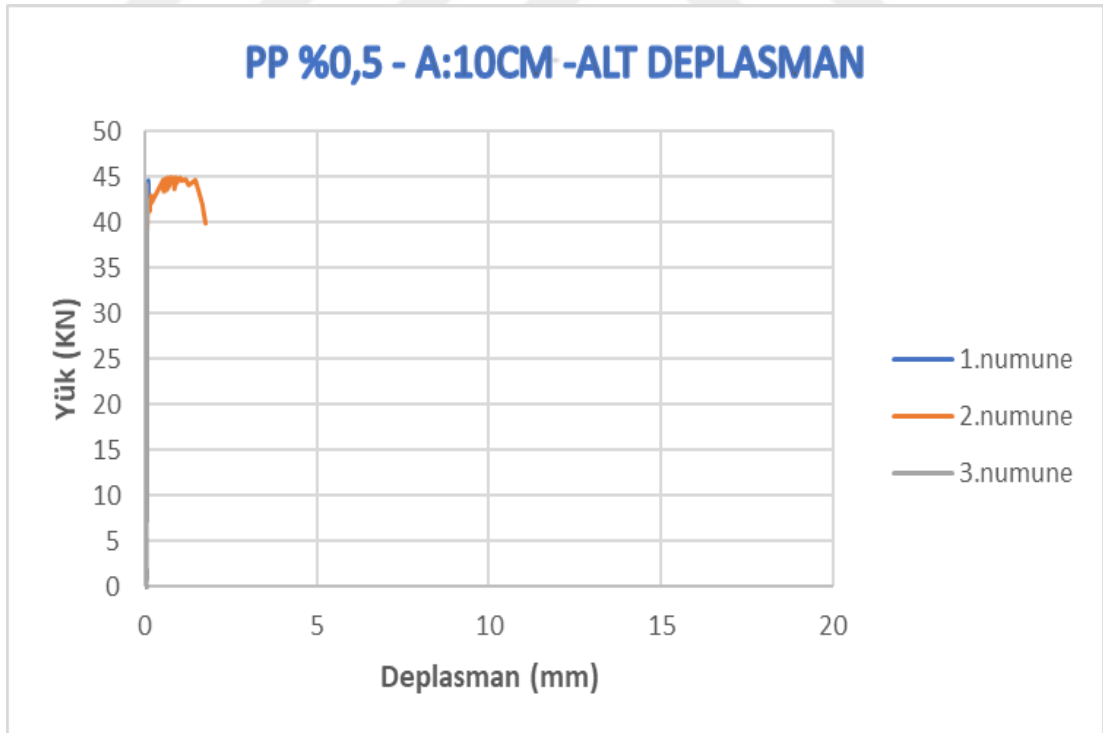
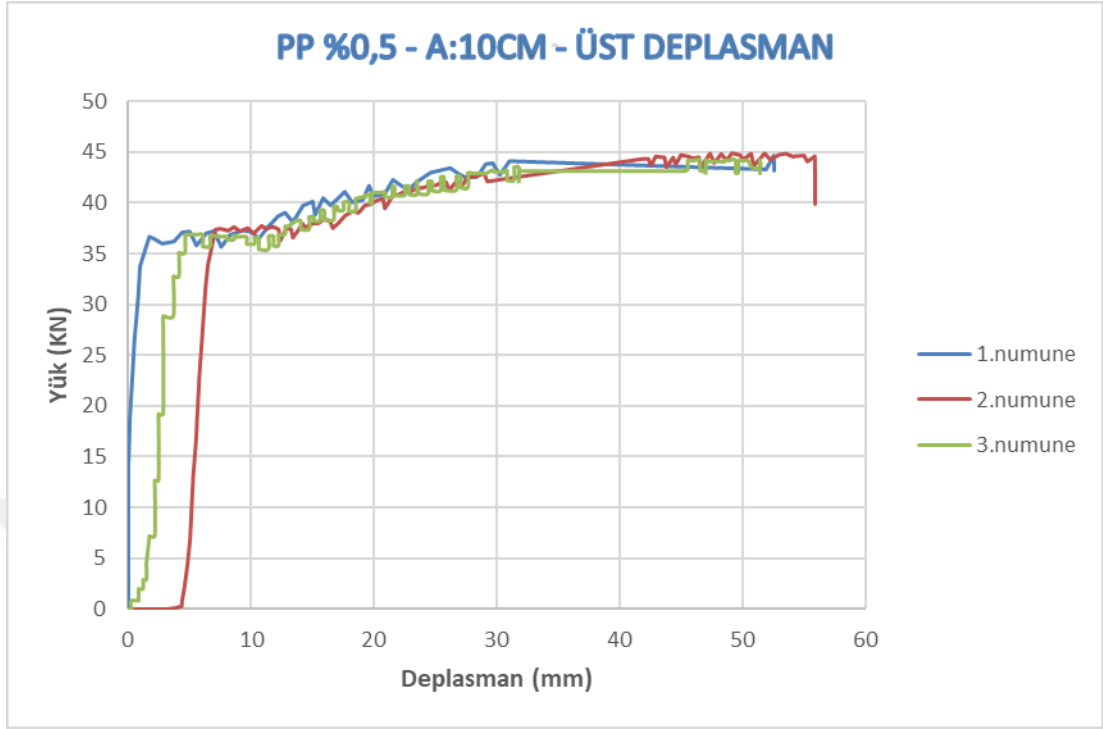
Şekil 4.5 PP %0,25, A:10cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri



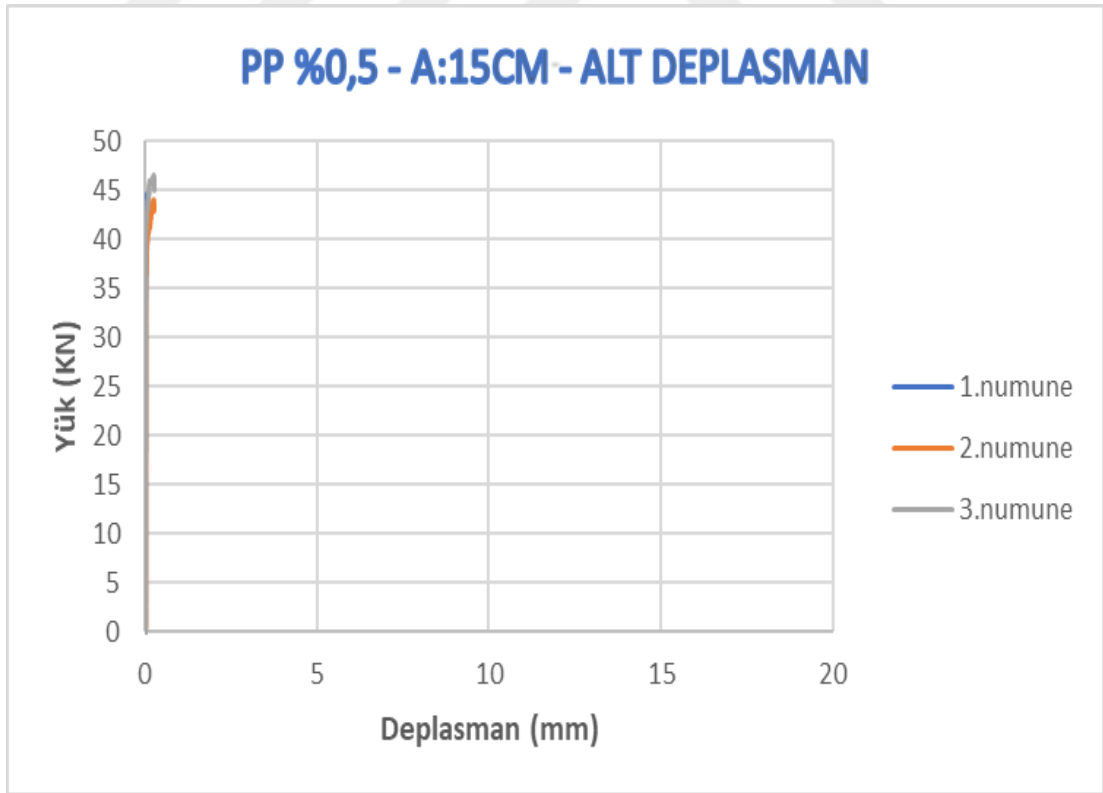
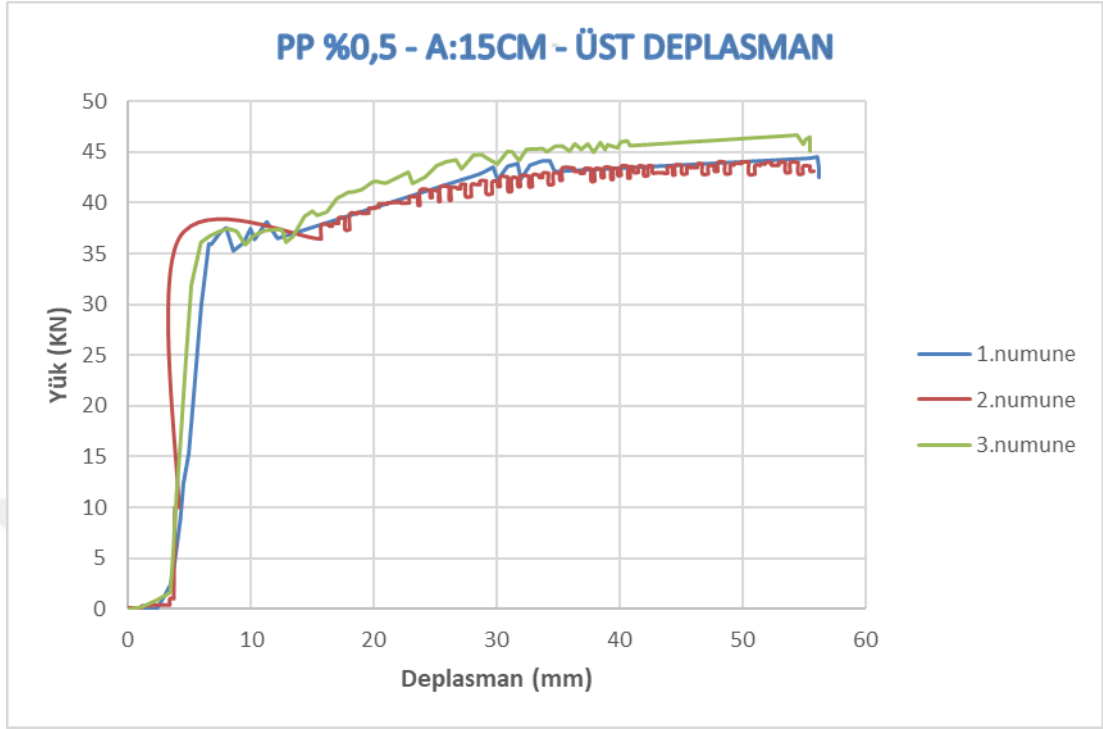
Şekil 4.6 PP %0,25, A:15cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri



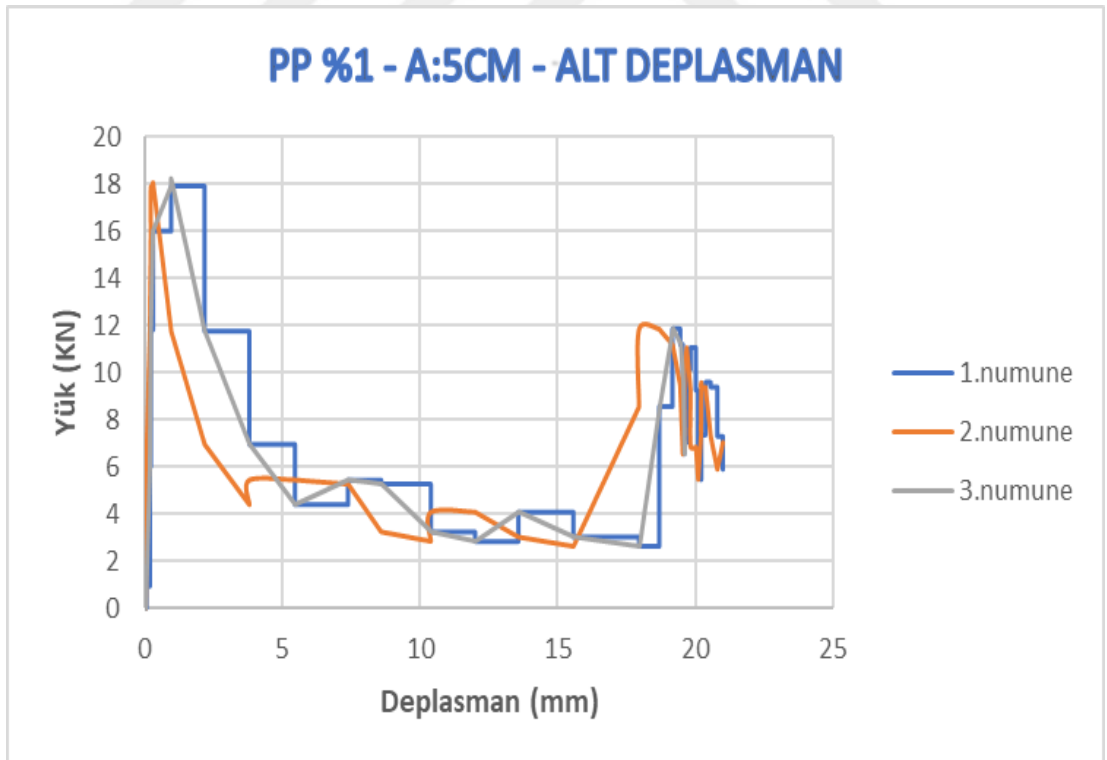
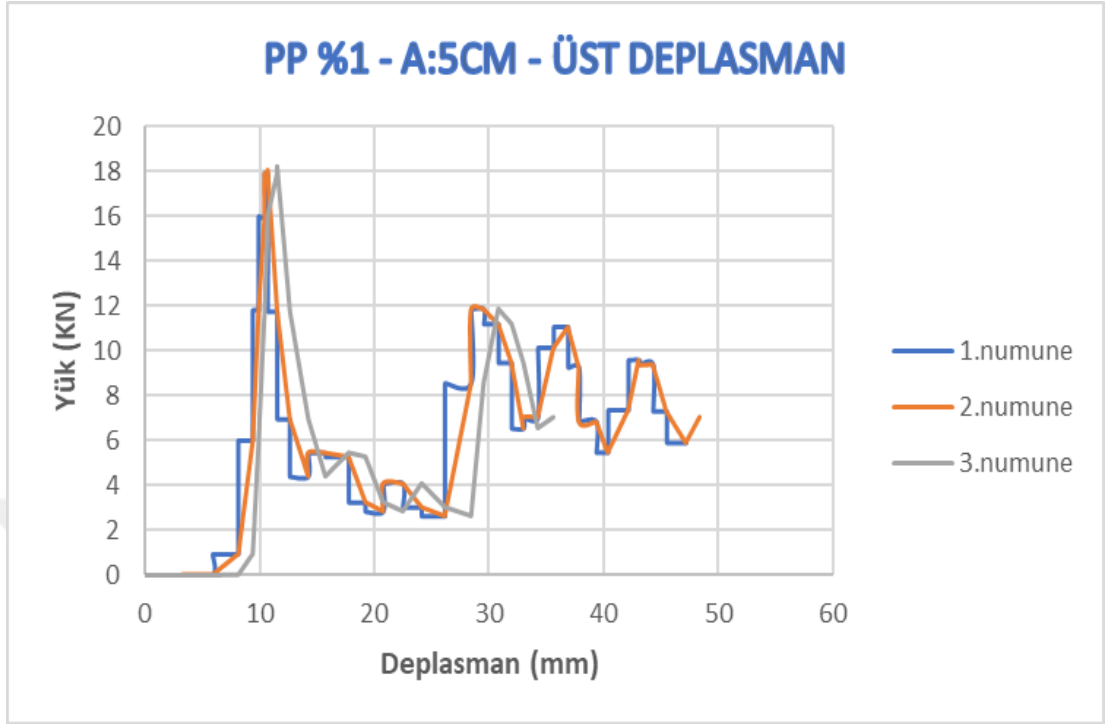
Şekil 4.7 PP %0,5, A:5cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri



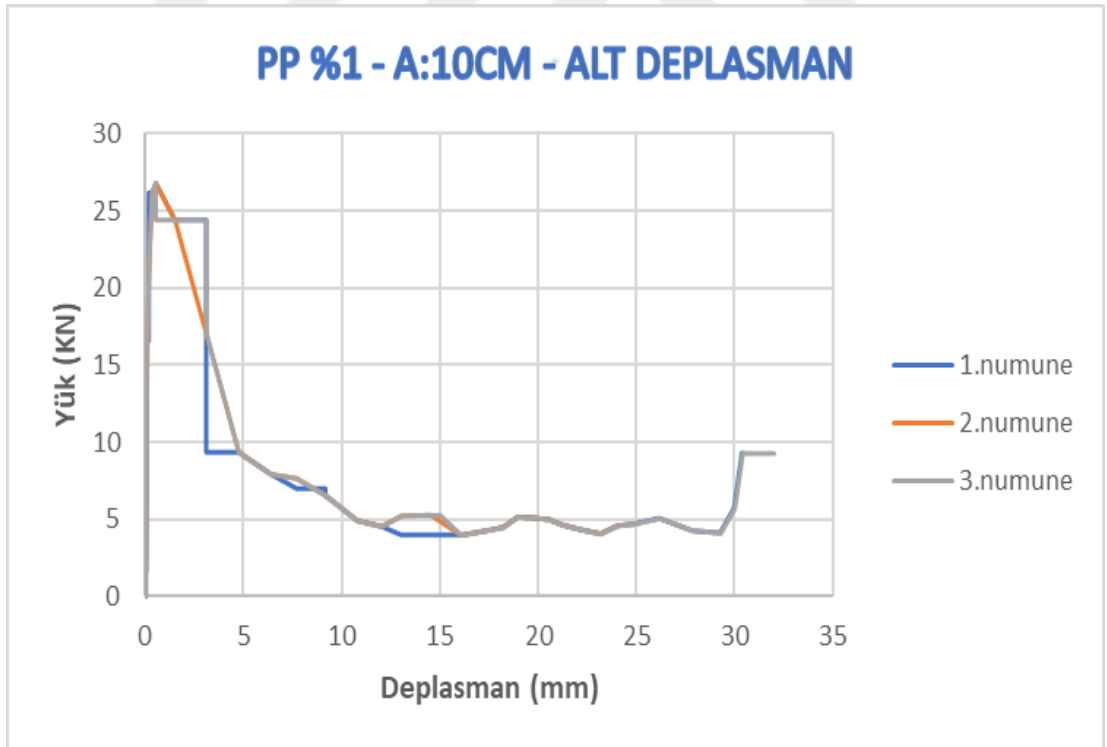
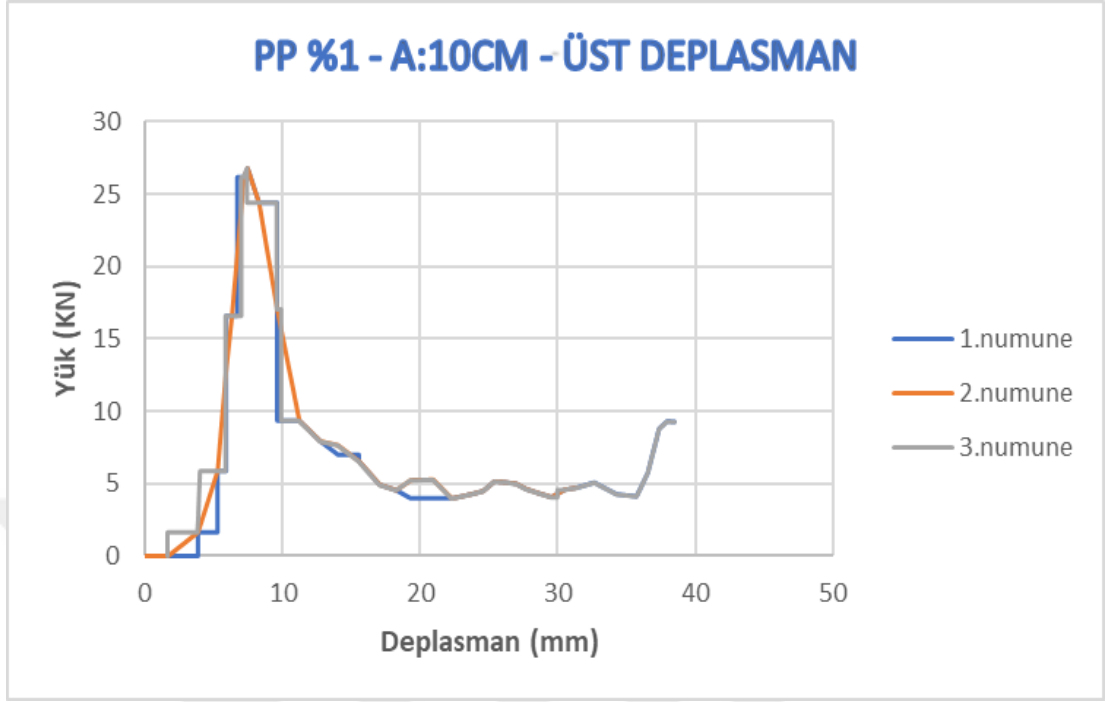
Şekil 4.8 PP %0,5, A:10cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri



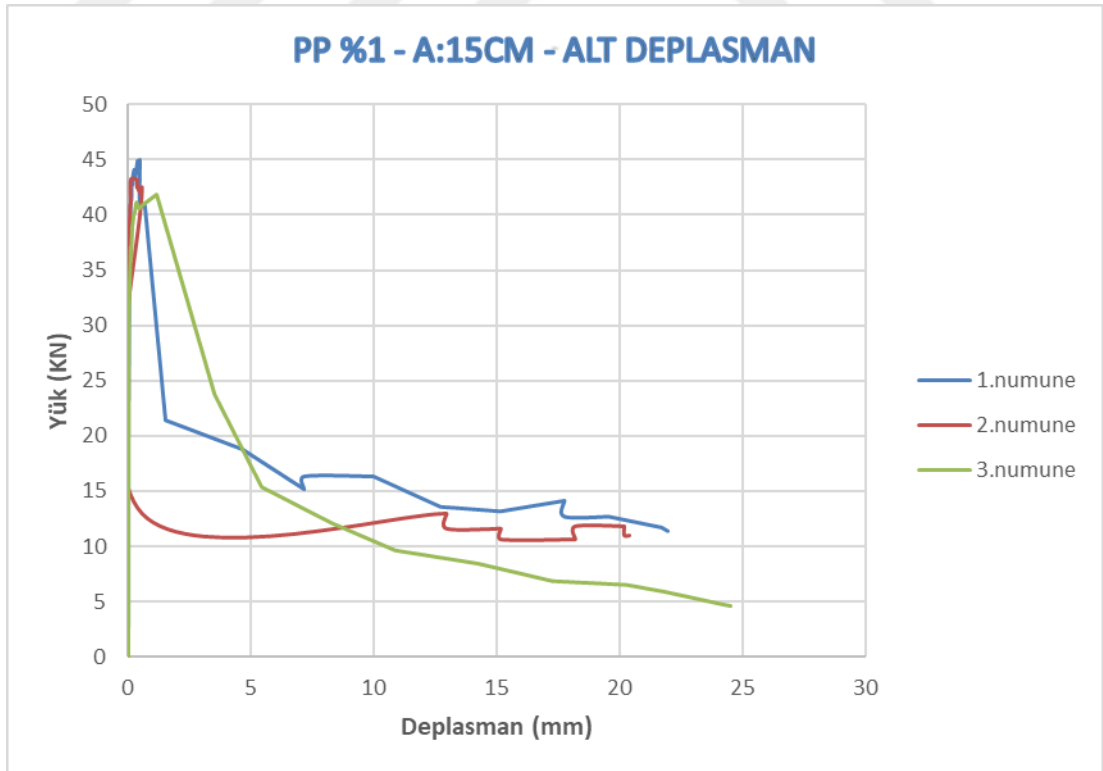
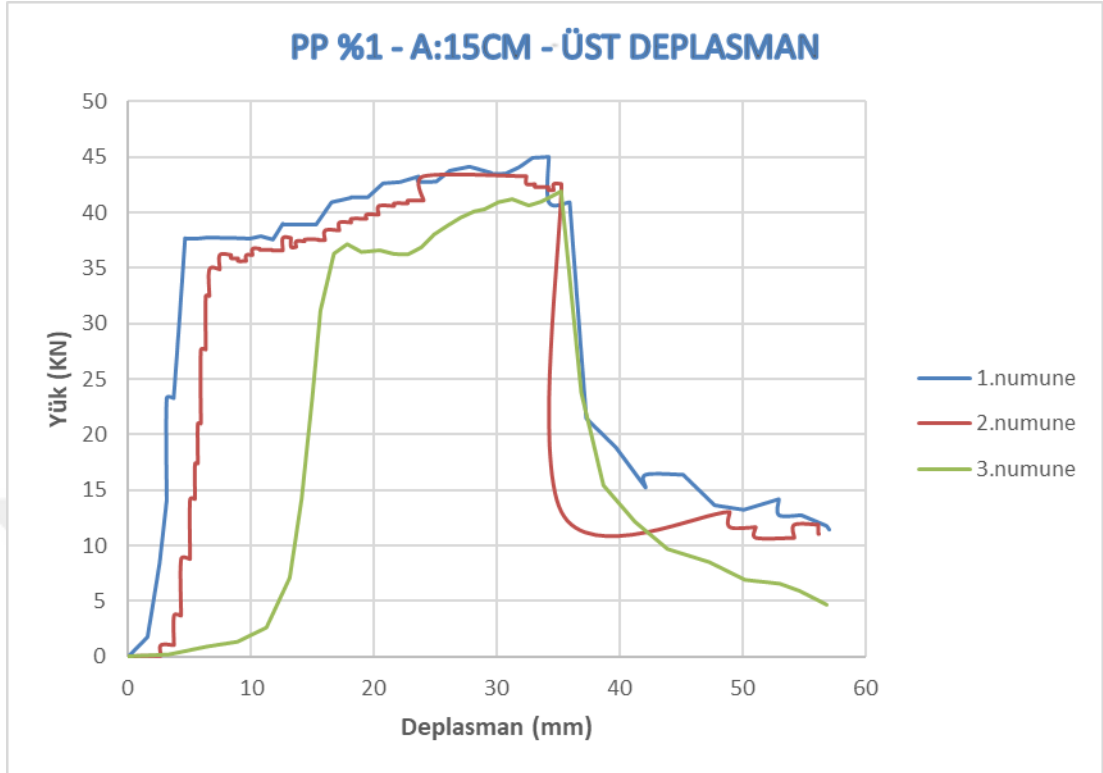
Şekil 4.9 PP %0,5, A:15cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri



Şekil 4.10 PP %1, A:5cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri

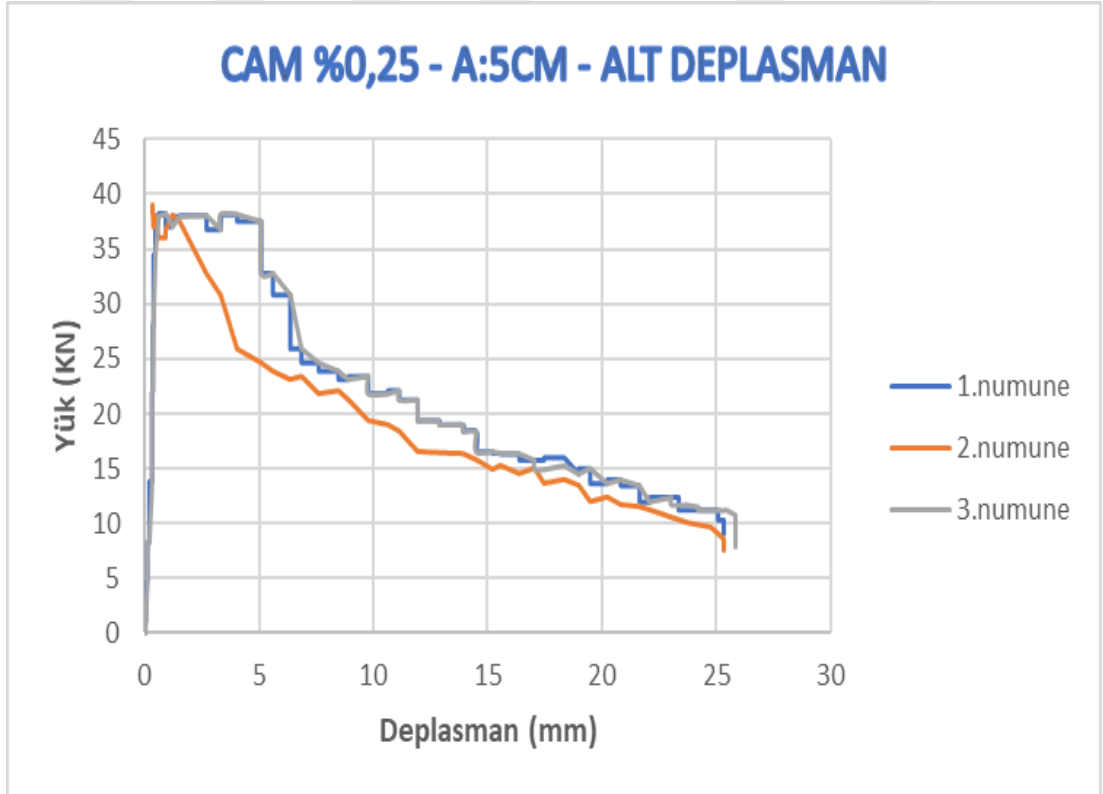
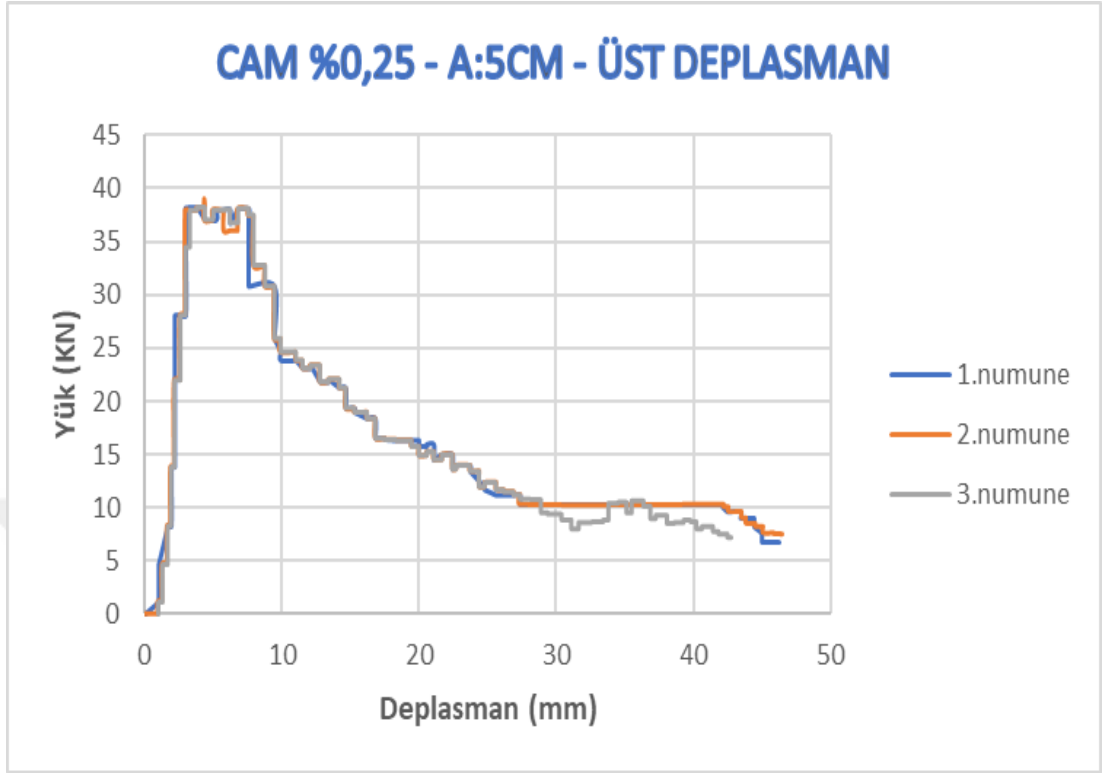


Şekil 4.11 PP %1, A:10cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri

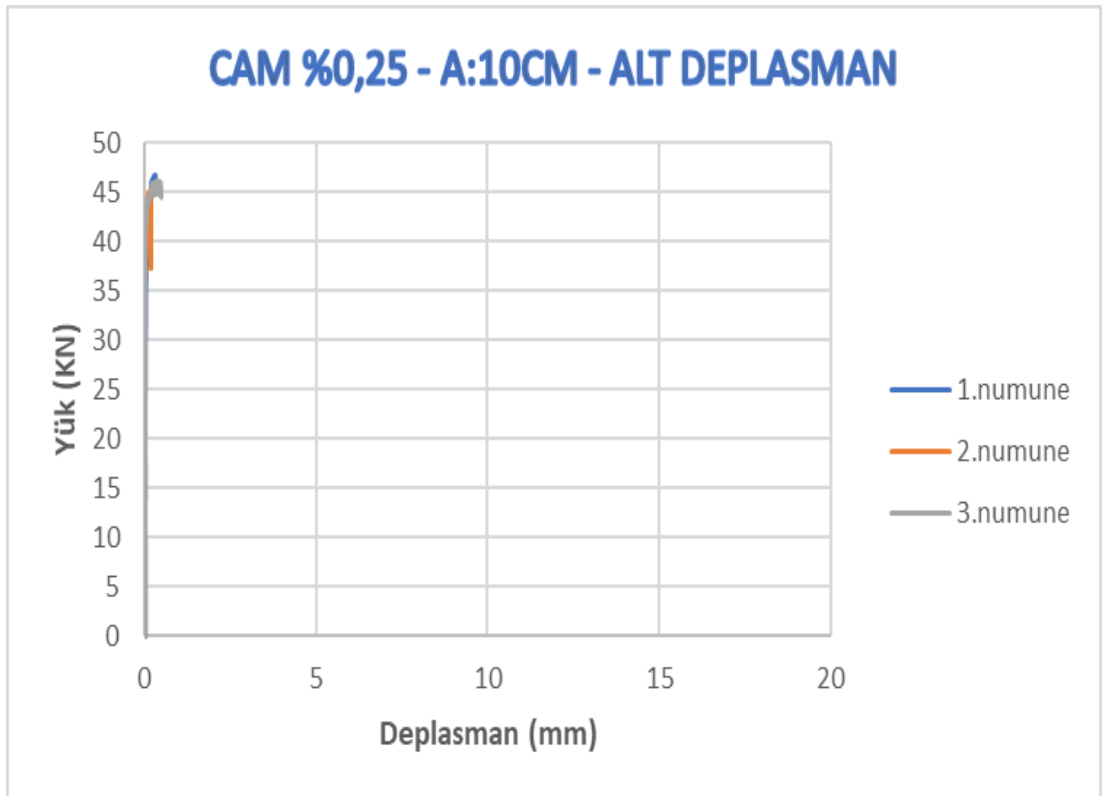
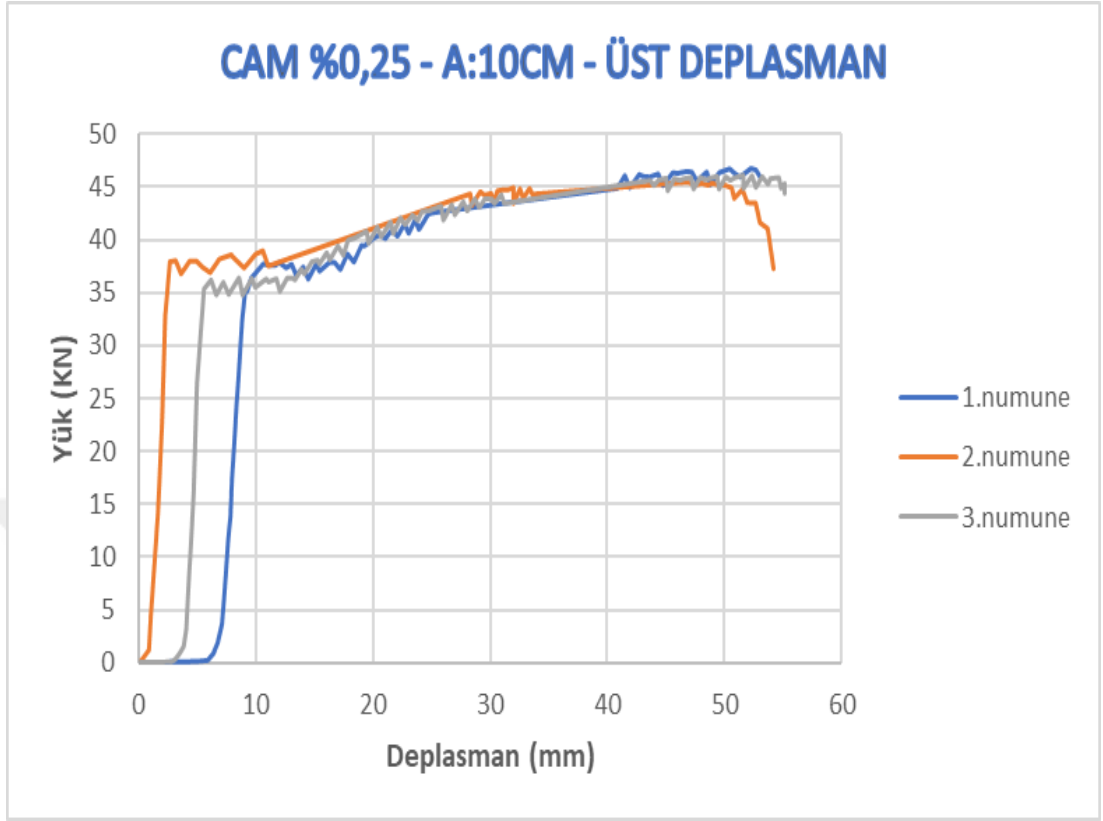


Şekil 4.12 PP %1, A:15cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri

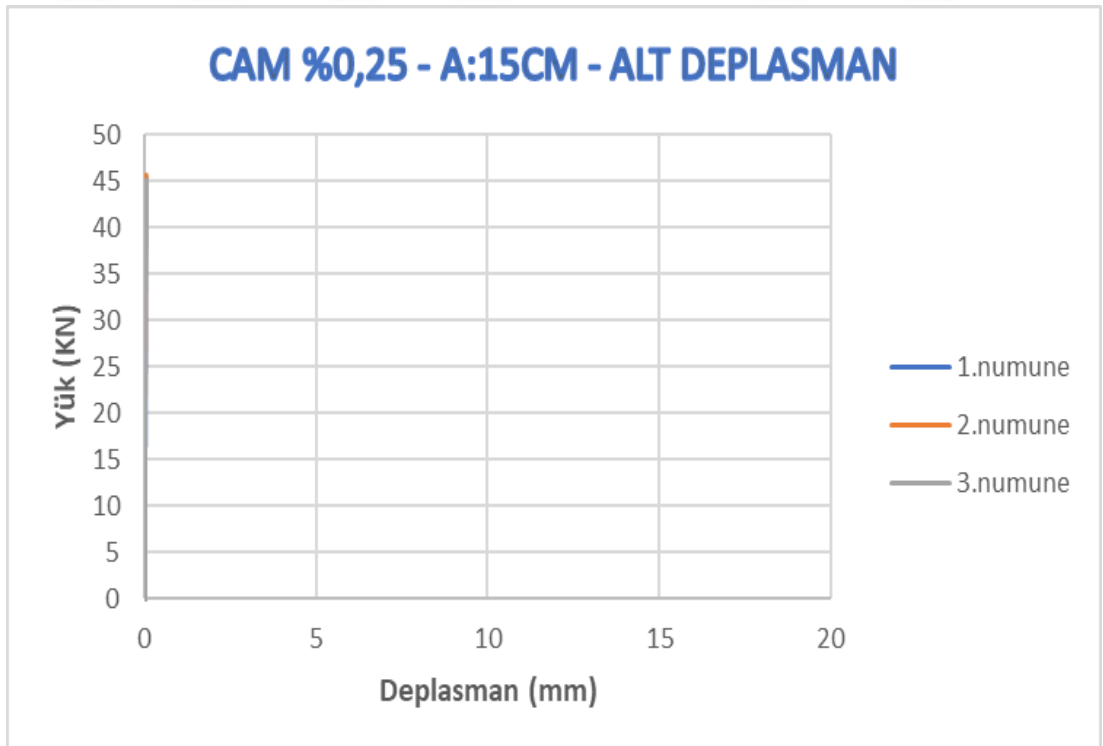
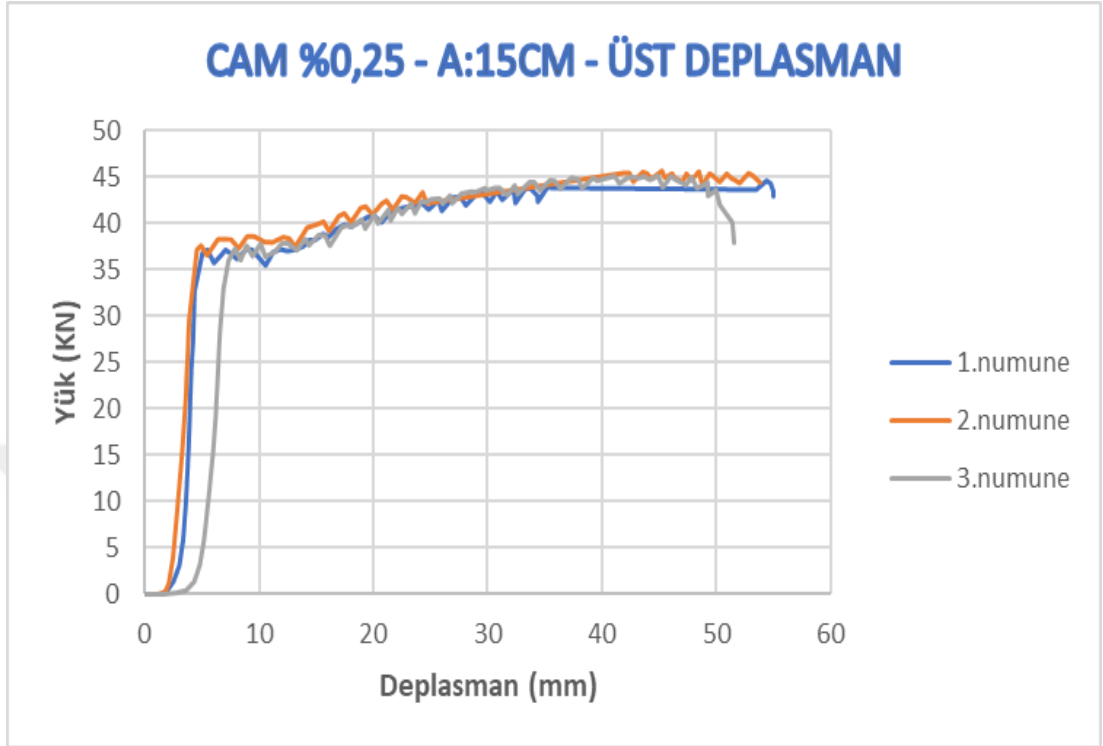




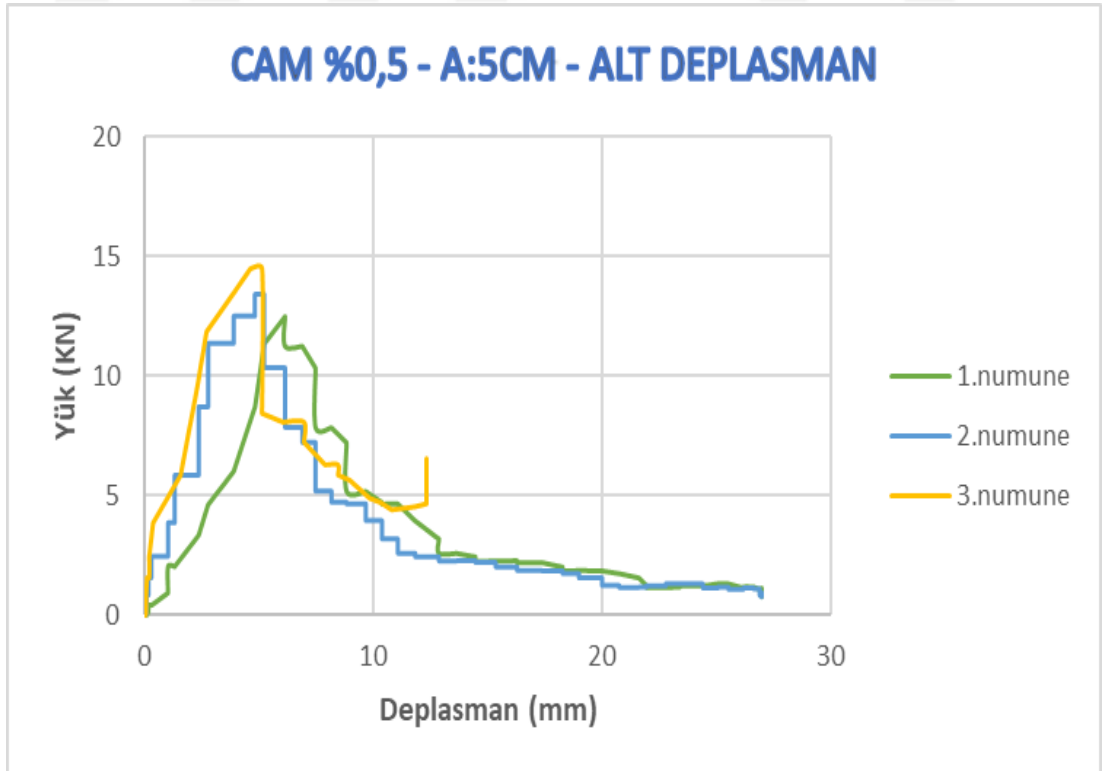
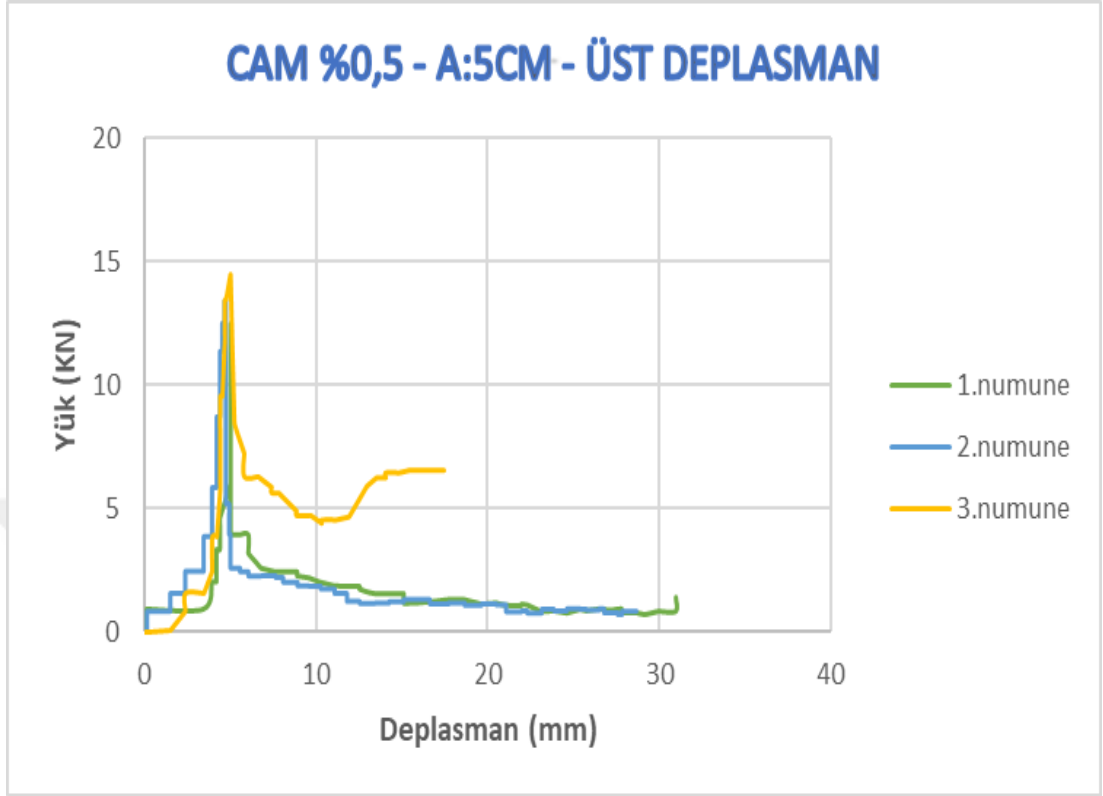
Şekil 4.13 Cam %0,25, A:5cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri



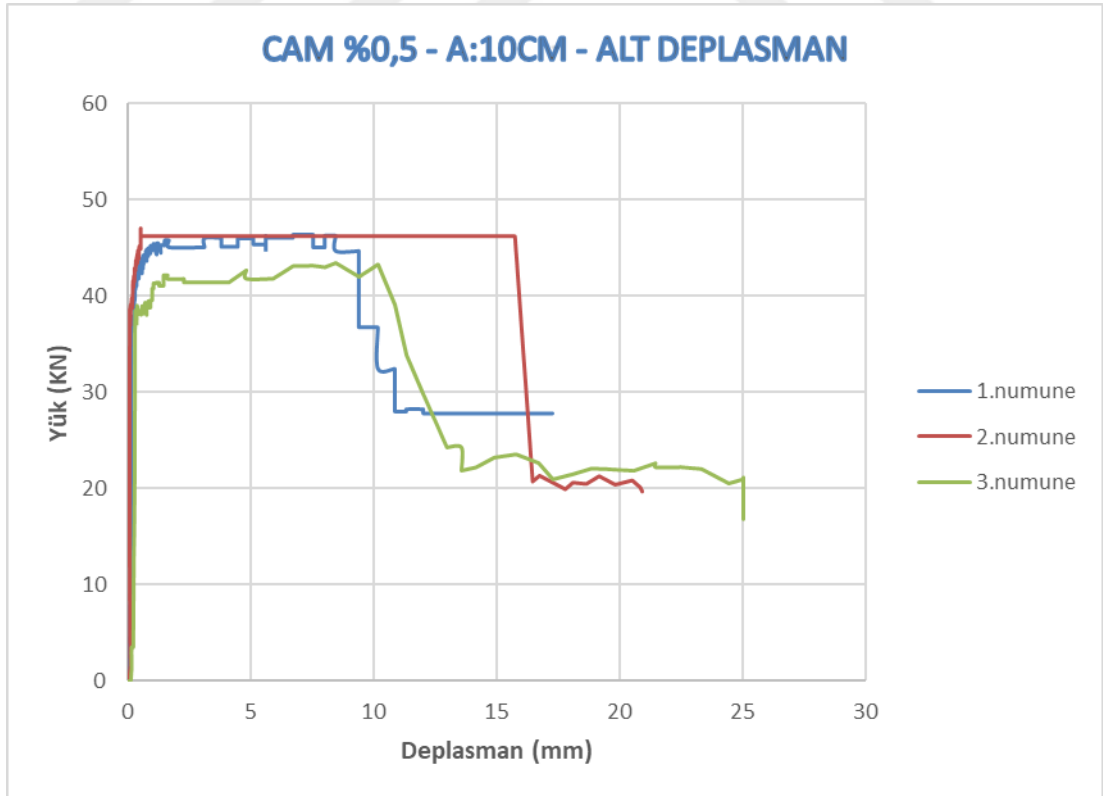
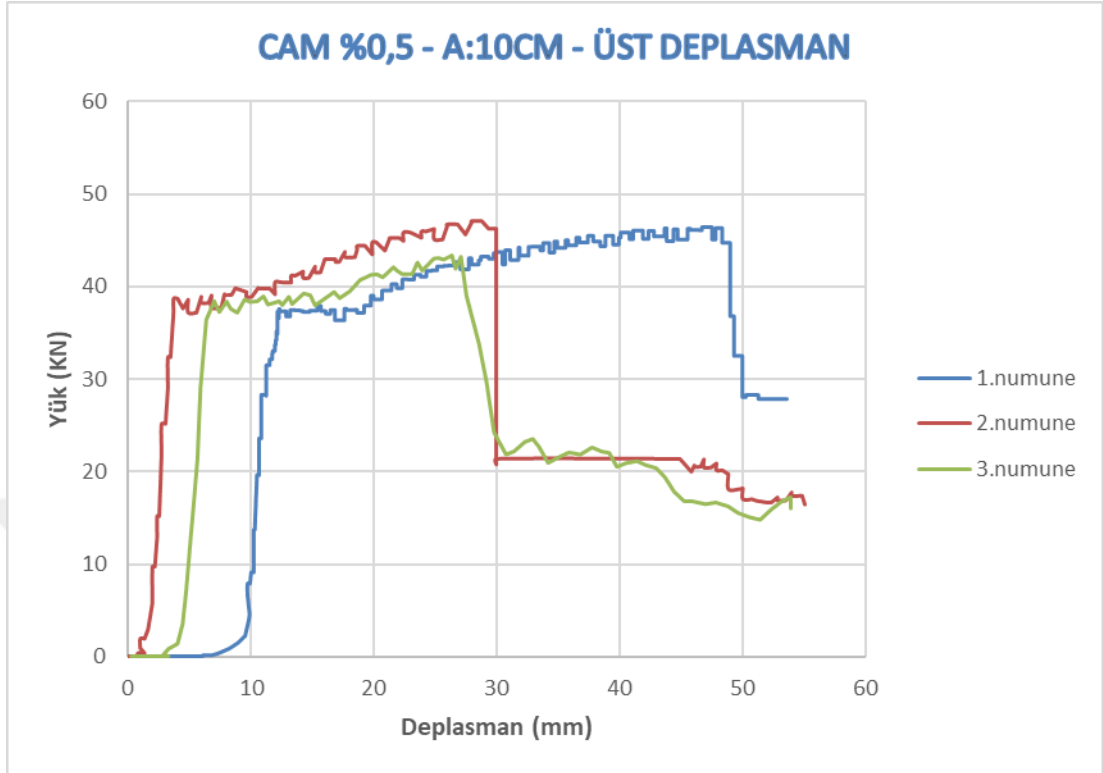
Şekil 4.14 Cam %0,25, A:10cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri



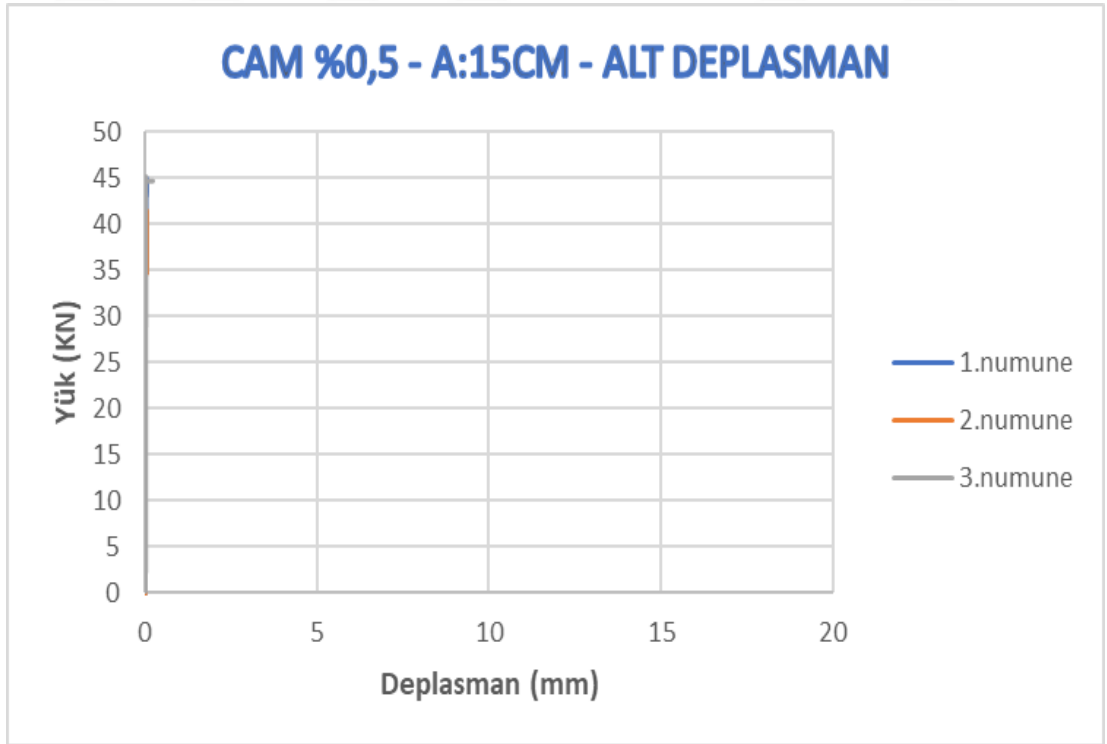
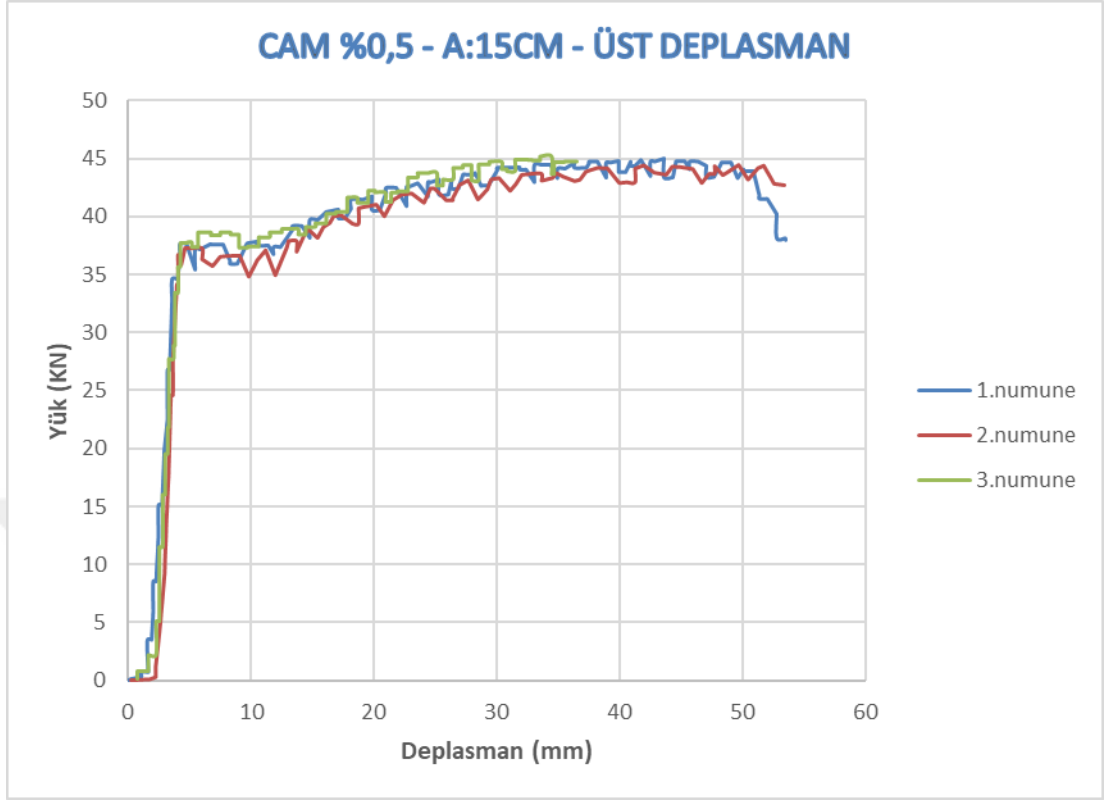
Şekil 4.15 Cam %0,25, A:15cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri



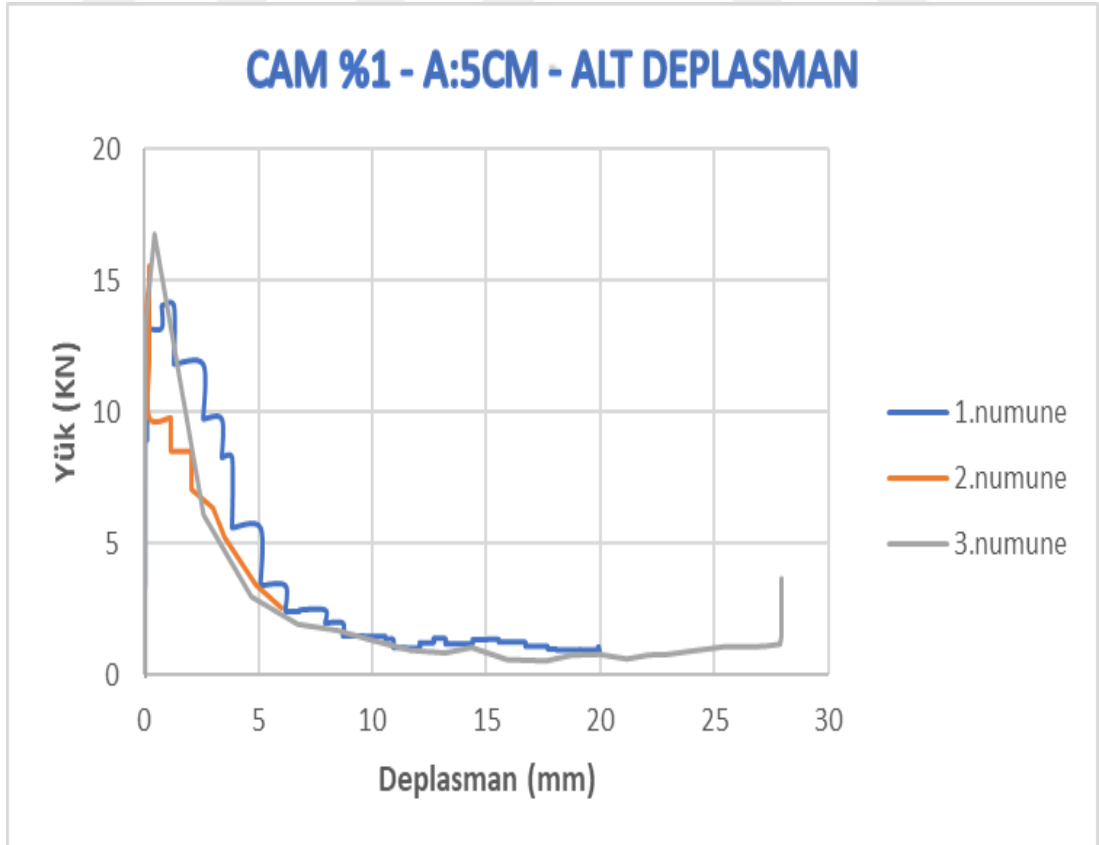
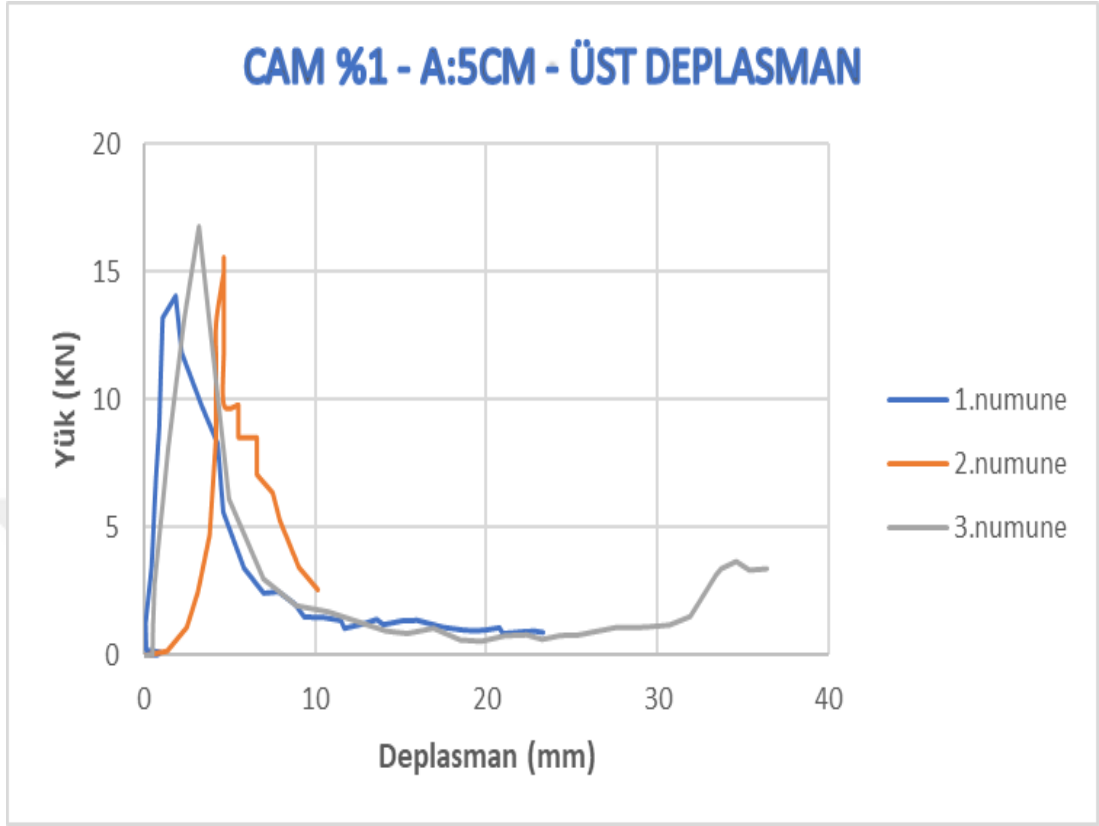
Şekil 4.16 Cam %0,5, A:5cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri



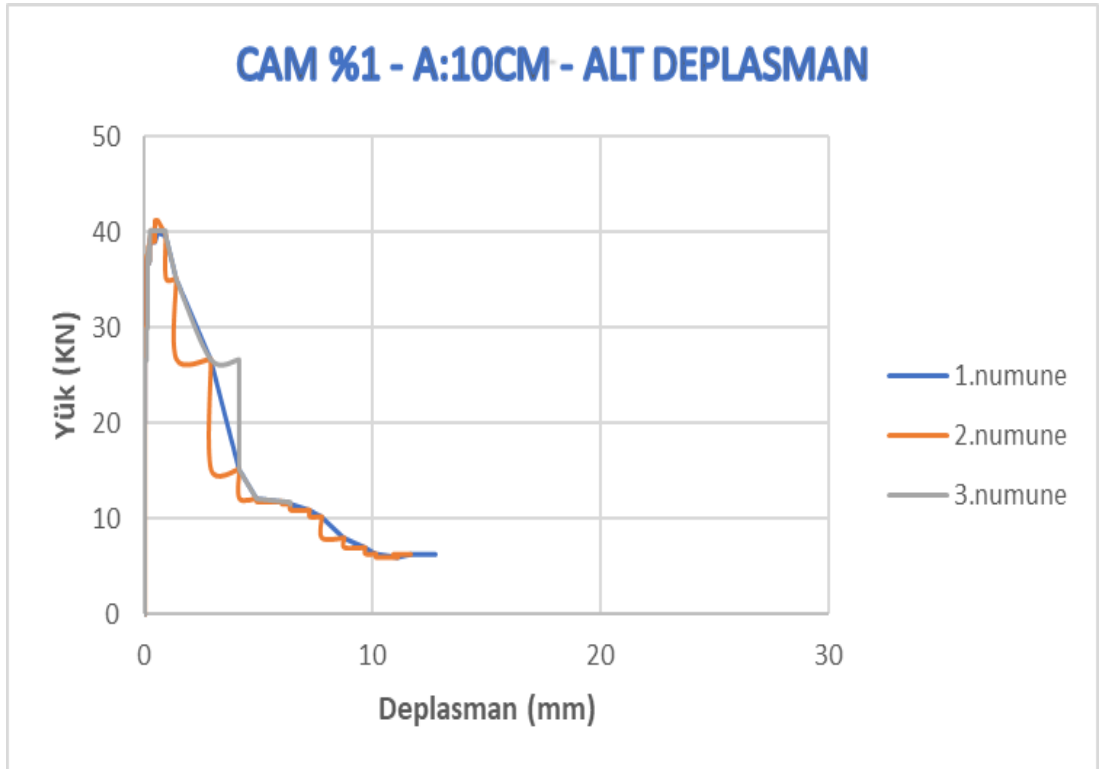
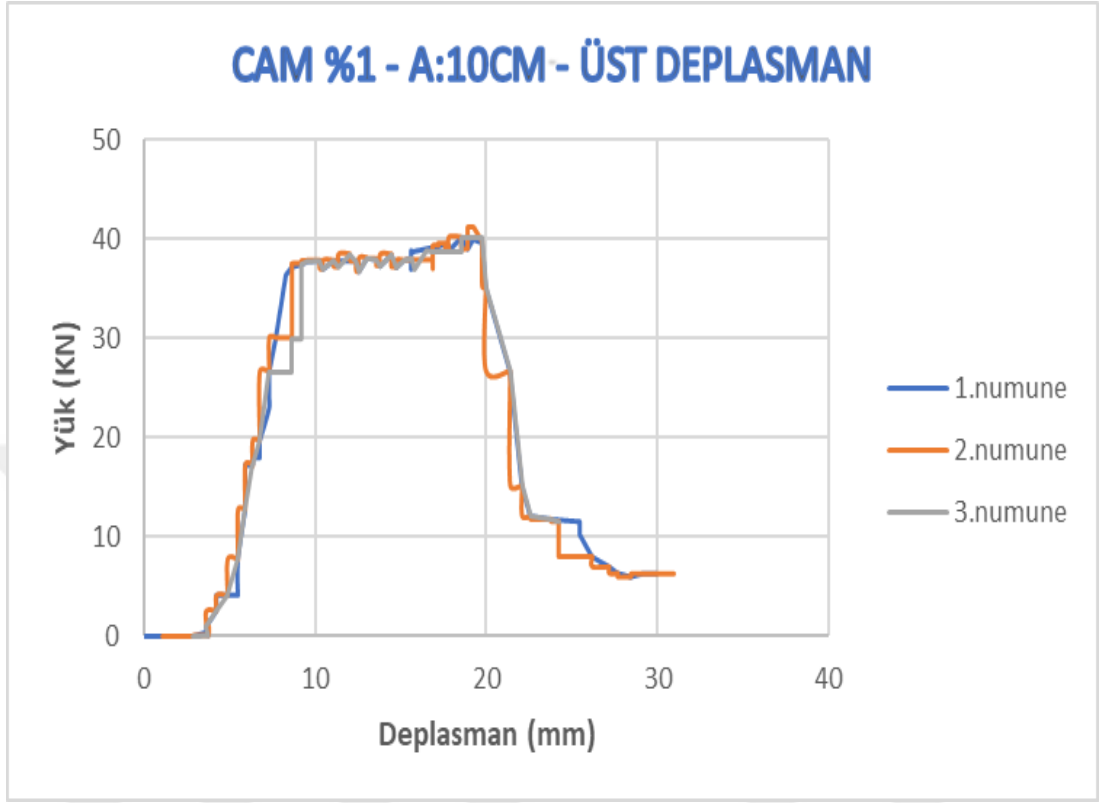
Şekil 4.17 Cam %0,5, A:10cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri



Şekil 4.18 Cam %0,5, A:15cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri

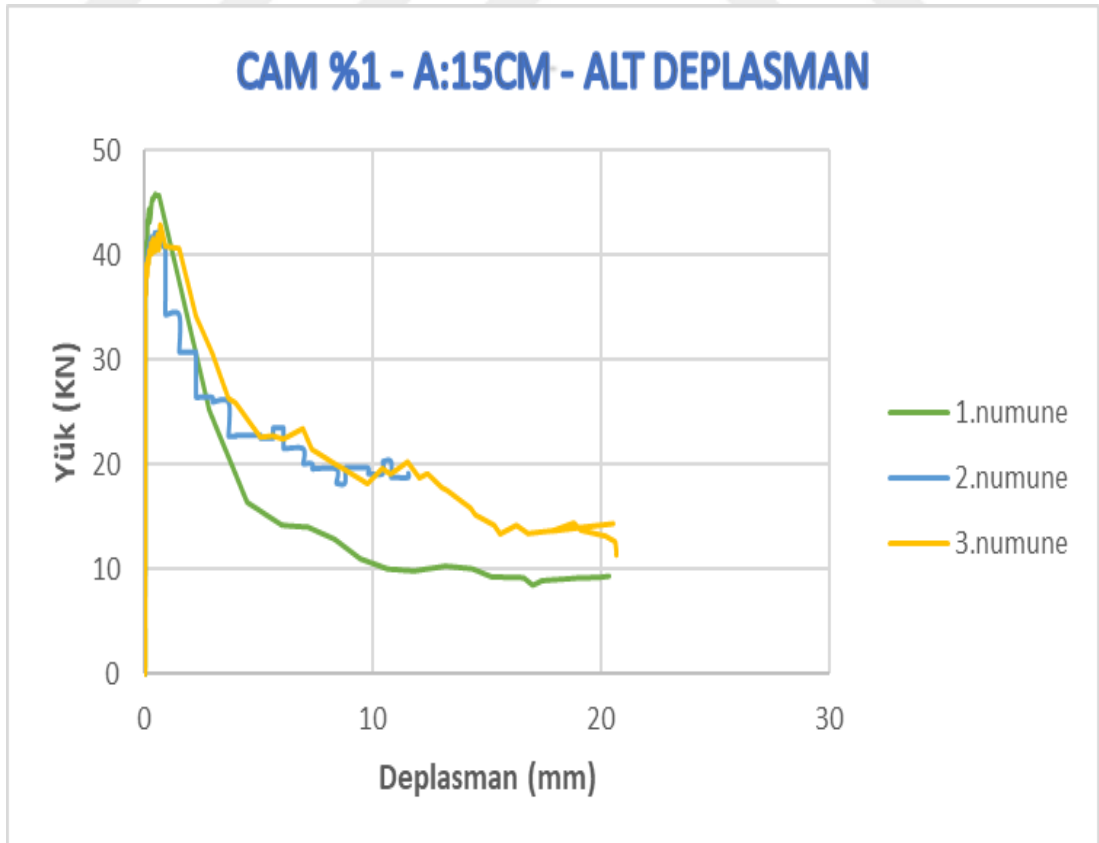
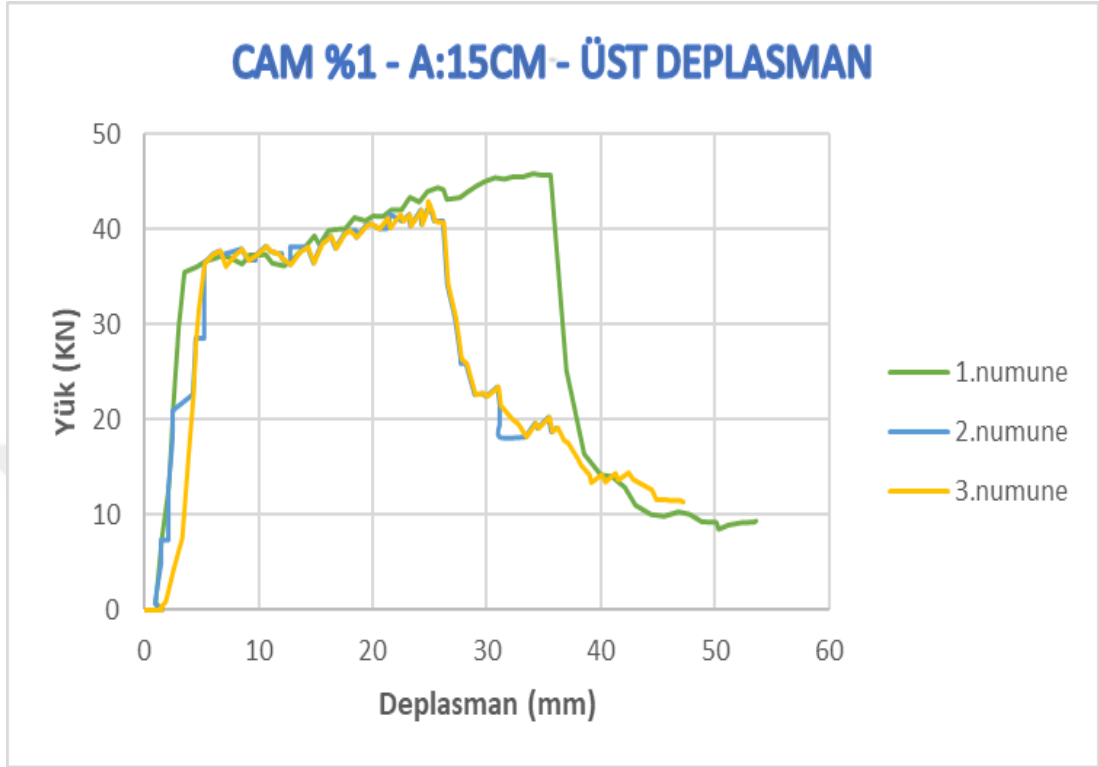


Şekil 4.19 Cam %1, A:5cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri

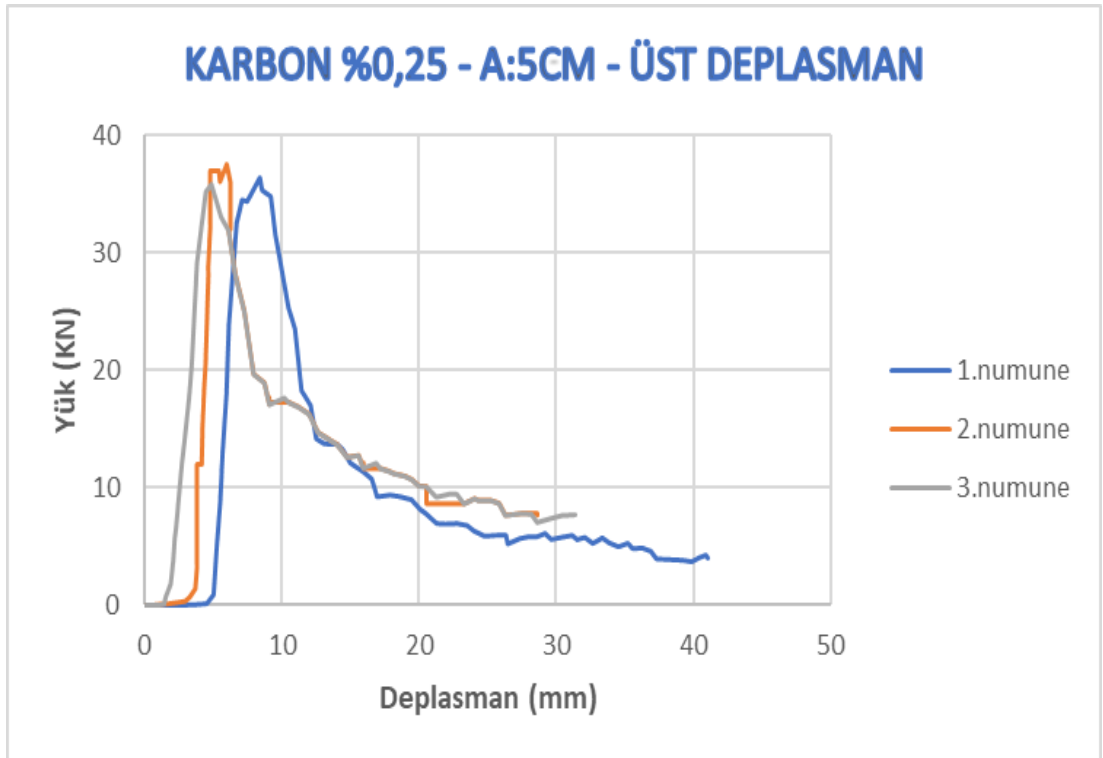


Şekil 4.20 Cam %1, A:10cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri

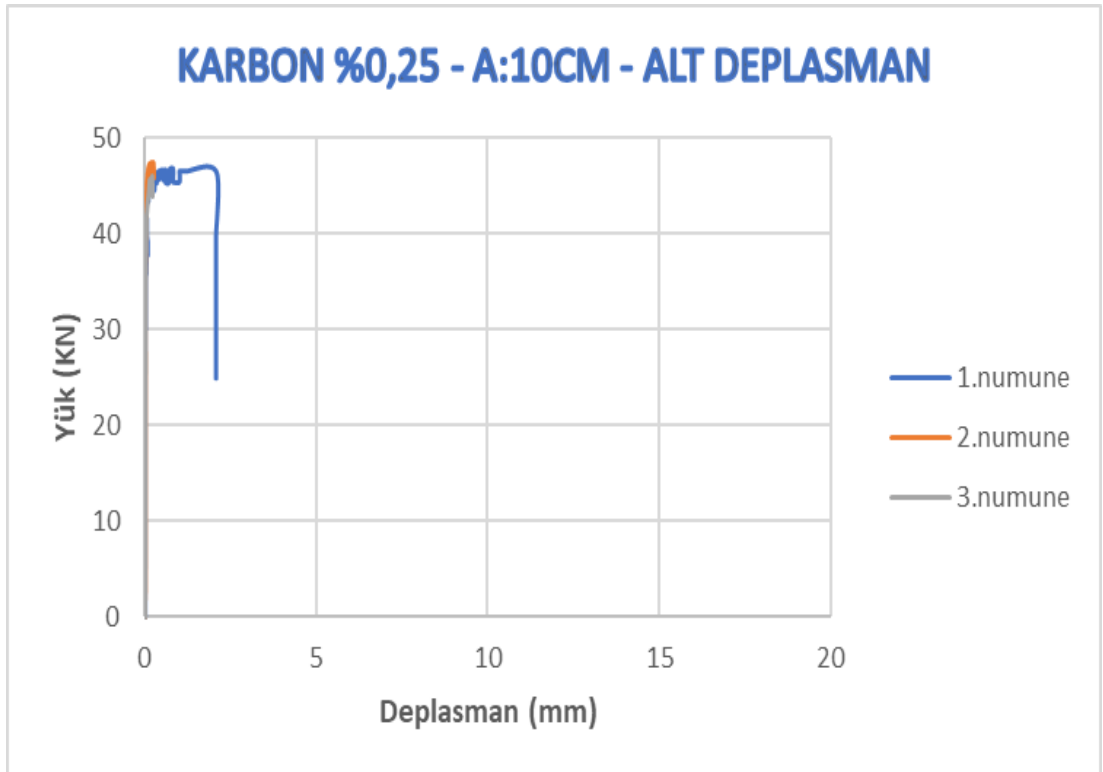
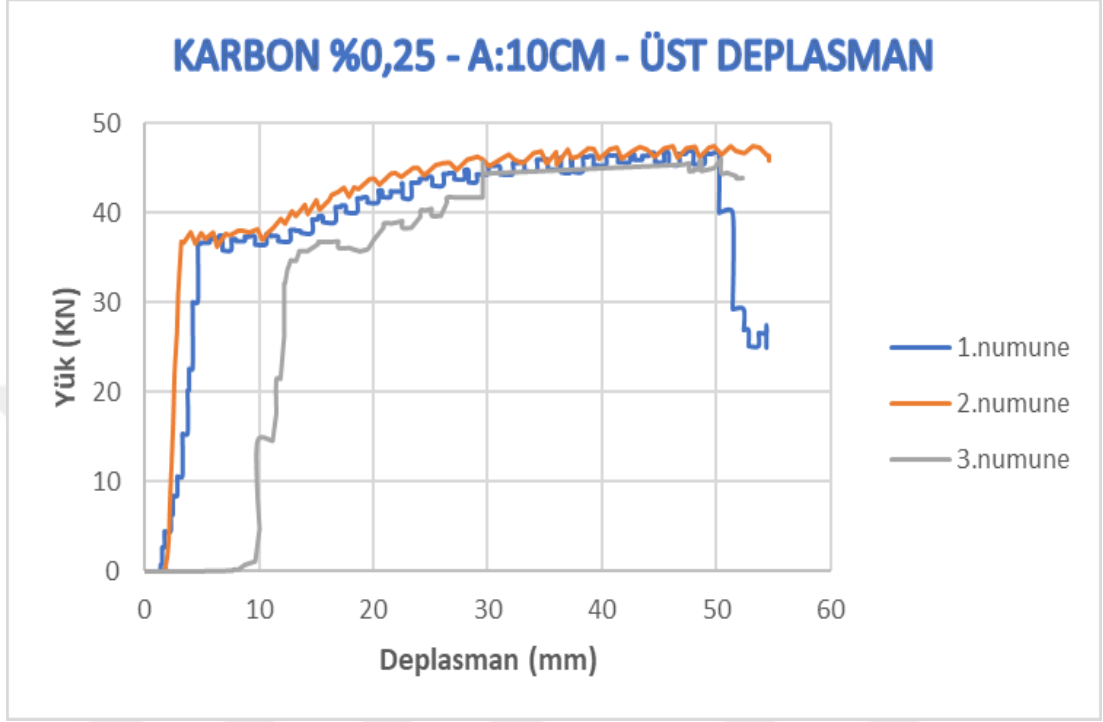




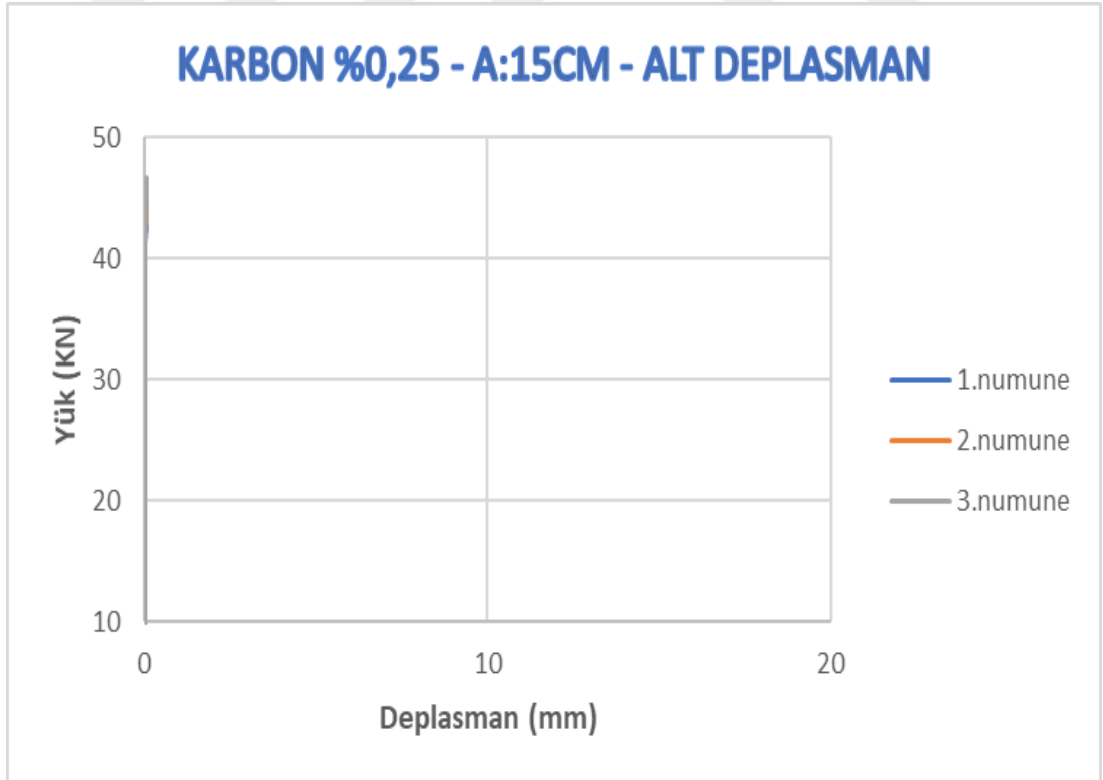
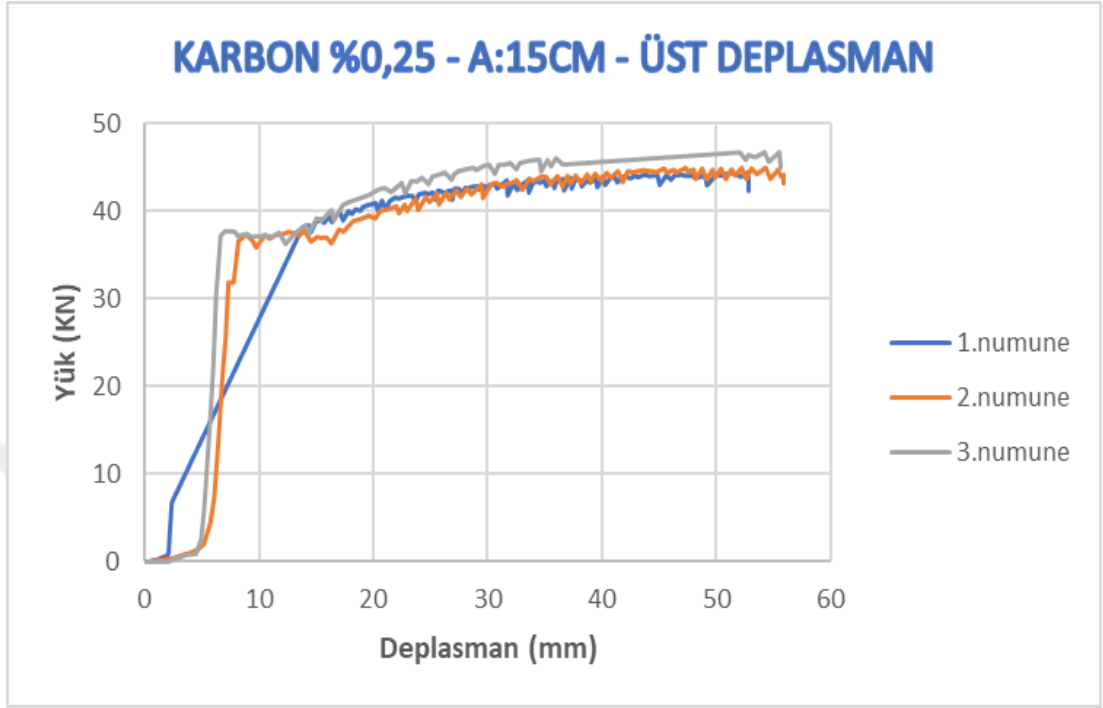
Şekil 4.21 Cam %1, A:15cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri



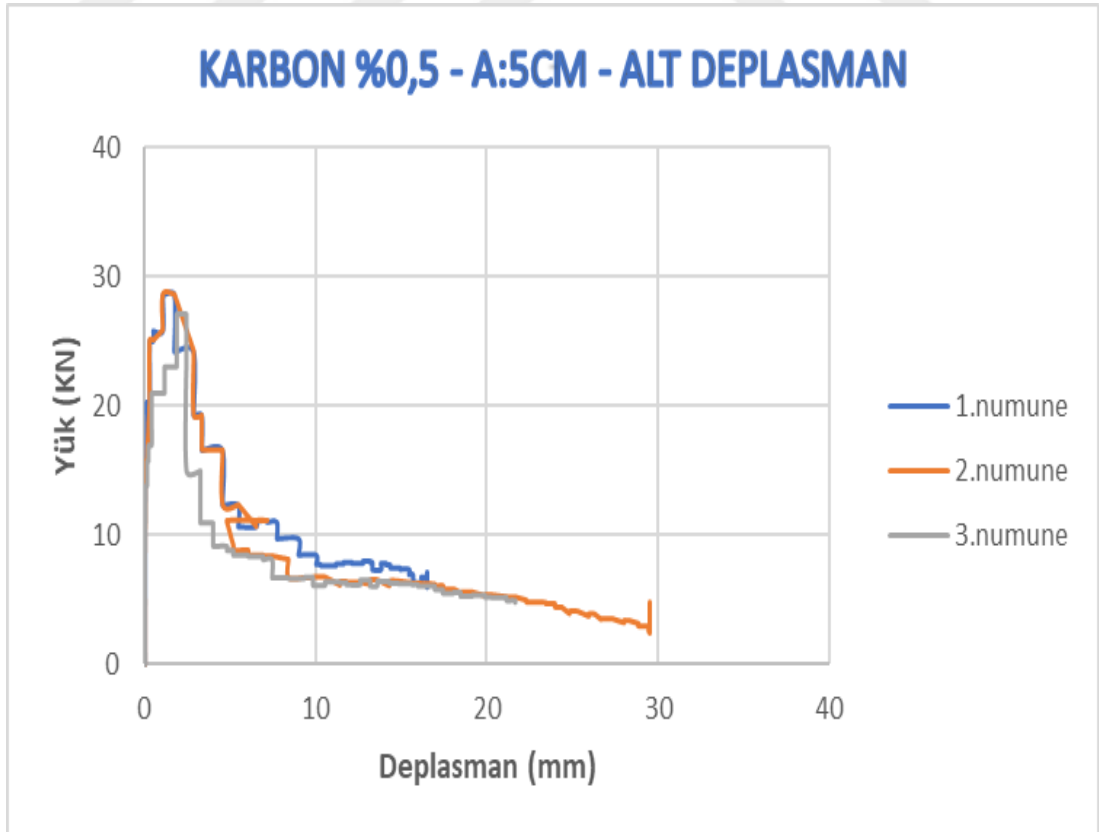
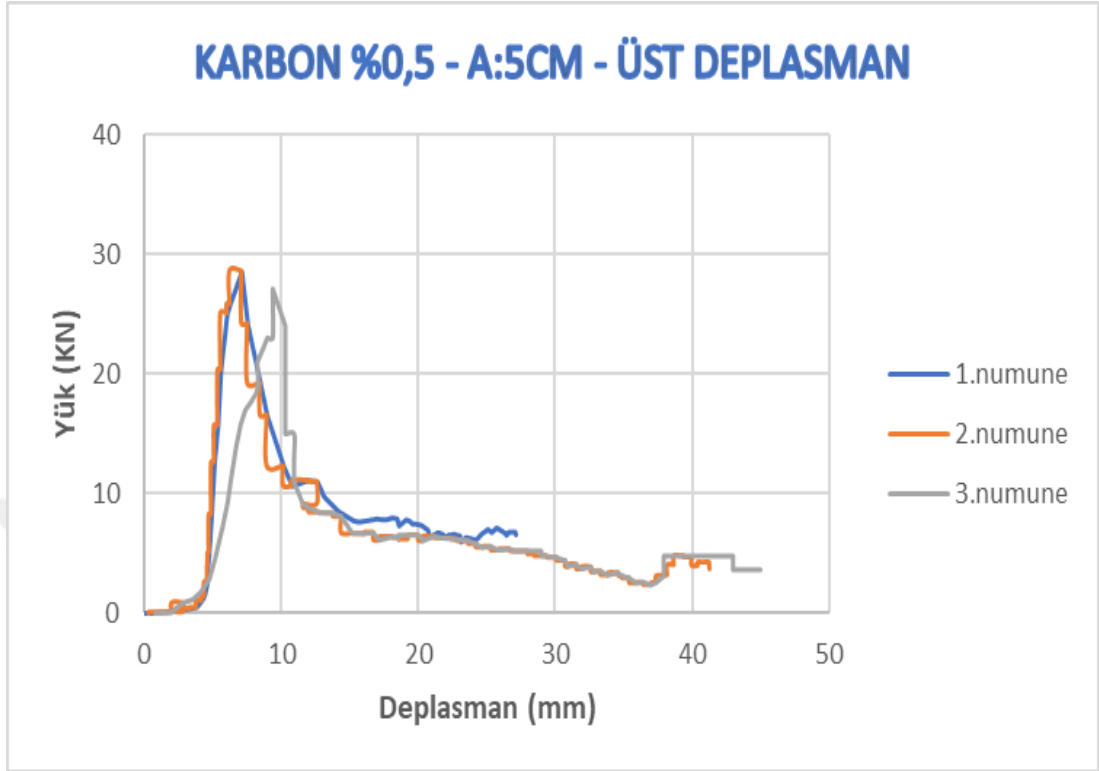
Şekil 4.22 Karbon %0,25, A:5cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri



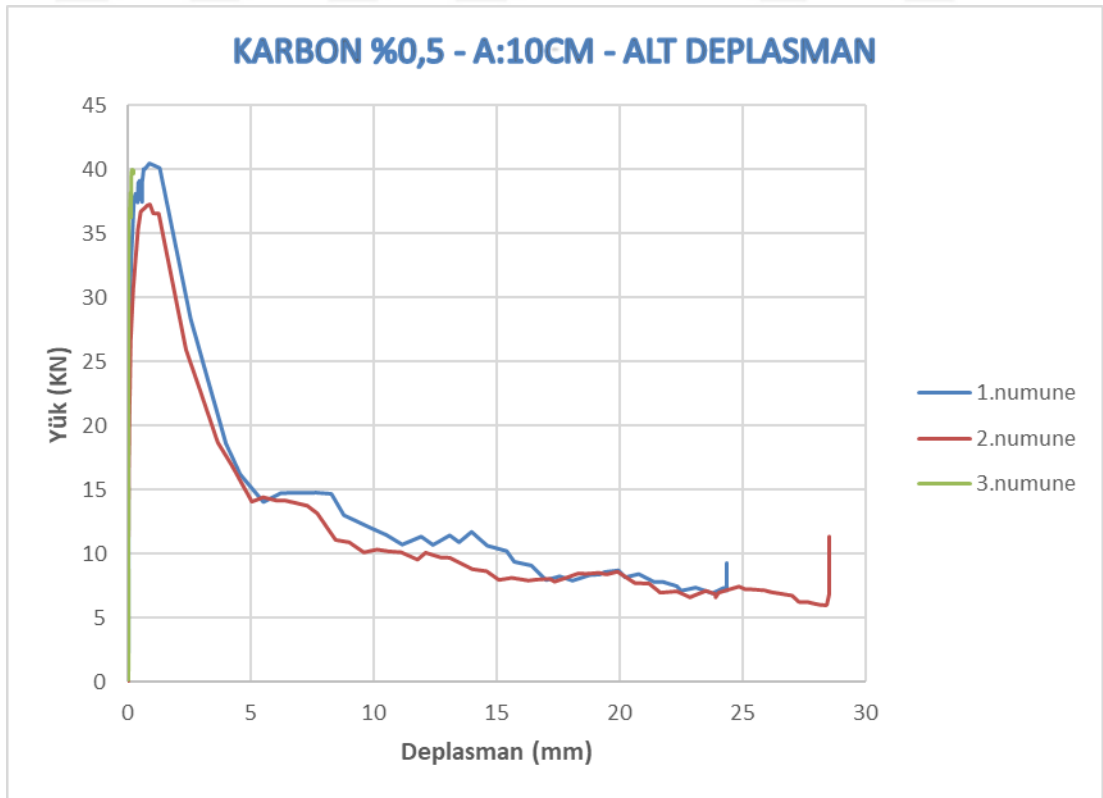
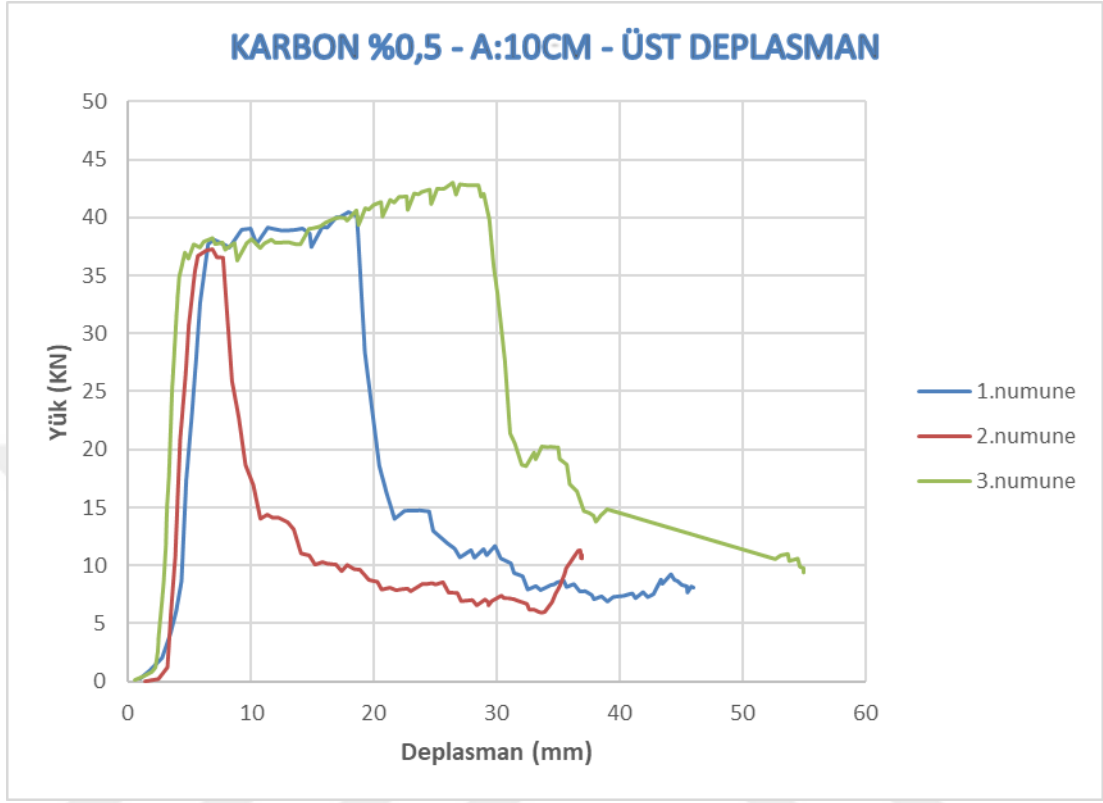
Şekil 4.23 Karbon %0,25, A:10cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri



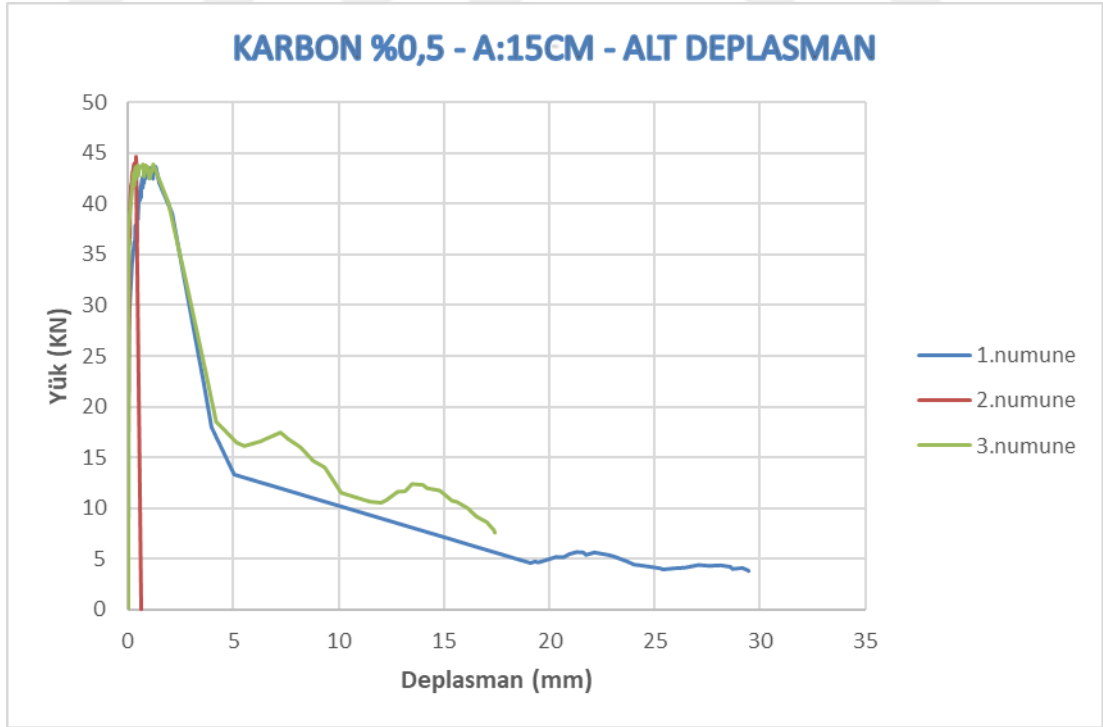
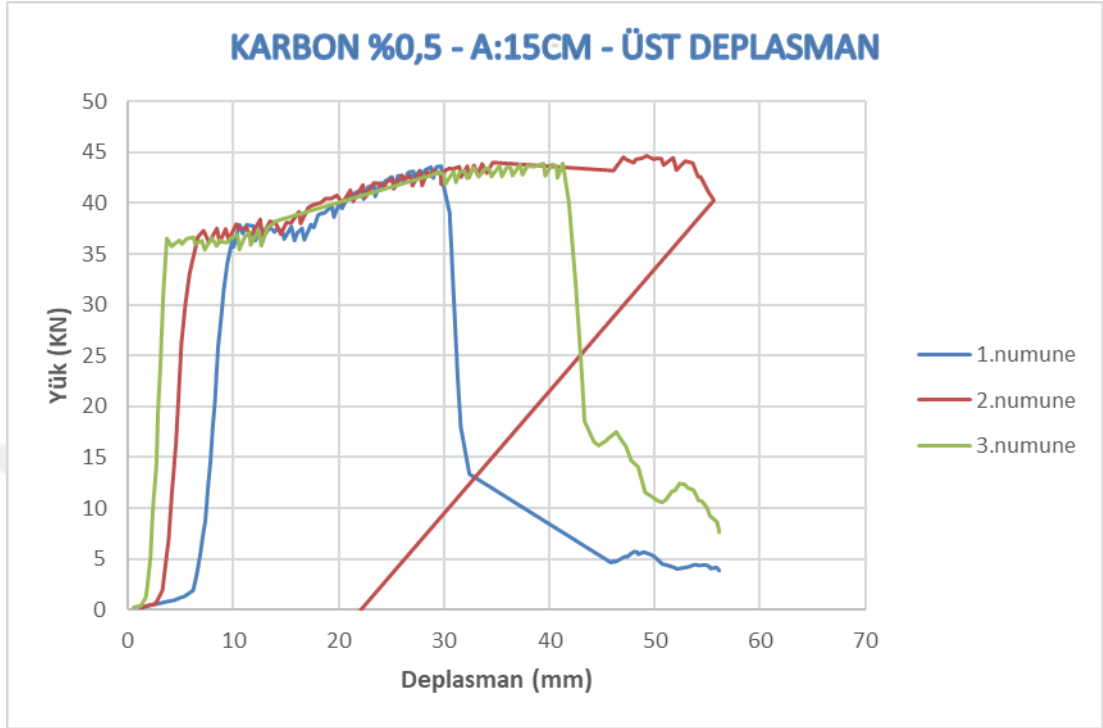
Şekil 4.24 Karbon %0,25, A:15cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri



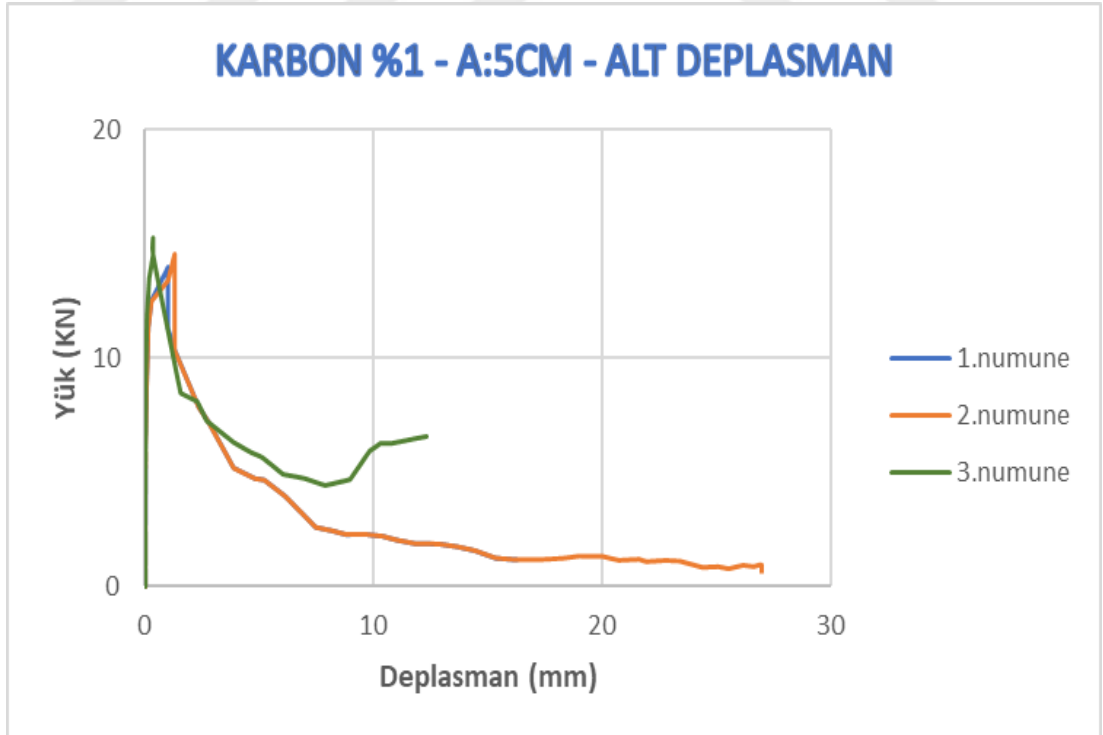
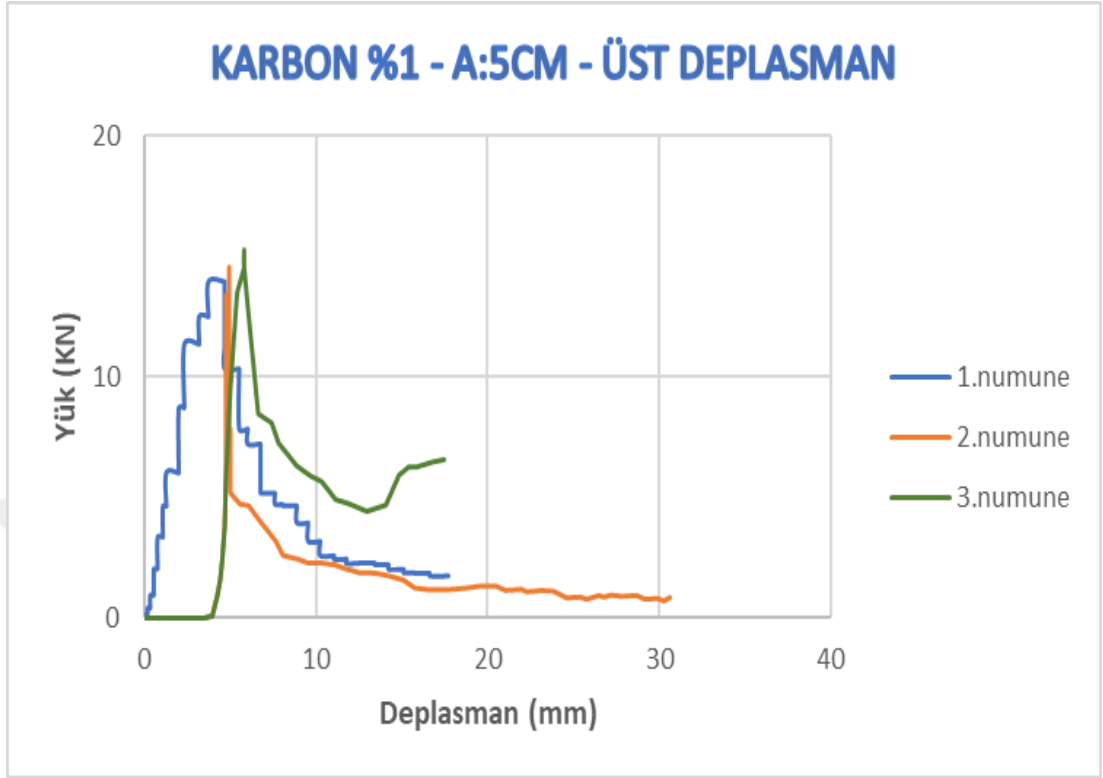
Şekil 4.25 Karbon %0,5, A:5cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri



Şekil 4.26 Karbon %0,5, A:10cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri

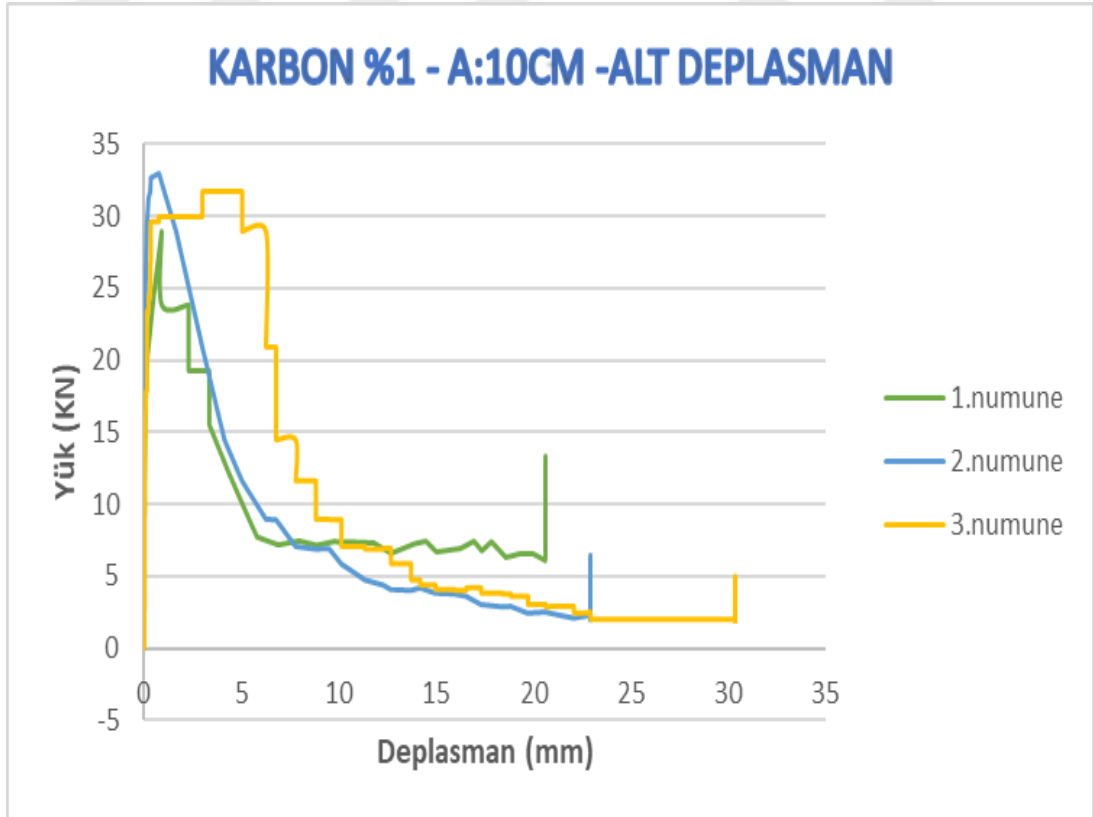
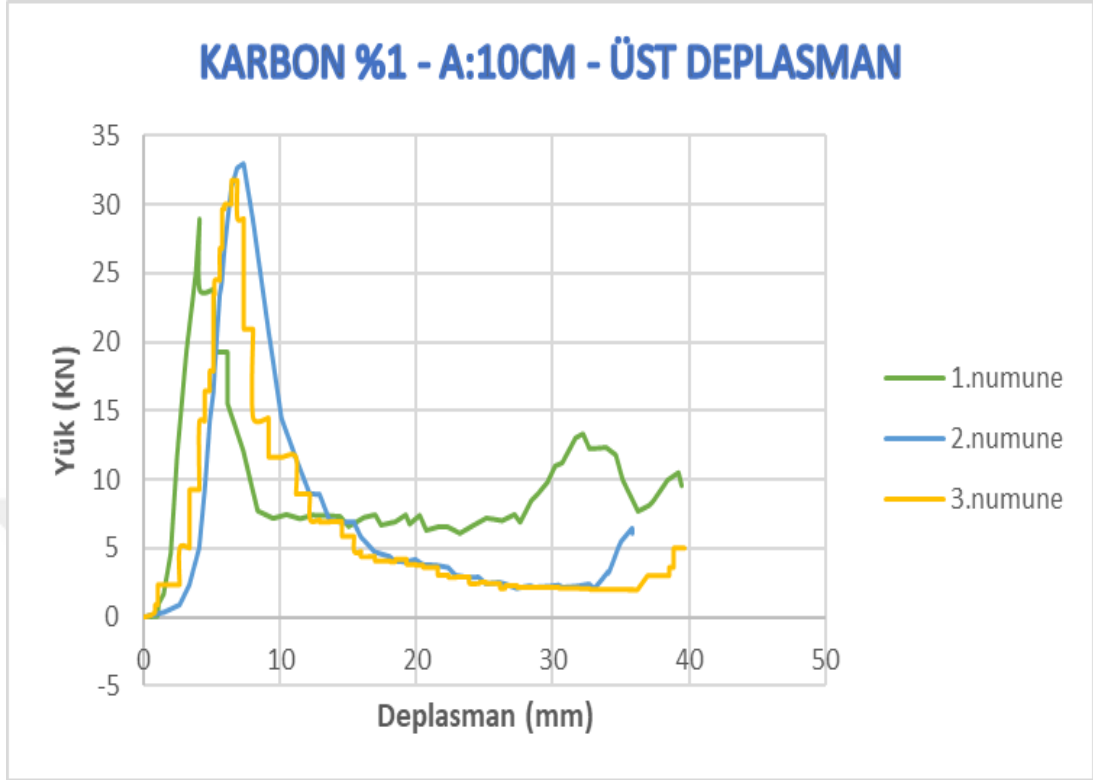


Şekil 4.27 Karbon %0,5, A:15cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri

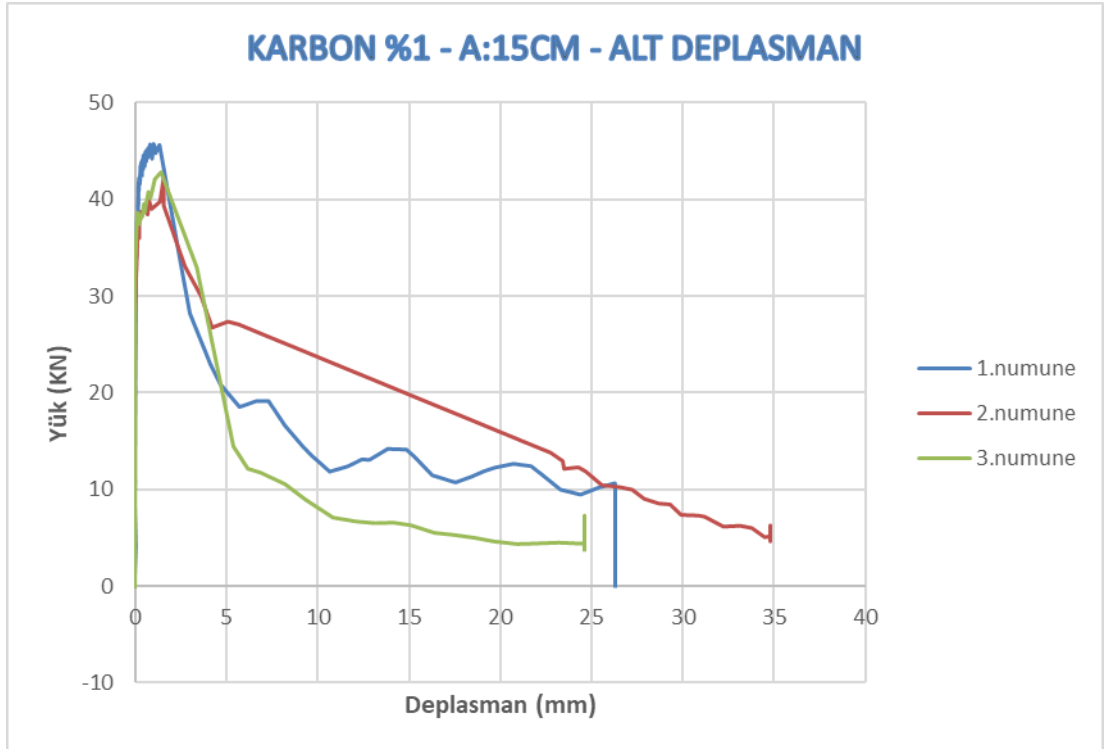
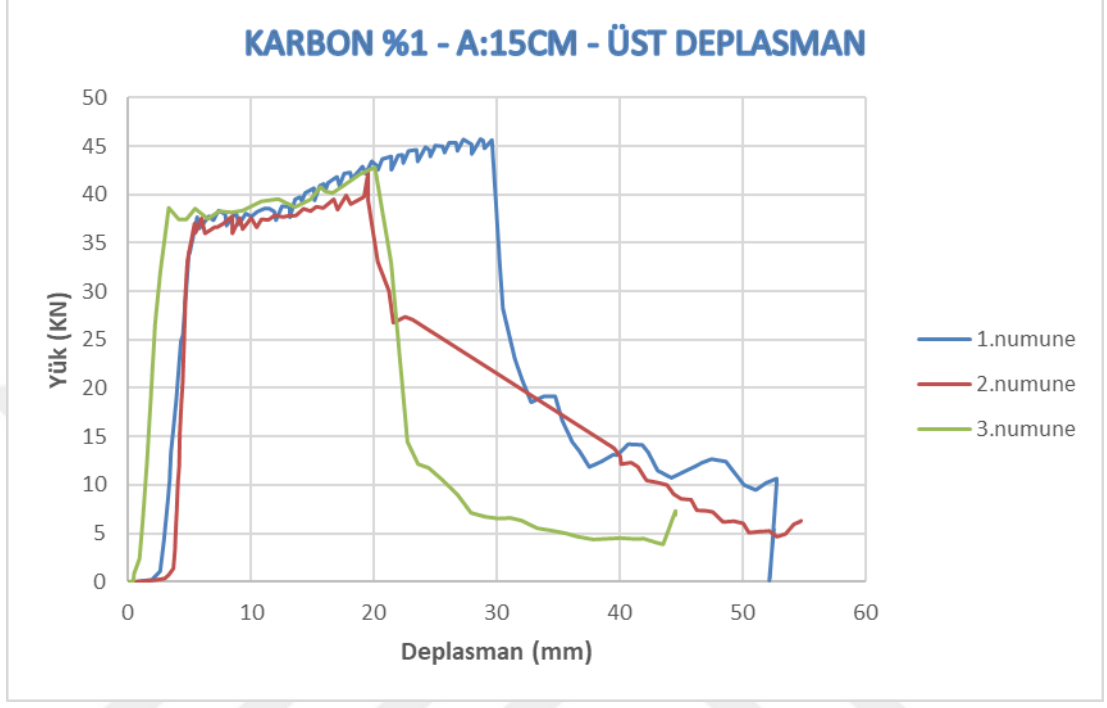


Şekil 4.28 Karbon %1, A:5cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri





Şekil 4.29 Karbon %1, A:10cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri



Şekil 4.30 Karbon %1, A:15cm olan numunelere ait yük-deplasman grafikleri

Yapılan çelik çubuk çekme (pull-out) deneylerinde, her bir küp numunemiz için 5 cm, 10 cm ve 15 cm aderans boyları dikkate alınarak aderans durumları incelenmiştir. Deneylerin güvenilirliğini artırmak için her bir numuneden üçer adet kullanılmıştır. Kullanılan numuneler, hem kendi grubu içindeki numunelerle hem de gruplar arasındaki numunelerle kıyaslanmıştır.

Çizelge 4.1 Beton numunelerinin çelik çubuk çekme deneyi maksimum kuvvet değerleri

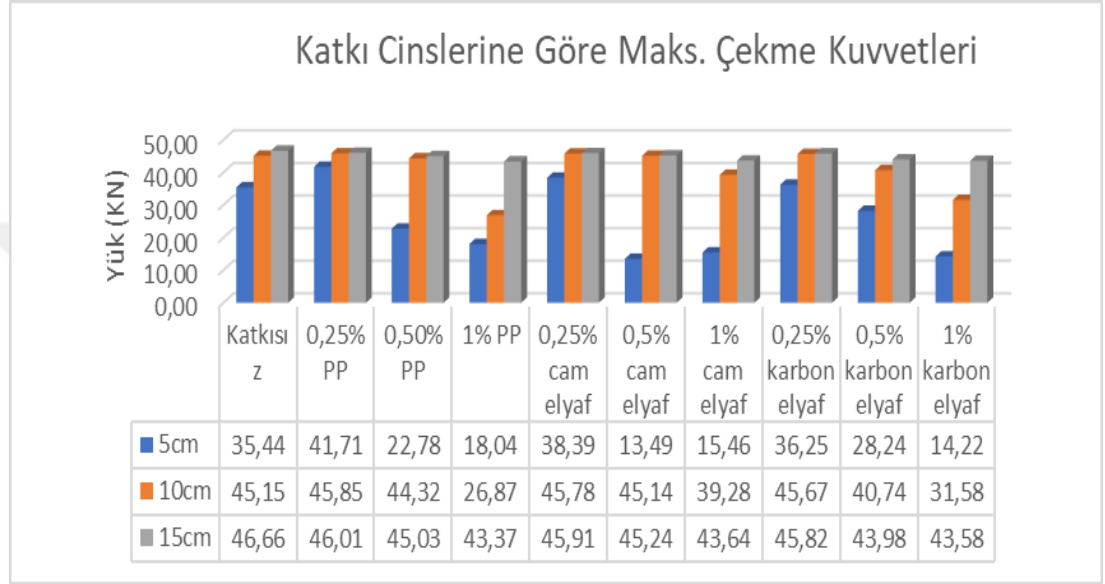
Numune Cinsi	Aderans Boyu	Maksimum Çekme Kuvveti (KN)			
		Numune1	Numune2	Numune3	Ortalama
Katkısız	5cm	32,47	36,37	37,49	35,44
	10cm	46,55	45,37	43,54	45,15
	15cm	46,78	46,12	47,07	46,66
0,25% polipropilen	5cm	39,95	43,26	41,93	41,71
	10cm	45,44	45,67	46,45	45,85
	15cm	45,63	46,89	45,52	46,01
0,50% polipropilen	5cm	21,63	25,04	21,66	22,78
	10cm	44,16	44,52	44,29	44,32
	15cm	44,56	44,08	46,46	45,03
1% polipropilen	5cm	17,9	18,05	18,17	18,04
	10cm	26,74	26,81	27,05	26,87
	15cm	45,02	43,21	41,88	43,37
0,25% cam elyaf	5cm	38,17	39,01	38	38,39
	10cm	45,96	45,24	46,13	45,78
	15cm	45,68	46,13	45,91	45,91
0,5% cam elyaf	5cm	12,53	13,43	14,52	13,49
	10cm	46,11	46,06	43,24	45,14
	15cm	45,99	44,81	44,93	45,24
1% cam elyaf	5cm	14,08	15,53	16,76	15,46
	10cm	40,04	41,16	39,94	39,28
	15cm	45,77	42,15	43,01	43,64
0,25% karbon elyaf	5cm	35,36	37,52	35,88	36,25
	10cm	45,07	46,42	45,53	45,67
	15cm	44,89	44,97	47,59	45,82
0,5% karbon elyaf	5cm	28,62	28,55	27,55	28,24
	10cm	40,17	39,25	42,79	40,74
	15cm	43,69	44,41	43,85	43,98
1% karbon elyaf	5cm	13,98	13,43	15,26	14,22
	10cm	29,99	33,01	31,74	31,58
	15cm	45,65	42,26	42,83	43,58

Numunelerde dikkate değer sıyrılmaya başlamadan önce taşınan en büyük ortalama yük değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

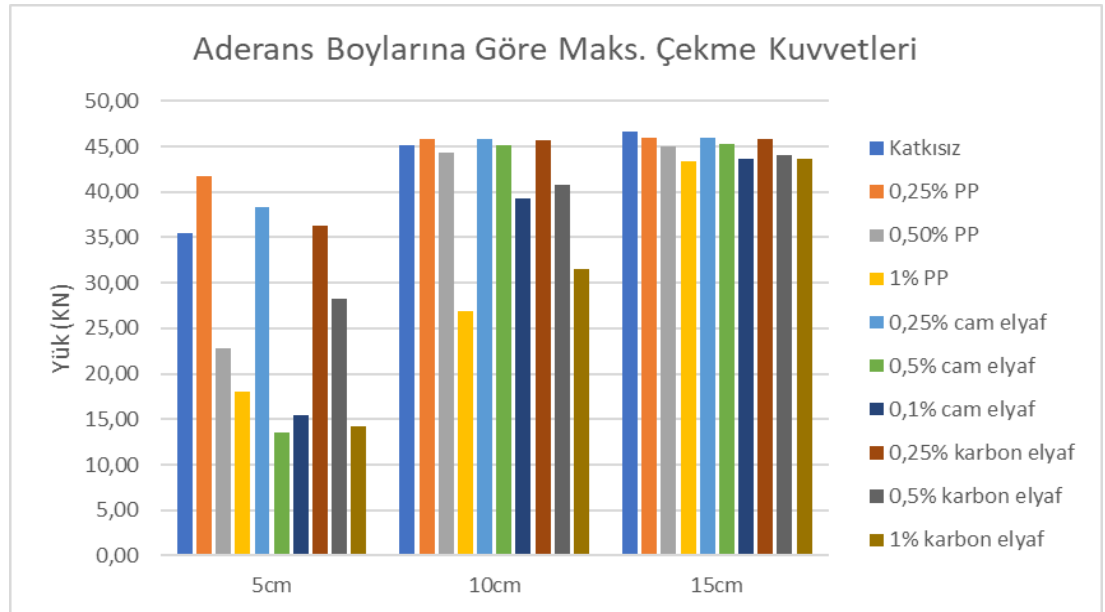
Çizelge 4.2 Beton numunelerinin çekme çubuk deneyindeki ortalama maks.çekme dayanım kuvvetleri

Cinsi	Aderans Boylarına Göre Ortalama Maksimum Çekme Kuvvetleri (KN)		
	5cm	10cm	15cm
<b>Katkısız</b>	35,44	45,15	46,66
<b>0,25% PP</b>	41,71	45,85	46,01
<b>0,50% PP</b>	22,78	44,32	45,03
<b>1% PP</b>	18,04	26,87	43,37
<b>0,25% cam elyaf</b>	38,39	45,78	45,91
<b>0,5% cam elyaf</b>	13,49	45,14	45,24
<b>1% cam elyaf</b>	15,46	39,28	43,64
<b>0,25% karbon elyaf</b>	36,25	45,67	45,82
<b>0,5% karbon elyaf</b>	28,24	40,74	43,98
<b>1% karbon elyaf</b>	14,22	31,58	43,58

Sonuçlar grafiklere aktarılarak inceleme yapılmıştır. Katkı cinslerine göre maksimum çekme kuvvetleri grafikleri incelendiğinde betondaki katkı oranı belli seviyenin üstüne çıktığında adersana olumsuz etki ettiği, kullanılan katkı malzemelerinin çekme dayanımına ciddi bir katkısı olmadığı görülmüştür.

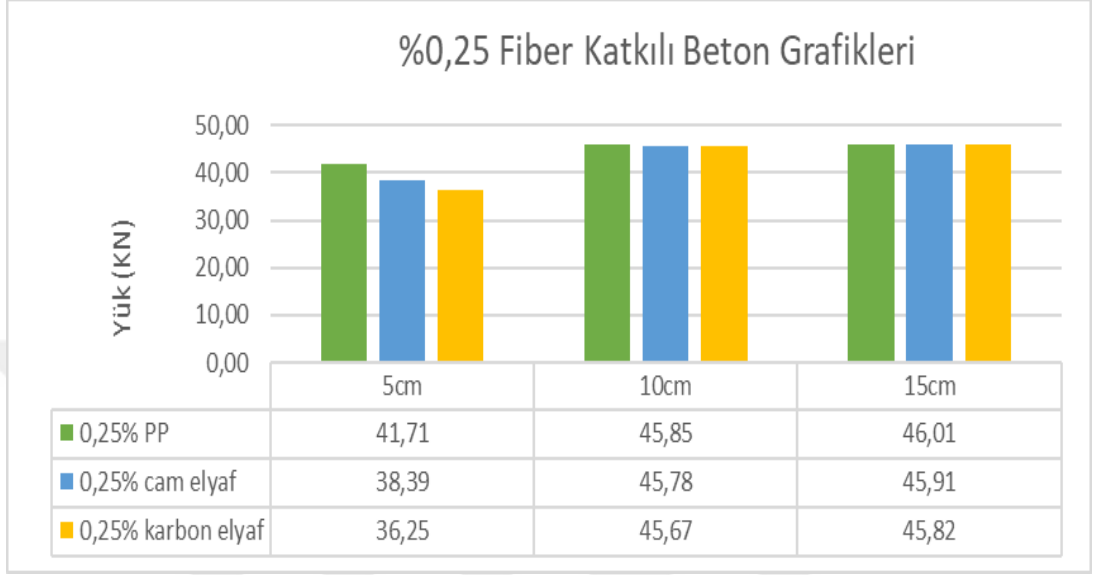


Şekil 4.31 Beton numunelerinin çekme çubuk deneyindeki maksimum çekme dayanım kuvvetleri

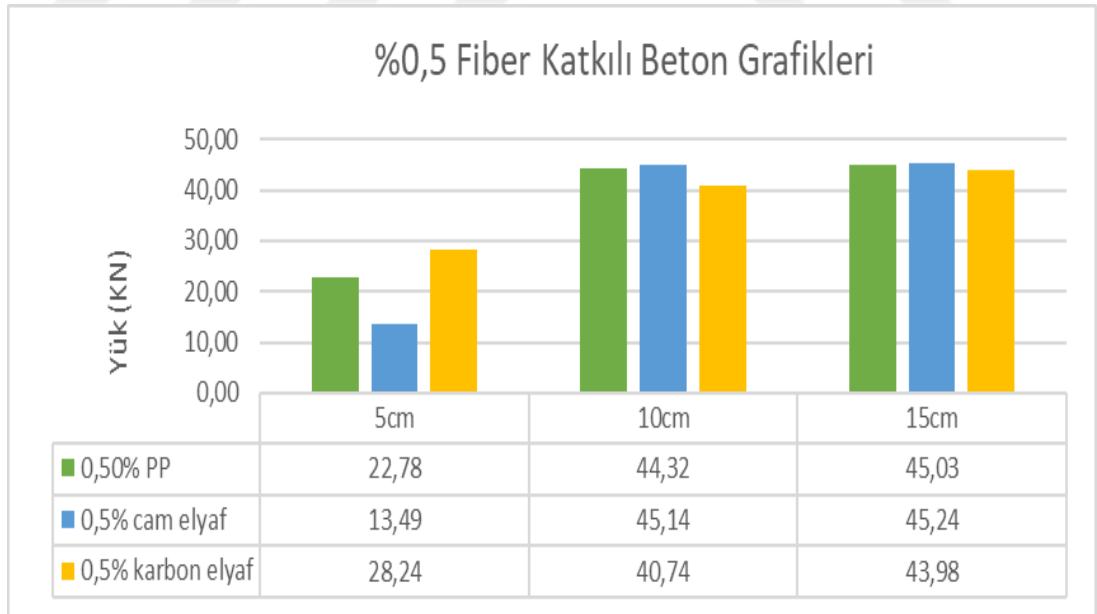


Şekil 4.32 Çekme dayanım kuvvetlerinin adersans boylarına göre gruplandırılması

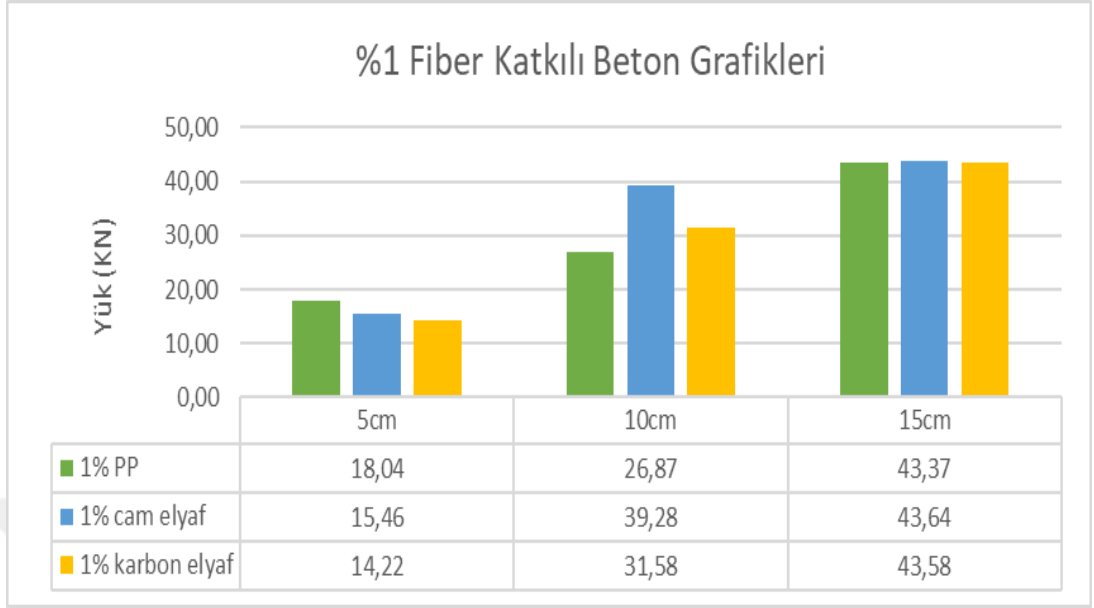
Aderans boylarına göre maksimum çekme kuvvetleri grafiği incelendiğinde betonda aderans boyu arttıkça çekme dayanımında belirgin bir oranda arttığı görülmektedir.



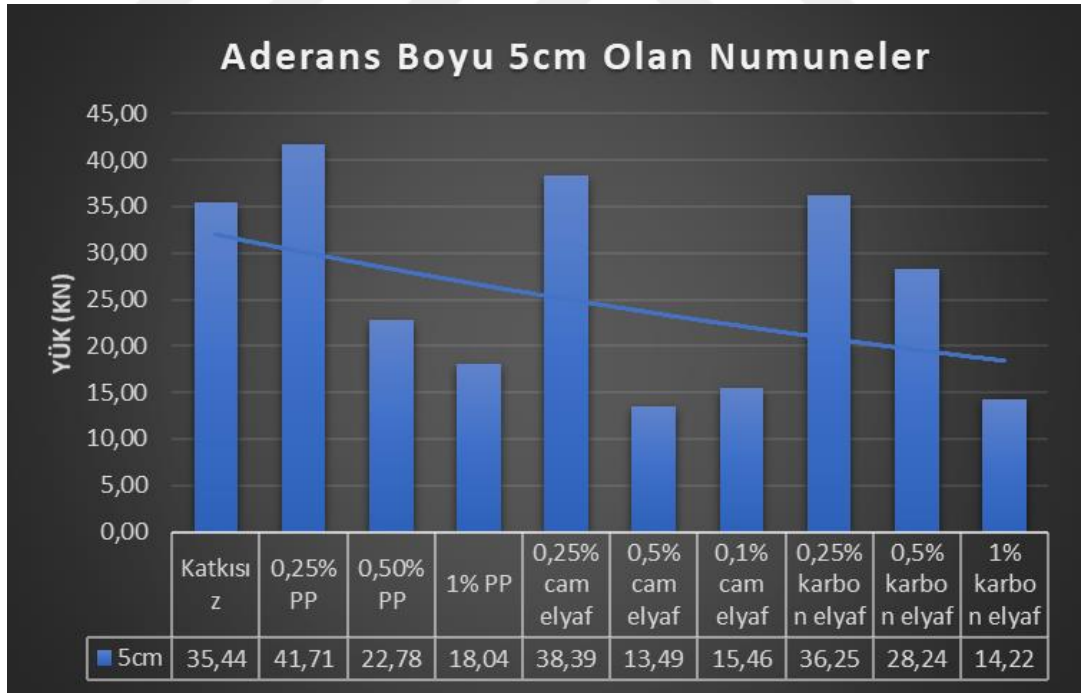
Şekil 4.33 %0,25 Fiber katkıli betonların maksimum çekme kuvvetleri



Şekil 4.34 %0,5 Fiber katkıli betonların maksimum çekme kuvvetleri



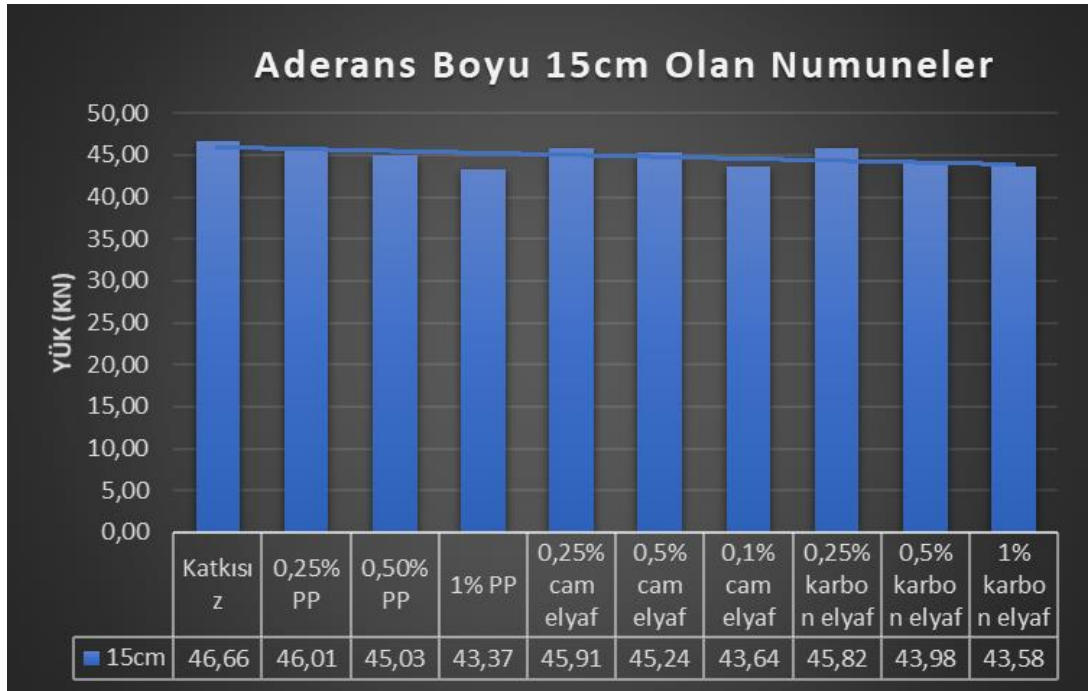
Şekil 4.35 %0,1 Fiber katkıli betonların maksimum çekme kuvvetleri



Şekil 4.36 5cm Aderans boyuna sahip betonlarda maksimum çekme kuvvetleri



Şekil 4.37 10cm Aderans boyuna sahip betonlarda maksimum çekme kuvvetleri



Şekil 4.38 15cm Aderans boyuna sahip betonlarda maksimum çekme kuvvetleri



## 4.2. Beton Basınç Deneyi Sonuçları

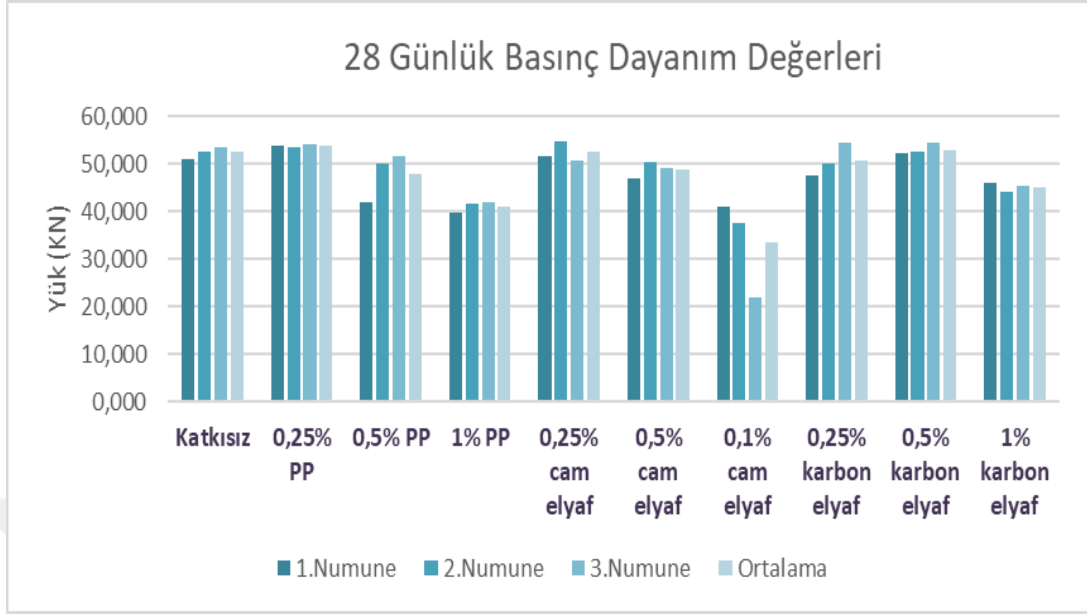
Katkısız ve farklı katkı oranları ile hazırlanan 60 adet küp numune basınç dayanım testine tabi tutulmuştur. Beton basınç dayanımlarına ait değerler Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te verilmiştir.



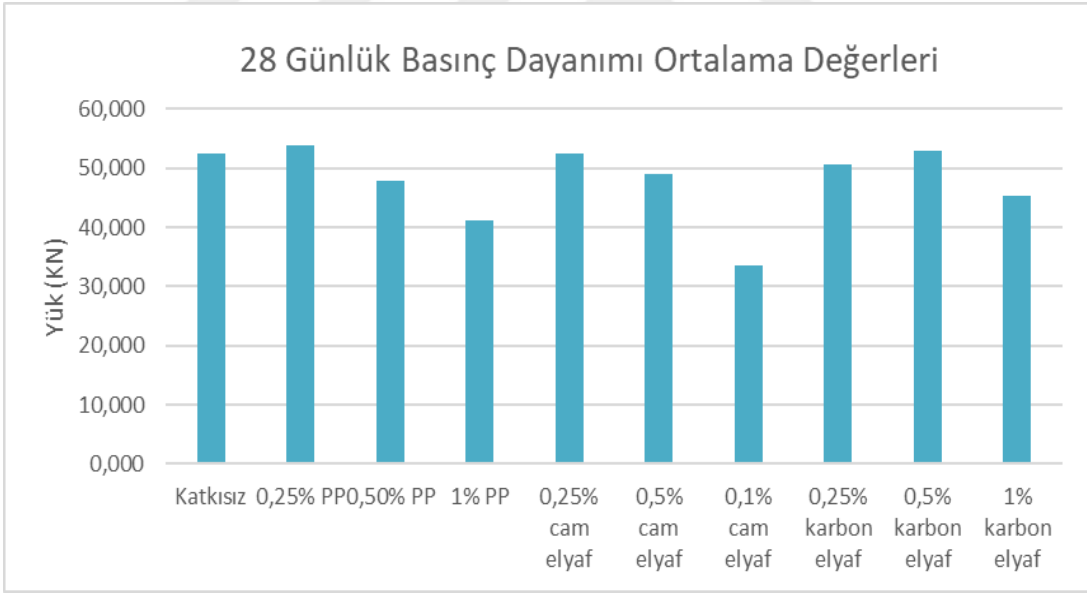
Şekil 4.39 Basınç dayanım deneyi düzeneği

Çizelge 4.3 28 Günlük beton basınç deneyi maksimum kuvvet değerleri

28 günlük	1.Numune	2.Numune	3.Numune	Ortalama
Katkısız	51,151	52,649	53,596	52,465
0,25% PP	53,724	53,378	54,151	53,751
0,50% PP	42,116	50,036	51,578	47,910
1% PP	39,884	41,640	41,978	41,167
0,25% cam elyaf	51,649	54,907	50,804	52,453
0,5% cam elyaf	47,027	50,502	49,111	48,880
0,1% cam elyaf	40,960	37,702	21,831	33,498
0,25% karbon elyaf	47,467	50,102	54,422	50,664
0,5% karbon elyaf	52,231	52,533	54,311	53,025
1% karbon elyaf	46,098	44,276	45,347	45,240



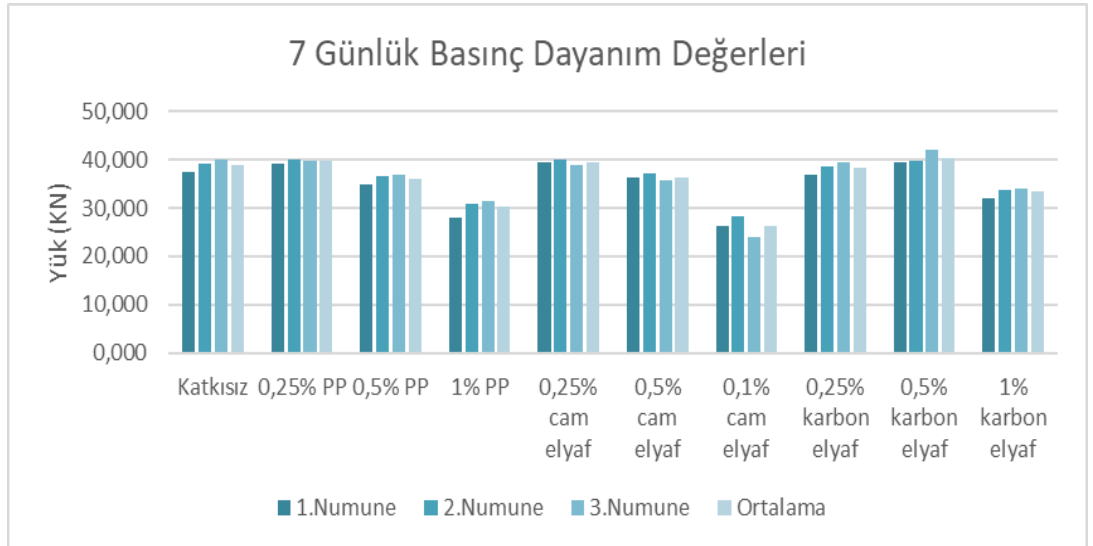
Şekil 4.40 28 Günlük beton basınç dayanım değerleri



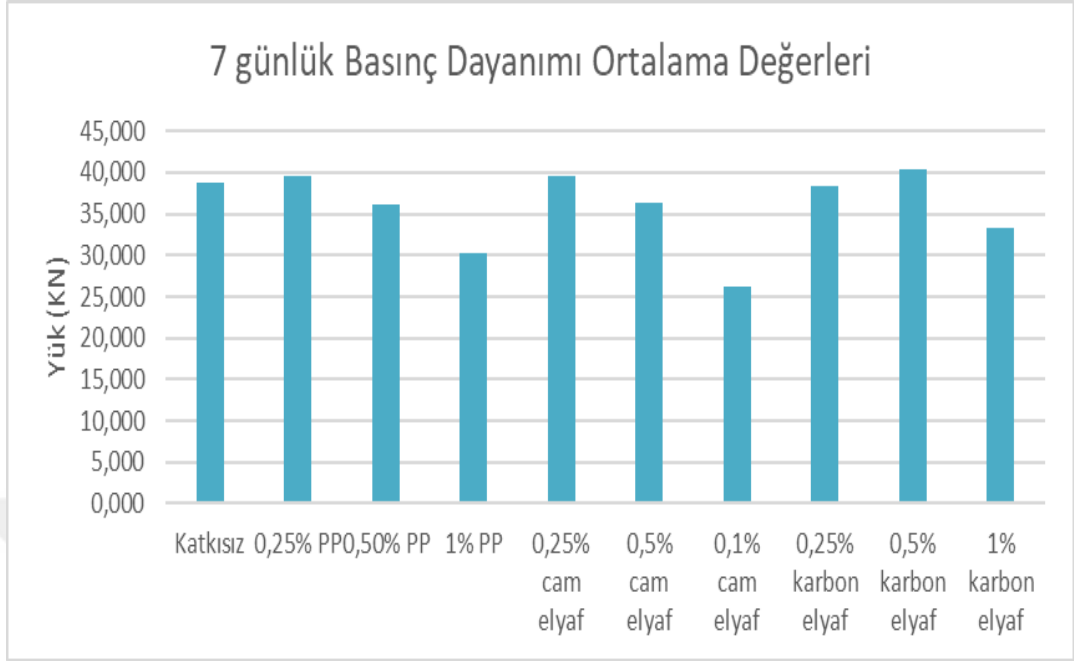
Şekil 4.41 28 Günlük beton basınç dayanımı ortalama değerleri

Çizelge 4.4 7 Günlük beton basınç deneyi maksimum kuvvet değerleri

7 günlük	1.Numune	2.Numune	3.Numune	Ortalama
Katkısız	37,486	39,158	39,975	38,873
0,25% PP	39,148	40,034	39,671	39,618
0,5% PP	34,896	36,475	36,974	36,115
1% PP	28,145	30,894	31,478	30,172
0,25% cam elyaf	39,486	40,158	38,953	39,532
0,5% cam elyaf	36,452	37,127	35,698	36,426
0,1% cam elyaf	26,214	28,277	24,128	26,206
0,25% karbon elyaf	36,974	38,741	39,458	38,391
0,5% karbon elyaf	39,478	39,853	41,974	40,435
1% karbon elyaf	32,147	33,652	34,158	33,319



Şekil 4.42 7 Günlük beton basınç dayanım değerleri



Şekil 4.43 7 Günlük beton basınç dayanımı ortalama değerleri

### 4.3 Aderans Hesapları

Deney numunelerine ait aderans gerilme değerleri denklem 4.1 yardımıyla hesaplanmış ve çizelge 4.5'te verilmiştir.

$$\tau = \frac{\text{Aderans Kuvveti}}{\pi \times \varphi \times \ell} \quad (4.1)$$

Bu formülde;

$\tau$  = Aderans Gerilmesi

$\varnothing$  = Donatı çapı

$\ell$  = Aderans boyu (Betona gömülü donatı uzunluğu)

Çizelge 4.5 Aderans gerilmeleri

Cinsi	Aderans Boylarına Göre Aderans Gerilmeleri $\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )		
	5cm	10cm	15cm
<b>Katkısız</b>	22,6	14,4	9,9
<b>0,25% PP</b>	26,6	14,6	9,8
<b>0,50% PP</b>	14,5	14,1	9,6
<b>1% PP</b>	11,5	8,6	9,2
<b>0,25% cam elyaf</b>	24,4	14,6	9,7
<b>0,5% cam elyaf</b>	8,6	14,4	9,6
<b>1% cam elyaf</b>	9,8	12,5	9,3
<b>0,25% karbon elyaf</b>	23,1	14,5	9,7
<b>0,5% karbon elyaf</b>	18	13	9,3
<b>1% karbon elyaf</b>	9,1	10,1	9,2

## 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çelik çubuk çekme deneyinin sonuçları incelendiğinde, %0,25 oranında katılan katkı malzemelerinin, yetersiz aderans boyunda yani aderans boyunun 5cm olduğu numunelerde ortalama %1 dolaylarında dayanım artışı sağladığı görülmektedir. Bununla beraber yine yetersiz aderans boyunda %0,5 oranında katılan katkı malzemeleri pozitif ya da negatif yönde ciddi bir etki göstermemiş olup %1 oranında katılan katkıları ise beton dayanımını olumsuz yönde etkilemiştir. Bunun sebebi de yüksek oranda ilave edilen mikrofiber katkı malzemelerinin betonarmenin kompozit yapısı içerisinde homojen olarak dağılamaması ve işlenebilirliğinin azalmasıdır. Beton içerisinde çelik çubuğun aderans boyu 10 cm'ye çıkarıldığında ise %0,25 ve %0,5 oranlarında ilave edilen katkılı betonların dayanımını katkısız beton ile hemen hemen aynı çıkmış, %1 oranında ki katkılı betonlarda %20 dolaylarında ciddi bir dayanım düşüşü görülmüştür. Beton içerisinde yeterli aderans boyu sağlandığında yani 15cm'lik numunelerde ise katkısız betonun katkılı betonlardan daha iyi performans gösterdiği, katkılı betonlarda da katkı malzemesi arttıkça %1 dolaylarında küçük oranlarda dayanım kayıpları yaşandığı tespit edilmiştir.

Elde edilen bu sonuçlara göre yetersiz aderans boyuna sahip bir çelik çubuklu beton numunesine, doğru oranda katılmış mikrofiber katkıları sıyrılmaya karşı pozitif etki ederken, gereğinden fazla oranda kullanılan tüm mikrofiber katkıların sıyrılmaya karşı olumsuz etki ettiği görülmektedir. Aderans boyunun yeterli seviyeye ulaştığı durumlarda ise mikrofiber katkı malzemelerinin sıyrılmaya pozitif değil negatif etki ettiği görülmektedir.

Beton numunelerinin hazırlanması aşamasında %0,25 oranında katkı katılarak üretilen beton numunelerinin yüzeylerinin diğer numune yüzeylerine göre daha pürüzsüz ve daha parlak oldukları görülmüştür. Bu da dış etkenlere karşı çok daha korunaklı olduklarını göstermektedir.

Beton basınç deneyi sonuçları incelendiğinde polipropilen katkı malzemesinin %0,25 oranlı numunesinin dayanımında %4 civarında bir dayanım artışı olduğu görülmektedir. %0,5 ve %1 oranındaki katkılı beton numunelerinde ise dayanım

kayıplarının olduğu görülmüştür. Cam elyafın %0,25'lik numunelerinde dayanım hemen hemen katkısız betonla eşit çıkmış olup cam elyafın artan katkı oranlarında dayanım düşüşleri yaşandığı görülmüştür. Karbon elyafın %0,25 ve %1'lik numunelerinde dayanım düşüşleri görülürken %0,5'lik numunesinde dayanım artışı görülmüştür.

Kullanılan fiber katkı malzemelerinin basınç dayanımı yönünden, özellikle katkı oranı arttıkça pozitif etkiden çok negatif etki ettikleri görülmüştür. Fakat doğru oranda kullanıldıklarında küçükte olsa dayanım artışı sağladıkları ve pürüzsüz ve parlak yüzey meydana getirdikleri için betonun dış etkenlerden korunmasına katkı sağlayacakları kanaatine varılmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] State-of-the-Art Report on Bond Under Cyclic Loads. Reported by ACI Committee 408. ACI 408.2R-92, ACI, Michigan, 1992.
- [2] Bond Action and Bond Behaviour of Reinforcement. State-of-the-Art Report. CEB Bulletind'Information No. 151, December 1981.
- [3] Topçu, İ.B. (2006), Beton Teknolojisi, 570s., Uğur Ofset A.Ş., Eskişehir.
- [4] Arslan, A., ve Ulucan, Z. Ç., (1997), Çelik Lif-lerin Erken Yaştaki Betonarme Kirişlerin Göç-mesine Etkisi, İMO Teknik Dergi, Cilt 8, no 4, 1507-1515.
- [5] Şimşek O. 2004. Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yay. San. ve Tic. A.Ş, Ankara, 242s.
- [6] Topçu İ. B., Canbaz M. (2006). Effect of Different Fibers on the Mechanical Properties of Concrete Containing Fly Ash. Construction and Building Materials. 21(7), 1486-1491.
- [7] Şimşek O., Erdal, M., Sancak, E. (2005). Silis Dumanının Çelik Lifli Betonun Eğilme Dayanı-mına Etkisi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 20, 211-215.
- [8] Yıldız, S., Ulucan, Z. Ç., (1998). Cam Lifinin Betonun Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkisi ile İlgili Bir Araştırma, GAP 2. Mühendislik Kongresi, Harran Üniversitesi, Mühendislik Fa-kültesi, s.15-21, 21-23 Mayıs 1998, Şanlıurfa.
- [9] Yaprak, H., Şimşek, O., Öneş, A. (2004). Cam ve Çelik Liflerin Bazı Beton Özelliklerine Et-kisi. Politeknik Dergisi, 7, 353-358.
- [10] Chung, D.D.L. (2005). Dispersion of Short Fibers in Cement, Journal of Materials in Civil Engineering. ASCE July/August 2005, 379-383.
- [11] Arda, T. S. 1968a, Betonarmede Aderans Konusunda Bir Derleme, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Yayını, İstanbul.
- [12] D. Ngo and A. C. Scordelis, "Finite element analysis of reinforced concrete beams", J. Am. Concr. Inst., Vol. 64, pp. 152-163, 1967.
- [13] Petersson, Ö., 2002, Limestone Powder as Filler in Self-Compacting Concrete – Frost Resistance, Compressive Strength and Chloride Diffusivity, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, p. 391-396.
- [14] Hollingsworth, D., 2002, Design and Use of Self-Consolidating Concrete, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, p. 429–432.



[15] Bouzoubaa, N., Lachemi, M., 2001. Self-compacting concrete incorporating high volumes of class F fly ash Preliminary results, Cem. Concr. Res., Vol: 31, p. 413-420.

[16] Aka, İ., Keskinel, F. ve Arda, T. S., 1985, Betonarmeye giriş. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yayını, yayın no: 7, İstanbul, 424

[17] Baena, M., Torres, L., Turon, A., Barris, C., "Experimental study of bond behaviour between concrete and FRP bars using a pull-out test" Composites Part B: Engineering, 40-8,784-797 (2009).

[18] Erten, K. M., 2009. Katkılı Betonların Aderans Dayanımının İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s.14, Isparta.

[19] Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, Beton Kullanıcıları için Teknik Bilgiler Kılavuzu, İstanbul

[20]" Süper Akışkanlaştırıcılar" erişim adresi: <http://tur.sika.com/dms/getredirect.get/tr01.webdms.sika.com/237>, erişim tarihi: 20.12.2017.

[21] Türk Standardı, TS 708, 2010, Türk Standartları Enstitüsü.

## ÖZGEÇMİŞ

### **Kişisel Bilgiler**

Soyadı, Adı : TEKELİ, İsmail Emre  
Uyuşu : T.C.  
Doğum Yeri ve Tarihi : Tosya - 1988  
Telefon : 0554 730 79 50  
e-mail : [ismailemretekeli@gmail.com](mailto:ismailemretekeli@gmail.com)

### **Eğitim**

<b><u>Derece</u></b>	<b><u>Eğitim Birimi</u></b>	<b><u>Mezuniyet Tarihi</u></b>
Lisans	Selçuk Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği	2013

### **İş Deneyimi**

<b><u>Yıl</u></b>	<b><u>Yer</u></b>	<b><u>Görevi</u></b>
2013-2016	Komyapı A.Ş./Konya	İnşaat Mühendisi
2016-	Koreli Yapı/Konya	İnşaat Mühendisi