



T.C.
KTO Karatay Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

ÇELİK LİFLERİN BETON VE DONATI ARASINDAKİ ADERANSA
ETKİSİ

Mehmet ORHAN

KONYA
ŞUBAT 2018

ÇELİK LİFLERİN BETON VE DONATI ARASINDAKİ ADERANSA ETKİSİ

Mehmet ORHAN

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

Yüksek Lisans Tezi

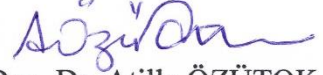
KONYA
ŞUBAT 2018

Fen Bilimleri Enstitü Onayı



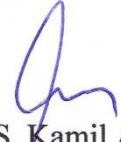
Prof. Dr. Hüseyin Bekir YILDIZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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



Doç. Dr. Atilla ÖZÜTOK
Anabilim Dalı Başkanı

Mehmet ORHAN tarafından hazırlanan ÇELİK LİFLERİN BETON VE DONATI ARASINDAKİ ADERANSA ETKİSİ başlıklı bu çalışma 14.02.2018 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jüri tarafından tezli yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



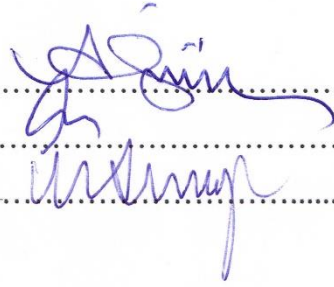
Yrd. Doç. Dr. S. Kamil AKIN
Tez Danışmanı

Jüri Üyeleri

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Abdülkerim İLGÜN.....

Üye: Yrd. Doç. Dr. S. Kamil AKIN.....

Üye: Yrd. Doç. Dr. M. Alpaslan KÖROĞLU.....



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 kayıplarımı kabullendiğimi beyan ederim.

14.02.2018

Mehmet ORHAN



ÖZET

ÇELİK LİFLERİN BETON VE DONATI ARASINDAKİ ADERANSA ETKİSİ

ORHAN, Mehmet

Yüksek Lisans - İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. S. Kamil AKIN

Şubat 2018

Beton, çekme dayanımı ve çekme birim deformasyon kapasitesi düşük olan gevrek yapıdaki bir malzemedir. Betonun bu özelliklerinin belirgin olarak gerektiği yerlerde, beton içerisine çelik liflerin katılması sonucu, betonun zayıf özellikleri iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Bu sayede mikro çatlaklarının büyümesini de engellemektedir.

Bu çalışmada beton ile donatı arasındaki aderans davranışına, iki ucu kancalı ve uzunluğu 60 mm olan çelik liflerin etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Numune beton karışımları, iki farklı su/çimento oranında hazırlanmıştır. Beton karışımları, Karışım-1(K1) betonu ile Karışım-2(K2) betonu olarak adlandırılmıştır. Hazırlanan betonlar, çelik lif katılmadan ve hacimsel olarak %1,00, %0,50 ve %0,25 oranda çelik lif katılarak, oluşturulmuştur. Bu karışımlara, 10 mm çapındaki nervürlü çelik donatı çubukları, düşey olarak 5 cm, 10 cm ve 15 cm boylarında sabitlenerek gömülmüştür. Farklı boyda aderans, farklı çelik lif oranı ve farklı beton karışımları 28 gün uygun kür şartları altında bekletilerek beton numuneler üzerinde, çekip-çıkarma (pull-out) deneyleri yapılarak aderansa etkisi incelenmiştir. Çelik donatı çubuğun gömülmediği numunelere ise basınç deneyleri uygulanmıştır.

Deneyler neticesinde, çelik lifler basınç dayanımının artmasına olumsuz katkı sağladığı, beton ve donatı arasındaki aderans mesafesinin artmasıyla çekme kuvvetlerinin arttığı ancak çelik lif olan numunelerin olmayanlara göre çoğunlukla çekme kuvvetinin daha düşük olduğu görülmüştür. Bu çalışmanın daha önce yapılmış çalışmalar ve standartlar açısından, literatüre katkısı olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çelik Lif, Çelik lifli betonlar, Aderans, Dayanım

ABSTRACT

STEEL FIBERS BETWEEN CONCRETE AND EQUIPMENT ADHERANCE EFFECT

ORHAN, Mehmet

M. Sc. Civil Engineering

Ass. Prof. Dr. S.Kamil AKIN

February 2018

Concrete is a brittle material with low tensile strength and tensile unit deformation capacity. Where these properties of concrete are obviously required, it is attempted to improve the weak properties of the concrete resulting in the addition of steel fibers into the concrete. This also prevents the growth of microfractures.

In this study, the effects of steel fibers with two hooks and 60 mm length were experimentally investigated for the adherence behavior between concrete and reinforcement. Sample concrete mixtures were prepared at two different water / cement ratios. Concrete mixtures are called Mixture-1 (K1) and Mixture-2 (K2) concrete. The prepared concrete was formed by adding steel fiber without adding steel fiber and by adding 1,00%, 0,50% and 0,25% by volume of steel fiber. To these mixtures, 10 mm diameter rebar steel reinforcement rods are embedded with fixation at 5 cm, 10 cm and 15 cm longitudinally.

Different adherence, different steel fiber ratio and different concrete mixes were kept under suitable curing conditions for 28 days and adherence effect was investigated by making pull-out experiments on concrete samples. Pressure tests were applied to the specimens where steel reinforcement bars were not buried.

As a result of the experiments, it is seen that the steel fibers adversely contribute to the increase of compressive strength, the tensile strength increases with the increase of the adherence distance between concrete and reinforcement, but the tensile strength is lower than the steel fibers. It is thought that this study will contribute to the literature in terms of previous studies and standards.

Keywords: Steel Fiber, Steel fiber concretes, Adherence, Strength

TEŞEKKÜR

Bu alıŐma KTO Karatay Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne Yüksek Lisans tezi olarak sunulmuştur.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bana rehberlik eden bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan ve yardımcı olan danışman hocam Yrd. Doç. Dr. S. Kamil Akın'a çok teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışma boyunca bana yardımcı olan yol gösteren bölüm hocalarıma ve laboratuvar çalışmalarda yardımcı olan İsmail TONGARLAK' a, Rıza ELVAN'a ve Emre GÜLEK'e teşekkür ederim.

Son olarak eğitim hayatımda beni destekleyen başta eŐim Nursena ORHAN, babam Osman ORHAN, annem Fatma Nur ORHAN, kardeŐlerime sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Mehmet ORHAN

Şubat-2018

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
KISALTMALAR VE FORMÜLLER	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tez Hakkında Genel Bilgiler	5
1.2. Tezin Amacı	6
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	7
2.1. Betonlar	16
2.2. Lifler Hakkında Genel Bilgi	17
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	22
3.1. Deneyselerde Kullanılan Malzemeler	22
3.1.1. Çimento	22
3.1.2. Karışım Suyu	23
3.1.3. Agregalar	23
3.1.4. Yüksek Performanslı Süper Akışkanlaştırıcı	24
3.1.5. Çelik Lif	25
3.1.6. Nervürlü Donatı	25
3.2. Deneysel Çalışmanın Amacı ve İçeriği	26
3.3. Beton Karışımları ve Numune Kodları	26
3.4. Beton karışımlarının hazırlanması	28
3.5. Taze Beton deneyleri	33

3.5.1. Slump Çökme Deneyi Sonuçları	33
3.6. Numunelerin saklanması	34
3.7. Sertleşmiş Beton Deneyleri	35
3.7.1. Çekip Çıkarma Deneyi	35
3.7.2. Basınç Dayanım Deneyi	39
3.8. Deney Sonuçları	40
3.8.1. Çekip Çıkarma Dayanım Deney Sonuçları	40
3.8.2. Basınç Dayanım Deney Sonuçları	54
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	68

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Lif çeşitlerinin tipik özellikleri [63]	20
Çizelge 3.1. Kullanılan çimentonun özellikleri	23
Çizelge 3.2. 1 m ³ Beton karışımı için kullanılan agregaların özellikleri	24
Çizelge 3.3. Yüksek Performanslı Süper Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı malzemesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri	25
Çizelge 3.4. Kullanılan çelik liflerin fiziksel ve kimyasal özellikleri	25
Çizelge 3.5. Çelik nervürlü demirin özellikleri	26
Çizelge 3.6. Ø10 çelik çubuğunun özellikleri	26
Çizelge 3.7. K1 ve K2 beton karışımlarının su/çimento değerleri	27
Çizelge 3.8. K1 Karışımların gerçek beton bileşimleri (1 kg/m ³ için)	27
Çizelge 3.9. K2 Karışımların gerçek beton bileşimleri (1 kg/m ³ için)	28
Çizelge 3.10. K2 Karışımların gerçek beton bileşimleri (1 kg/m ³ için)	30
Çizelge 3.11. K1 ve K2 beton karışımlarının slump çökme deneyi değerleri	34
Çizelge 3.12. K1 beton karışımı için çekip çıkarma deneyi sonuçlarının değerleri.	50
Çizelge 3.13. K1 beton karışımı, %0,25-0,5-1,0 ve lif olmayan oranında çelik lif katkılı betonunun aritmetik ortalama yük değerleri.	50
Çizelge 3.14. K2 beton karışımı için çekip çıkarma deneyi sonuçlarının değerleri.	52
Çizelge 3.15. K2 beton karışımı, %0,25-0,5-1,0 ve lif olmayan oranında çelik lif katkılı betonunun aritmetik ortalama yük değerleri.	52
Çizelge 3.16. K1 ve K2 beton karışımları, küp basınç dayanımları	54
Çizelge 3.17. K1 ve K2 beton karışımları, silindir basınç dayanımları	54

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Eğilme aderansı	2
Şekil 2.1. Liflerin gerilme kuvvetlerini bir köprü gibi aktarması [62]	19
Şekil 2.2. Lifli betonun tipik gerilme şekil değiştirme diyagramı [62]	19
Şekil 2.3. Çelik liflerin şekilleri (TS 10513, 1992)[65]	21
Şekil 2.4. Kancalı uçlu lif (Tip 1).	22
Şekil 2.5. Dalgalı lif (Tip 2).	22
Şekil 2.6. İki Ucu çengelli lif (Tip 3).	22
Şekil 2.7. Düz ve kancalı uçlu lif (Tip 4).	22
Şekil 3.1. Kullanılan çelik lifin resmi	25
Şekil 3.2. Üç farklı aderansın dökülen kaplardaki kesit görünüşleri	29
Şekil 3.3. Numune kalıplarının üç boyutlu görünümü	30
Şekil 3.4. Numune kalıplarının görünümü	31
Şekil 3.5. Deneyleerde kullanılan dijital hassas tartı	31
Şekil 3.6. Betoniyer ve farklı eleklerden geçirilmiş agregaların görünümü	32
Şekil 3.7. Deneyleerde kullanılan çelik tellerin iki farklı görünümü	32
Şekil 3.8. Numunelerin döküm sonrası görünümü	32
Şekil 3.9. Boş ve lifli betonların slump deneyleerinin resmi	33
Şekil 3.10. Numune kaplarının bekletildiği su dolu havuz	34
Şekil 3.11. Numune kaplarının döküm sonrası görünümü	35
Şekil 3.12. Düzenek üç boyutlu görünümü	36
Şekil 3.13. Düzenek iki boyutlu görünümü	36
Şekil 3.14. Data logger cihazı	37
Şekil 3.15. Potansiyometrik lineer cetvel	37
Şekil 3.16. Düzenek görünümü	37
Şekil 3.17. Data logger cihazı ve verilerin kayıt olduğu bilgisayar	38
Şekil 3.18. Yukarıdaki üçlü görünüm; Numunenin sabitleme işlemi yapılırken görünümü	38
Şekil 3.19. Düzenek genel görünümü	39
Şekil 3.20. Basınç dayanımında numunenin hazırlanışı.	39
Şekil 3.21. Beton basınç makinesi	40
Şekil 3.22. Çekip çıkarma deneyleeri sonrası numunenin nihai görünümü.	41
Şekil 3.23. K1 ve K2 beton karışımlarında üç farklı aderanslardaki çekip bırakma deneyleerindeki maksimum yük ile alt deplasman dağılım grafikleri.	49

KISALTMALAR VE FORMÜLLER

Kisaltmalar	Açıklama
S/Ç	Su / Çimento oranı
A	Aderans boyu
T	Tel
ACI	Amerikan Beton Enstitüsü
ASTM	Amerikan Standardı
ANSYS	Sonlu elemanlar programı
C 1008	Düşük karbonlu çelik
Al	Alan
CSA	Kanada Standartlar Birliği
GPa	Giga Paskal
Mpa	Mega Paskal
TS	Türk Standartları
L	Numune boyu (mm)
D	Numune çapı (mm)
L / D	Görünüm oranı, narinlik
P	Kırılmaya neden olan yük (N)
K1 ve K2	Su/Çimento oranına göre değişiklik gösteren beton karışım kodları
Kg / m³	Birim hacim ağırlık
E	Elastisite modülü (KN/ mm ²)
G	Yer çekim ivmesi
d_{max}	Maksimum agregata tane boyutu
f_{ck}	Basınç dayanımı
f_{yd}	Donatının tasarım akma dayanımı
f_{ctd}	Betonun tasarım çekme dayanımı
Formüller	Açıklama
Eş.1.1.	$l_b =$ Kenetlenme boyu $l_b = 0,12 f_{yd}/f_{ctd}$ [TS 500 9.1.2.1.]
Eş.3.1.	$f_c = P/Al$, $f_c =$ Beton deney numunesi basınç dayanımı (N/mm ²) [72]

1. GİRİŞ

Beton uzun süredir bütün dünyada yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Her geçen gün kullanım alanları daha da artmaktadır. Portland çimentosunun üretilmesiyle inşaat hayatında yerini alan beton sektörü her geçen gün gelişmektedir. Betonun dezavantajı ise çekme dayanımının ihmal edilebilecek kadar az olmasıdır. Ayrıca kullanım alanı veya kullanılan yapıya göre betondan farklı özellikte davranışlar istenmektedir. Bu istekler de özel karışumlu veya katkılı betonlarla sağlanabilmektedir. Bu özel beton türlerinden biri olan lifli beton ise beton ve çimentolu malzemelerde çeşitli özelliklerde liflerin kullanımını esasına dayanmaktadır [1].

Beton, yapı mühendisliği biliminde sık kullanılan homojen dağılmamış agregalardan oluşan, heterojen, gözenekli yapı malzemesidir. Betonarme ise betonla çeliğin birlikte çalıştığı, betonu güçlendirerek birbirini tamamlayan yapı malzemesidir. Beraber çalışma özelliğinin ancak çeliğin beton içerisinde hareket etmemesi durumunda oluşacaktır. Hareket olmaması için ise beton ve çelik arasında bir bağ kuvveti oluşabilmelidir. Bu bağ kuvveti kalıcı olmalıdır. Yapılan deneylerle varlığı ispatlanan bu bağlayıcı kuvvete aderans denir [2].

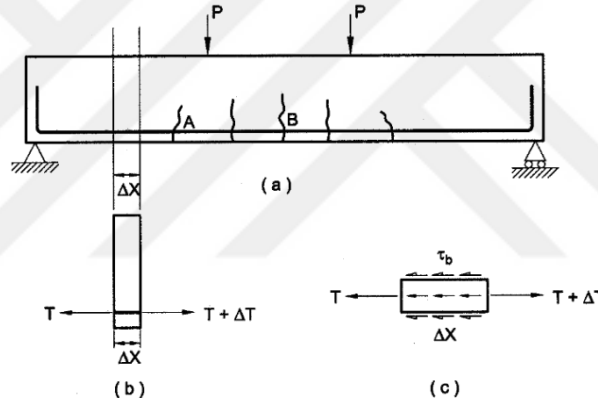
Donatı ve beton arasında oluşan bu bağ kuvvetleri donatıdaki gerilme, moment değişimi gibi durumlara paralel olarak artar ya da azalır. Aderans dolay, sünme ve büzülme gibi betona özgü deformasyonlar, donatıyı da etkiler.

Beton ve donatıdan oluşan bir yapı elemanının yukarıda tanımlanan betonarme olarak davranış gösterebilmesi için donatıları betona tutunması yani kenetlenmesi gerekmektedir. Bu kenetlenmeyi oluşturan, beton ve donatı arasındaki kayma gerilmeleri aderans olarak ifade edilmektedir [3,4,5].

Betonarmede aderans konusu hakkında edinilen verileri bir araya toplayarak aderansın nedenlerini belirtip ayrı ayrı incelemiştir. Aderansla ilgili araştırmalarda kullanılan deney tür ve metotlarını gözden geçirerek karşılaştırmış, yapılan deney sonuçlarının nasıl değerlendirilmesi gerektiğine de değinmiştir. Ayrıca aderansı etkileyen faktörleri ele almış ve çatlama olayı ile aderans ilişkisini araştırmıştır [6].

Betonun iç yüzeyinde yer alan kısmi mikro çatlaklar, betonun yapısının bozulmasına neden olacak potansiyel çatlak uçlarını belirlemektedir. Günümüzde betonda yaygın olarak kullanılan lifler; çelik, cam, polipropilen ve karbon esaslıdır. Liflerin betona katılması, betonun; çekme ve eğilme dayanımını, duktilitesini, enerji tüketme kapasitesini, oyulma direncini artırmaktadır. Çatlak gelişim karakteristiklerini geliştirmek için kullanılan en etkili yöntemlerden birisidir [7,8].

Çatlak oluşumuna karşı betonun direncini ve sünme halini artırmak için betonun liflerle desteklendirilmesi oldukça etkili bir yöntemdir [9].



Şekil 1.1. Eğilme aderansı

Aderans; eğilme ve kenetlenme aderansı olarak iki farklı kısımda incelenir. Eğilme altındaki bir betonarme elemanda momentin bir kesitten diğerine farklılaşabilmesi için, donatıdaki gerilmenin de değişmesi gerekir. Donatıdaki gerilmenin değişebilmesi, sadece donatı çevresinde oluşan ve aderans gerilmeleri olarak adlandırılan kesme gerilmelerinin oluşması ile mümkündür. Bu eğilme aderansı olarak adlandırılır. Betonarmede, donatı beton kütle içine yeterli uzunlukta gömülmüşse, çubuğu çekip çıkartmak mümkün değildir. Gömülme boyunun yeterli olmadığı durumlarda ise, çubuk yüzeyinin geometrisine bağlı olarak, bir şekilde çubuk sıyrılıp çıkabilir veya etrafındaki beton kütleyle zarar verip yarabilir. Betona gömülen çubuk boyu, “kenetlenme boyu” olarak adlandırılır ve bu tür aderansa da, kenetlenme aderansı denir. Kenetlenmenin yeterli olabilmesi için, donatı akma gerilmesine

ulaştığında veya depremde olduğu gibi donatı akma ötesinde belirli bir birim deformasyona eriştiğinde, çubuk betondan sıyrılmamalı ve betona zarar verip yarmamalıdır [10].

Aderansın üç temel nedene dayandığı kabul edilmektedir.

Bunlar;

- a) Çelik ve beton arasında “yapışma” olarak nitelendirilebilecek moleküler ve kapiler bağ kuvvetleri
- b) Beton ve çelik çubuk arasında oluşan sürtünme kuvvetleri
- c) Yüzeyinde çıkıntılar bulunan aderansı geliştirilmiş çubukların (nervürlü donatı) kullanılması halinde ortaya çıkan ve nervürler ile beton dişler arasında oluşan diş kuvvetleri ve kenetlenme [11,12,13].

Bugüne kadar yapılan çalışmalar, aderans dayanımına tesir eden başlıca etkenlerin birçok değişkene bağlı olduğunu göstermektedir. Bunların başlıcaları, betonla ilgili etkenler, donatının mekanik özellikleri, yüzey geometrisi, donatı çapı, donatının üretildiği malzeme, olarak kısaltılabilir [14].

Betonla İle İlgili Etkenler; Beton üretiminde karışıma giren çimento, kum veya çakıl miktarında yapılacak bazı değişiklikler ve bundan dolayı değişen beton bileşiminin sonucu oluşan beton mekanik özellikleri aderansı etkilemektedir.

Betonun çekme dayanımı, basınç dayanımı (f_{ck}) ile ilişkilidir ve genel olarak $\approx 0,1 f_{ck}$ olarak kabul görür. Betonarmede kenetlenme boyu için verilen eşitlik (Eş.1.1.) incelenecek olursa betonun çekme dayanımındaki değişim, ihtiyaç duyulan kenetlenme boyunu doğrudan etkilemektedir. Bu eşitlik aşağıda TS 500’de belirtilen formül ile gösterilmiştir.

$$lb = 0,12 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \text{ (Eş.1.1.)}$$

lb = Kenetlenme boyu

f_{yd} = Donatının tasarım akma dayanımı

f_{ctd} = Betonun tasarım çekme dayanımı

Donatı İle İlgili Etkenler; Donatının yüzey niteliği, uygulamada son derece önemlidir. Bu özelliklerden korozyonun aderans üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Benzer şekilde uygulamada yüzeyleri kirli, tozlu, topraklı, çamurlu, yağlı veya boyalı donatıların kullanılması halinde de aderans dayanımını olumsuz etkileyip düşürmektedir [14].

Donatının Yüzey Geometrisi; Düz donatılarda aderansın bir kısmı, beton ile donatı yüzeyi arasındaki kimyasal yapışma bağlantısı sayesinde oluşmaktadır. Bu tür donatılarda sıyrılmanın başlamasıyla sürtünme kuvveti de aderans dayanımına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca düz yüzeyli donatıların betonla aderansı dişli donatılara göre daha az olduğundan; düz yüzeyli donatılarda kenetlenmenin yeterince sağlanabilmesi için bunların kenetlenme boyunun dişli donatılara göre daha büyük seçilmesi gerekmektedir. Donatıların uçlarında kanca yapılması durumunda ise bu boyun küçültülebileceği bilinmektedir [14].

Nervürlü donatılarda ise, yapışmanın ve sürtünmenin aderansa katkısı dişlerdeki mekanik kenetlenmeye oranla ihmal edilebilecek kadar düşüktür. Bu tip donatılarda aderansın büyük bir kısmı, dişlerin eğimli yüzeylerinin betona dayanmasıyla oluşan eğik kuvvetler sayesinde sağlanmaktadır. Bu nedenlerden dolayı kullanılacak donatı seçiminde yüzey geometrisi bakımından dişli yani nervürlü donatıların seçilmesi aderansa büyük oranda katkısı olacaktır [14].

Donatının Çapı; Donatı çapı değiştikçe, kenetlenmeyi sağlayan çevrenin, uygulanan kuvveti etkileyen alana oranı değişmektedir. Yani, donatının çapı arttıkça, donatıya etki eden kuvvetin artması sonucu kenetlenme azalmaktadır. Böylece, yarılmaya kırılda, betonda oluşan çekme gerilmelerinin çapla orantılı bir şekilde arttığı görülmektedir. Kullanılan boyuna donatı çapının aderansa etkisi, artan donatı çapına göre, aderans dayanımı hesaplanarak göz önünde bulundurulabilir.

Donatının Üretildiği Malzeme; Teknolojik gelişmelerle beraber her alanda yeni kompozit ürünler ortaya çıkmaya başlamıştır. Yeni kompozit ürünler arasında

betonarme donatısı olarak kullanılan çelik çubukların vazgeçilmezliğini bozabilecek olan yapay donatı çubukları da bulunmaktadır. Bu yapay donatı çubukları arasında cam lifli, bazalt lifli, karbon lifli vb. donatı çubukları sayılabilir. Günümüzde cam lifi, bazalt lifi, karbon lifi gibi liflerin pultruzyon yöntemiyle epoksi reçine ile birleştirilerek, betonarme yapılarda kullanılan, çubuk donatı formunda üretimine başlanmıştır. Pultruzyon yöntemi uygun bir reçine ile birleştirilerek sıcak bir kalıptan çekilmesi ile oluşturulan üretim teknolojisine denmektedir. Korozyon direncinin olması, çok hafif olması ve çeşitli yüzey formlarında (düz, nervürlü, kumlanmış vb.) üretilebilmesi gibi özellikleriyle sağladığı avantajlar bu yapay donatıların aderans performanslarını yeni ve önemli bir araştırma alanı olarak karşımıza çıkarmaktadır.

Aderans deneyleri, genellikle dış aderans denilen direkt aderansın özelliklerini (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. İtip-çıkarma (push-out) deneyleri de az da olsa yapılmaktadır [15].

1.1. Tez Hakkında Genel Bilgiler

İnşaat mühendisliği alanında, sağladığı avantajlardan dolayı lifli betonların önemi hızla artmaktadır. Lifli beton; Çimento, agrega ve çoğunlukla heterojen dağıntık liflerin su ile karıştırılmasıyla ortaya çıkan beton şeklinde ifade edilmektedir.

Bu çalışmada, beton üretiminde kullanılan maddelerinin oranlarını sabit tutulup ilave olarak çelik lifi hacimsel % 0,00(BOŞ)-0,25-0,50-1,00 oranında karıştırarak yeni karışımlar elde edilmiştir. Elde edilen bu karışımı 10 mm çapındaki nervürlü demirin içerisinde bulunduğu numune kaplarına ilave edilmiştir. 5-10-15cm aderansta sıyrılma (akma) başladığındaki çekme kuvvetlerini ve basınca olan ilişkisi araştırılmıştır.

Belirli özellikleri olan liflerle takviye edilmiş lifli beton, ilk görünüşte normal beton karışımlarına benzemesine rağmen, değişik yükler altında gösterdiği davranış ve performans açısından geleneksel betondan oldukça farklı bir özelliğe sahiptir. Sözü edilen davranış farklılığı, beton içerisinde gelişigüzel dağılan liflerin, çatlakların ilk

oluşum anında, çatlak sonlarındaki gerilmeleri kendi üstlerine ya da sağlam alanlara transfer ederek işlevlerini yerine getirmelerinden kaynaklanmaktadır. Bu şekilde betonu yıkılmaya götürecektir olan çatlakların oluşumu ve büyümesi engellenir, kırılma daha büyük yüklerde meydana gelir. Ani yüklemelere ya da tekrarlı yüklemelere karşı yeterli dayanıma sahip olması ve yük altında yutulabilen enerji miktarının fazlalığı açısından liflerin sağladığı artış, lifli betonların avantajları arasında sayılabilir.

1.2. Tezin Amacı

Bugün dünyada Portland çimentosu ile yapılmış beton, birçok inşaat ve farklı yapılarda kullanılan en seçkin malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun esas nedeni beton yapısı için inşaat işleminin ve malzemelerinin ucuz olması ve aynı zamanda kullanım süresince, bakımının da düşük maliyetli olmasından dolayıdır. Aynı zamanda, beton teknolojisindeki gelişmelerde en büyük yenilik, katkı teknolojisindeki buluşlar sayesinde betonun performansı üzerinde elde edilen önemli derecedeki artışlardır. Betondan beklenen en büyük özellikler; dayanım ve dayanıklılık kriterlerini sağlamasıdır. Yaptığımız bu çalışmada betonarme taşıyıcı elemanları oluşturan beton ve donatı arasındaki farklı aderanslardaki kuvvetleri ve yer değiştirmeleri incelenmiştir. Beton ve donatı arasında meydana gelen aderans beton ve donatının fiziksel ve mekanik özellikleriyle yakından ilgilidir. Bu amaçla donatı ankre edilmiş beton numuneler üretilmiş ve bu numunelerin içlerine farklı oranlarda lifler yerleştirilmiştir. Bu donatılı numunelerdeki nervürlü demir, belirlenen zamanlarda betonun içinden sıyrılarak çekilmiştir. Sıyrılma sırasındaki kuvvet ve yer değiştirme miktarları farklı lif ve aderans mesafelerinde ölçülmüştür. Aderans deneyleri, 10mm çapındaki nervürlü ve düz donatıların 15x15x15 cm'lik boyutlarındaki 28 günlük beton prizmatik numuneler içerisine 5cm, 10cm, 15cm mesafelerde gömülü örnekler üzerinde çekip-çıkarma (pull-out) deneyleri yapılarak belirlenmiştir. Basınç deneyleri ise 15x15x15 cm'lik boyutlarındaki 28 günlük beton prizmatik numuneler içerisinde press makinesinde dayanımı ölçülmüştür. Çalışma sonucunda beton ile donatı arasındaki sıyrılma davranışları incelenmiştir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Aderans ve çelik lif konusunda bugüne kadar yurtiçi ve yurtdışında çok sayıda araştırma gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmaların bir kısmı aşağıda söz edilmektedir.

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-sıyırılma birlikteliği üzerinde, donatı yüzeyi, donatı çapı ve beton dayanımının etkisi incelenmiştir. Ayrıca deneysel çalışmaya ek olarak aderans sıyırılma ilişkisi analitik olarak da incelenmiş ve donatı çapına bağlı olarak yeni formüller ortaya çıkarılmıştır [16].

Maehle ve arkadaşları yaptıkları çalışmada (1998) çekme kuvvetinin etkisindeki düz donatıların ankraj boyunu deneysel olarak incelemiştir. Bu çalışmada ankraj boyunun, donatı çapı, donatı karışımı ve beton dayanımına bağlı olarak nasıl değiştiğine bakmış, sonuçlar ACI 318-83 ve ACI 408 ile karşılaştırılmıştır [17].

Won ve arkadaşları (2008) yaptıkları çalışmada, sentetik ve çelik liflerin yüksek performanslı betonlarda aderans dayanımına etkisini incelemişlerdir. Çalışmada donatı olarak 9 mm çapında karbon lifli ve 13 mm çapında cam lifli donatı kullanmışlardır. Aderans dayanımlarını incelerken direkt çekme yöntemini kullanmışlardır. Aderans dayanımının basınç dayanımı arttıkça arttığı görülmüştür. Ayrıca lif oranının da aderans dayanımını etkilediği görülmüştür. Karışımlardan 40 kg/m³ oranında çelik lif içeren numune en yüksek aderans dayanımını oluşturmuştur [18].

Yazıcı ve Arel (2013) yaptıkları çalışmada, çelik lifli betonlarda çelik liflerin nervürlü donatı-beton aderansına etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak çelik lif oranının artması nervürlü donatıyı betondan sıyırmak için gerekli direk çekme yükünü artırmıştır. Çelik liflerin olması beton donatı aderansını arttırmayı sağlamıştır [19].

Yılmaz (2009) tarafından hazırlanan yüksek lisans tez çalışmasında, düşük dayanımlı ve düz donatılı betonarme örneklerin aderans teması incelenmiştir. Çalışmada, betonarme elemanlarda kancalı, farklı, düz ve boyuna donatıların bindirme boyunun yatay kuvvet etkisindeki durumları incelenmiştir. Deneysel çalışmalar, değişik bindirme boylarında betonarme numunelerinin üretilmesi, deneylerin yapılması ve meydana çıkan sonuçların değerlendirilmesi şeklindedir. Bu tez çalışmasında, betonarme elemanların donatı bindirme boyu yetersizliğinin performansa tesiri incelenmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, donatının kancayla uygulanan bindirmeli eklerinde, belirli bir öteleme seviyesine kadar kanca, elemanın yatay yükler altındaki davranışı test edilmiştir. Bu öteleme oranından ileri deformasyonlarda ise bindirme boyunun tesiri daha dikkat çekici bir şekilde gözlemlenmiştir. İncelenen test parametresi aralığında, kancanın varlığının bindirme boyundan daha etkili bulunduğu belirtilmektedir [20].

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 [21].

Duran (2008), tarafından hazırlanan yüksek lisans tez çalışmasında, statik ve dinamik sıyrıma yükleri etkisinde, beton çekme mukavemetinin ve ankrajlama açısının betonarme donatı aderans kuvveti üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada ankraj donatılarının çapı ve türü sabit tutularak, 15 cm çapında 10 cm yüksekliğinde 24 adet

silindir numune, yüzey açıları farklı 33 adet küp numune kullanılmıştır. Donatı çekme aletine aderansta sıyrılma deneyi yapabilmek için özel bir çelik kalıp hazırlanmıştır. Betonun çekme dayanımının aderans üzerindeki etkisini inceleyebilmek için, numune ile kalıbın yükleme yüzeyi arasına yerleştirilmek üzere 12 mm kalınlığında, delik çapı 2, 4, 7, 8 cm olan 4 adet çelik plaka hazırlanmıştır. Ayrıca 2 ve 8 cm delik çapındaki plakalar kullanılarak, betonun çekme dayanımının aderansta yorulmaya etkisi incelenmiş, yükleme ve boşaltmadan sonra statik çekme yapılmış, 2 cm delik çapı için yorulmanın etkisinin büyük olduğu, ancak 8 cm için etkilemediği görülmüştür. Sonuç olarak, delik çapı ve ankrajlama eğimi arttıkça dinamik ve statik donatı sıyrılma aderans kuvvetlerinin azaldığı görülmüştür [22].

Topçu vd. (2007), tarafından yapılan çalışmada, üç farklı çimento ile 300kg ve 375kg dozajlarında, katkısız, % 10 ve 20 oranlarında F tipi uçucu kül katkılı beton numuneleri hazırlanmıştır. Toplam 36 farklı seri üretim yapılarak, 28'inci ve 180'inci günlerdeki mekanik deneyler ile durumları gözlemlenmiştir. Üretilen bu beton numunelerin mekanik özellikleri belirlenmiş, ayrıca beton içine donatıların yerleştirildiği aderans deney örnekleri üretilmiştir. Bu numunelerde ayrıca hızlandırılmış korozyon deneyleri de yapılmıştır. Aynı numuneler üzerinde, aderans deneyleri de uygulanarak korozyon oluşumuyla beton ile donatı arasındaki aderans değişimleri belirlenmiştir. Deneyler neticesinde aderans dayanımının beton kalitesi ile ilişkisinin olmadığı ve korozyon nedeniyle deformasyona uğrayan numunelerde aderans dayanımının çok yüksek oranlarda düştüğü gözlemlenmiştir [23].

Durmuş vd. (2006), tarafından yapılan çalışmada, Doğu Karadeniz Bölgesi'nden elde edilen agregalardan biriyle üretilen yüksek dayanımlı ve geleneksel betonların değişik çaplardaki düz ve nervürlü donatılarla kullanılarak aderans dayanımları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar geleneksel betonların aderansının, yeni üretilen yüksek dayanımlı beton aderansına göre çok daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca donatı aderans boyunun azaltılabileceği belirtilerek, yüksek dayanımlı betonlarla inşa edilen yapıların tasarımı için bugün de yürürlükte olan TS 500 betonarme yapıların hesap ve yapım kurallarının geçerli olmadığı ifade edilmiştir. Bu durumdan dolayı

bugün yürürlükte olan betonarme yapı tekniği ile ilgili yönetmeliklerdeki öneriler ve bağıntılar sadece geleneksel betonlar için geçerli olduğu belirtilmiştir [24].

Tanyıldızı vd. (2006), tarafından hazırlanan çalışmada, betonarme demiri ve beton arasındaki aderans dayanımına kür koşullarının etkisi araştırılmıştır. Bu deneysel numunelerin oluşturulmasında maksimum tane çapı (d_{max}) 16mm olan agrega kullanılmıştır. Sıcaklık 20 °C de su, naylon ve hava kürü uygulanan numunelere 3, 7, 14 ve 28 gün sonunda aderans ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Deneylerden meydana çıkan neticelere göre en yüksek aderans ve basınç dayanımı değerleri, suda kür edilen numunelerde elde edilmiştir. Suda kür edilen numuneleri sırasıyla, naylon kürü ve hava kürü numuneleri izlemiştir. Düz betonarme demirlerinin aderans dayanımları nervürlü betonarme demirine göre daha düşük bulunduğu görülmüştür [25].

Şener (2006), tarafından uygulanan çalışmada, donatılar simetrik yerleştirilerek, eksenel yükleme tesiri altında göçme biçimleri ile çatlak dağılımları incelenmiştir. Bu çalışmada, yüksek ve normal dayanımlı, betonlar ile düz ve nervürlü ufak boy 40×88×88mm, orta boy 80×176×176mm ve büyük boy 160×352×352mm olmak üzere üç değişik tipte toplam 36 adet aderans deney numunesi hazırlanmıştır. Bu numunelerde maksimum yük altındaki çatlak dağılımları, göçme modları ve donatının numunelerden sıyrılması incelenmiştir [26].

Konca (2006), tarafından uygulanan yüksek lisans çalışmasında, beton ve donatı arasındaki aderans kuvvetleri incelenmiştir. Bu gaye ile değişik mukavemetlere sahip beton numuneler ve değişik tipte demir donatılar oluşturulmuştur. Bu donatılar betonun içinden sıyrılarak çekilmiştir. Sıyrılma sırasındaki kuvvet ve yer değiştirme boyları ölçülmüştür. Böylece betonun donatı etrafındaki yerleşme ve donatıyı sarma tesiri incelenmiştir. Değişik ölçüde üç tip çimento kullanılmıştır. Bunlar portland, katkılı portland ve traslı çimentolardır. Bu çimentoların mukavemet gelişimlerini de değerlendirmek amacıyla 28 ve 90ıncı gün olmak üzere iki değişik beton yaşında

deneyler uygulanmıştır. Kullanılan donatı çeşitleri ise 10 ve 16 mm'lik iki değişik çapa sahip, nervürlü ve düz yüzeyli donatılardır [27].

Jendele vd. (2006), tarafından uygulanan çalışmada donatı çubukları ile beton arasındaki bağın belirlenmesi amacıyla nümerik bir model ortaya konulmuştur. Model donatı çubuğunun tek ebatlı geometrisine dayanır ve ara yüzey özelliklerini hesap etmektedir. Model, laboratuvarında uygulanan pull-out ve kiriş deneylerinden elde edilen neticeler ile doğrulanarak, betonarme elemanların gerçek davranışları ile meydana konulmaya çalışılmıştır [28].

Yücel vd. (2006), doğrultusunda uygulanan çalışmada, aderans etkisinin teknolojik yönden çekme donatılarının kenetlenme problemiyle bağlantılı bulunduğu belirtilmiştir. Betonarmede, çelik çubuk beton içinde gömülüdür ve çekildiğinde çıkartılması çok zordur. Gömülme boyunun yeterli olmadığı hallerde ise, çubuk yüzeyinin geometrisine bağlı olarak sıyrılıp beton içerisinden çıkabilir ya da çevresindeki betonu yarabileceği belirtilmiştir [29].

Haddad vd. (2005), tarafından uygulanan çalışmada, alkali-agrega reaksiyonu ve donma-çözülme işlemine maruz bırakılan betonarmede beton-çelik donatı arasındaki aderans dayanımını incelemiştir. Yapılan deneysel araştırma sonucunda, alkali agregada reaksiyonundan kaynaklı aderansın dikkat çekici bir biçimde azaldığı ifade edilmiş, 500 periyoda kadar donma-çözülme çevrimi görmüş olan betonarme elemanın aderans dayanımının %55-100 arasında azaldığı sonucuna ulaşılmıştır [30].

Campione vd. (2005), tarafından uygulanan çalışmada, sürekli yükler altında fiberle güçlendirilmiş hafif betonlarda çelik çubuk-beton aderansı incelenmiştir. Betona ek edilen fiberlerin, hafif betonlarda agregaların kırılmasına rağmen, betonun tekrarlı yükler altında aderansı çoğalttığı belirtilmiştir [31].

Gallego (2004), tarafından yaptığı çalışmada, beton ile çelik arasındaki bağı, normal çelik ve galvanizli çelik olmak üzere iki değişik tür amacıyla kıyaslamalı çekme

deneyleri olarak sunulmuştur. 20x20x20 cm'lik küp numuneler kullanılmış ve bunların ortasına çapı 12mm, bağ uzunluğu 5 cm olacak şekilde çelikler gömülmüştür. 7, 14, 21, 28 ve 90. günlük olmak üzere değişik beton yaşlarında bağ kuvvetleri incelenmiştir. Çalışma neticeleri normal çelik ile daha çok bağ gücü elde edildiği için normal çeliğin galvanizli çeliğe oranla tüketiminin daha makul olduğunu ve beton yaşının yükselmesi ile bağ kuvvetinin de arttığını belirtilmiştir [32].

Ichinos vd. (2004), tarafından uygulanan araştırmada, beton ile donatı arasındaki bağ kuvvetine olan boyutunun etkisi incelenmiştir. Çubuk çapı, nervür şekli, örtü kalınlığı gibi değişkenler araştırılmıştır. Donatı çapları 17,4 mm, 34,8 mm ve 52,2 mm olarak seçilmiş, beton örtü kalınlıkları ise donatı çapının 1,22 ve 2,44 katı, bağ uzunluğu ise donatı çapının 4,6 katı olarak alınmıştır. Deneylerde, bağ gücü ve boyut etkisi incelenmiştir [33].

Lee vd. (2002), tarafından uygulanan çalışmada, donatı ile beton arasındaki bağ özelliklerine korozyonun etkisini incelemek amacıyla hızlandırılmış korozyon metodu kullanılarak paslandırılmış donatılar betonun içine gömülerek çekip çıkarma deneyleri yapılmıştır. Deneylerde su/çimento oranı 0,45, 0,55 ve 0,65 olan betonlar kullanılmış ve beton örtü kalınlıkları donatı çapının 1,5, 2,5 ve 3,5 katı olacak şekilde seçilmiştir. Beton mukavemetinin yükselmesi ile birlikte bağ kuvvetinin de arttığı ve basınç mukavemeti ile bağ mukavemeti arasında çok yüksek bir korelasyon bulunduğu ifade edilmiştir. Paslandırılmış numunelerin çekip çıkarma deneyleri sonucunda ise, pas oranının yükselmesi ile birlikte bağ kuvvetinin ve bağ rijitliğinin azaldığı belirtilmiştir [34].

Yerlici ve Özturan (2002), tarafından uygulanan çalışmada, yüksek dayanımlı betonlarda; donatı çapı, beton basınç dayanımı, beton örtü kalınlığı ve gövde sarma donatısı parametrelerinin aderans dayanımı ve ihtiyacı olan en az kenetlenme boyu üstündeki etkisi incelenmiştir. Çalışmanın kapsamı içinde, beton basınç dayanımları, donatı çapları, beton örtü kalınlıkları değişen tek donatılı elemanlar ile gövde sarma donatısı bulunmayan ve farklı miktarda beden donatısına sahip, çift donatılı elemanlar

üstünde, dış merkezli, tek yüklemeli çekip-çıkarma aderans deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak beton basınç dayanımı, beton örtü kalınlığı ve beden donatısı seviyelerindeki artışların aderans dayanımını arttırdığı, donatı çapındaki yükselişin ise aderans dayanımını düşürdüğü ortaya çıkmıştır [35].

Türk (2002), tarafından uygulanan çalışmada, bileşik eğilmeye maruz betonarme elemanlarda beton özelliklerine bağlı olarak donatı aderansı incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda, kolay ve bileşik eğilmeye maruz ve çekme bölgesine bindirmeli olarak donatı konulmuş ve aderans 30 MPa üstünde basınç dayanımına sahip kirişler üstünde oluşmuştur. Değişken olarak değişik çaplarda donatı kullanılmıştır. Deneysel çalışması neticesinde donatı çapının yükselmesi ile aderans dayanımının azaldığı gözlemlenmiştir [36].

Çınar ve Karapınar (2000), tarafından yapılan çalışmada, aderansın nedenleri, mekanizması ve aderans davranışın belirlenmesinde sarf edilen deney metotları incelenmiş, hafif beton ve normal beton numuneleri çekip çıkarma deneyi yapılarak normal beton için verilen donatı kenetlenme boyunun hafif beton için de geçerli olup olmadığı incelenmiştir. İncelemede, aderansın çoğu faktöre bağlı olarak değiştiği, fakat bu etkilerden en önemlilerinin donatı ve beton özellikleri ile betonarme kesit ve elemanın türü olduğu belirtilmiştir. Kenetlenme boyu için TS 500'de verilen değerin hafif beton için yetersiz bulunduğu belirtilmiş, bundan dolayı hafif betonda %20 artırılarak kullanılması tavsiye edilmiştir [37].

Karaduman (1998), tarafından uygulanan çalışmada, yüksek mukavemetli beton elemanlarda nervürlü donatı tarzı için kenetlenme özelliklerini incelemek ve ihtiyaç duyulan kenetlenme boylarını hesaplayabilmek amacıyla donatı çapı, beton basınç dayanımı ve beton örtü kalınlığı değişen değişkenler olarak öneme alınmıştır. Yapılan çalışma neticesinde, donatı çapları arttıkça ankraj uzunluğu ve beton örtüsü kalınlığının da arttırılması gerektiği belirtilmiştir. Beton mukavemetinin artmasının bağ mukavemetini de arttırdığı, bunun dışında beton örtüsü kalınlığının artmasının da

bağ mukavemetini artırdığı fakat bu etkinin belirli bir değerden sonra ortadan kalktığı gözlemlenmiştir [38].

Ünal (1998), yaptığı araştırmaları doğrultusunda, çelik donatı ile beton arasındaki aderansın agrega adet büyüklüğü ve beton karışımına bağlı olarak nasıl değiştiği incelemiştir. Çalışmada 12 mm genelinde nervürlü çelik çubuklar, numunelerin orta eksenlerine gömme boyu 10 cm olacak şekilde yerleştirmiştir. Uygulanan çekip çıkarma deneyleri sonucunda sarf edilen agrega adet çapı büyüdükçe çekip çıkarma kuvvetinin de büyüdüğü, benzer şekilde beton basınç mukavemeti arttıkça çekip çıkarma kuvvetinin de arttığı ifade edilmiştir. Hem de aderans dayanımı arttıkça çelik çubuktaki sıyrılmanın da azaldığı görülmüştür [39].

Gambarova ve Rosati (1997), tarafından uygulanan çalışmada, donatı çapları ile aderans gerilmesi arasındaki davranış incelenmiştir. Bu gaye ile yapmış oldukları deneylerde 14mm ve üstünde donatılar kullanılmıştır. Donatı çapı arttıkça aderans kuvvetlerinin arttığı sonucu elde edilmiştir [40].

Baradan (1997), tarafından uygulanan yüksek lisans tez çalışmasında, değişik koşullarda ve farklı tipte çimento harcanılan betonlarda aderans özelliğinin değişimi incelenmiştir. Çalışmada verilen istatistiksel değerlendirmede, aderans dayanımı ile çekme dayanımı arasında doğrusal bir oran olduğu belirlenmiştir [41].

Larrard vd. (1993), tarafından uygulanan çalışmada, değişik dayanımlardaki betonlarda aderans deneyleri yapılarak donatı çapının adersana tesiri incelenmiştir. Yüksek dayanımlı betonlarda, aderans dayanımının normal dayanımlı betonlara göre Ø10mm çapındaki donatı amacıyla %80, Ø25mm çapındaki donatı amacıyla ise %30 oranında aderans artışına sebep verdiği neticesine gelinmiştir [42].

Naaman vd. (1991), tarafından uygulanan çalışmada, aderans sıyrılma temasını deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde üç değişik donatı, kimyasal ve mineral katkı maddeleri ve değişik uzunluklarda kenetlenme boyları kullanılmıştır. Deney

sonuçlarına göre kancalı ve nervürlü donatılar, düz donatılara göre sıyırılma kuvvetine daha çok dayanım gösterdiği belirtilmiştir. Düz donatıların sıyırılma kuvveti, nervürlü ve kancalı donatıların kuvvetinin %25'i kadar olduğu görülmüştür. Nervürlü çubuklarda gecikmeli bir reaksiyon gözlemlenmiştir. Aderans dayanımları düz çubuklar için 1-2,8 MPa, kancalı donatı amacıyla 3,5-7MPa, nervürlü donatı amacıyla ise 2,8-6,7 MPa arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Karışımın dayanımını arttırdıkça beton-çelik arasındaki aderansın da arttığı gözlemlenmiştir. Katkı maddelerinden Latex sıyırılma kuvvetini arttırırken, mikrosilikanın çok değiştirmedeği, uçucu külün ise az etkilediği sonucuna varılmıştır [43].

Gopalaratnam ve Abu-Mathkour (1987), tarafından uygulanan çalışmada, aderans boyu, donatı çapı ve beton karışımlarına göre aderansın değişimi gözlemlenmiştir. Donatı çapının artmasının aderansı arttırdığını ve beton basınç dayanımının aderans ile direkt olarak bağlantılı olmadığı savunulmuştur [44].

Mirza ve Houde (1979), tarafından uygulanan çalışmada, betonarme elemanlarda beton ve çelik yüzeyleri arasında ilerleyen aderans kaymasına dikkat gösterilerek, sonlu eleman çalışmalarında nasıl modellenebileceği ticari bir sonlu eleman programı olan ANSYS vasıtasıyla gösterilmiştir. Aderans kayması, sonlu eleman modelinde beton ve çelik düğüm noktaları arasına yerleştirilen lineer olmayan yaylarla belirtilmiştir [45].

Bağ modeli olarak donatı gerilmesi ve aderans kayma bağıntısı tercih edilmiştir. Bunlara ek olarak ANSYS beton malzeme modeli belli çatlak kesme iletim katsayısının hesaplanmasında kullanılmak üzere bir bağıntı önerilmiştir. Uygulama amacıyla seçilen betonarme perde elemanlarının bağ elemanı sahibi olan ve içermeyen modelleri oluşturulup yük-yer değiştirme eğrileri çıkarılmıştır. Aderans kayması etkisini sahibi olan modellerle uygulanan hesaplamaların deneysel neticelere olabildiğince yakın değerler verilen gözlemlenmiştir. Deneysel ve numerik neticeler karşılaştırıldığında, aderans kayması etkisinin betonarme elemanların sonlu eleman analizlerinde göz ardı edilmemesi gereken bir neden bulunduğu belirtilmiştir [45].

İsmail ve Jirsa (1972), tarafından uygulanan çalışmada, yüksek düzeyde yapılan ve tersinir tekrarlanan yükün sebep olduğu aderans çözülmesinin eleman rijitliğini büyük bir miktarda azalttığını ve bundan dolayı yer değiştirme artışına sebep olduğu belirtilmiştir [46].

Takeda vd. (1970), tarafından uygulanan çalışmada, aderans tesiri incelenmiştir. Aderans çözülmesinden kaynaklı meydana çıkan rijitlik azalmasının enerji yutma kapasitesini etkilediği ve aynı oranda azalttığı belirtilmiştir [47].

Robins ve Calderwood (1978), tarafından uygulanan inceleme ile çelik ve polipropilen lifli olarak imal edilen döşemeler üstünde patlatma testleri yapılmış ve liflerin, daha çok çatlak önlemede ve çatlak gelişiminde etkili oldukları gözlenmiştir [48].

Suaris ve Shah (1982), tarafından uygulanan inceleme ile çelik lifli numunelerin lifsiz numunelere oranla 20-100 kat daha çok vuruş dayanımı gösterdiği; lif ile matris arasındaki biçim değiştirme derecesinden bağımsız bulunduğu gözlenmiştir [49].

Kozak (2010) tarafından beton travers üretiminde çelik lifin kullanılabilirliği ile ilgili uygulanan yüksek lisans tez çalışması ile çelik lifin, basınç dayanımı yönünden olumlu bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Fakat donma çözünme deneyi neticesinde çelik lif sayısı arttıkça numunelerin kütle, basınç ve ultra ses sürat kaybının azaldığı görülmüştür. Aynı vakitte lifsiz numunelerin donma çözünme deneyi ardından uygulanan basınç deneyi ile parçalandığı ama lifli numunelerin ise parçalanmadığı; lif miktarının yükselmesi ile beton travers eğilme dayanımında dikkat çekici bir şekilde artış bulunduğu gözlenmiştir [50].

2.1. Betonlar

Normal betonlar, basınç dayanımları 20 MPa ila 60 MPa, kırılma enerjileri 100 J/m² ile 120 J/m² seviyesinde olan, agrega, çimento, su ve ihtiyaç varsa katkı maddesi ilave edilerek imal edilen ekonomik malzemelerdir [51].

2.2. Lifler Hakkında Genel Bilgi

Lif, boyutları farklı olan, doğal yöntemlerle tespit edilen ya da insan eliyle üretilebilen, dayanımları ve elastisite modülleri aynı malzemenin büyük hacimli formuna göre çok yüksek olan malzemeleri tarifler [52]. Farklı özellikleri olan lifler Çizelge 2.1.'de gösterilmiştir.

Yapı malzemelerinin içinde lif tüketimi eski zamanlardan beri yapılan bir uygulamadır. İlk örneklerini kerpiç içinde saman tüketimi ile karşılaştığımız lif kullanımı, bugünümüzde çelik, polimer ve cam gibi uygulama örnekleriyle çeşitlilik ve işlevsellik kazanmıştır [53].

Çelik lif donatılı betonlar, 60'lı senesinin başında geliştirildi ve lif çeşitleri üstünde seneler boyu yaygın incelemeler ve uygulamalar, bu malzemeyi dünya genelinde detaylı uygulamalarda tanınan bir teknoloji durumuna getirdi. Günümüzde hala, farklı tasarım ve hesap metotları geliştirilmektedir [54].

Lifli beton; çimento, agrega ve beton içinde genellikle homojen dağılmış liflerin su ile karıştırılması ile ortaya gelen bir beton çeşididir [55].

Çelik lifli beton üretiminde karıştırma ve yerleştirme işlemlerinde zorluklar meydana çıkmaktadır. Yapılan incelemelerde uygun faydanın beton hacminin %1 - 2 oranları arasında sarf edilen çelik lifler doğrultusunda sağlandığı belirlenmiştir. Bu değerlerin altında harcanılan liflerin betonun dayanımına çok bir etkisinin olmadığı bilinmektedir. Bu oranlardan çok sarf edilen çelik liflerin ise beton işlenebilirliği ile çelik lifli betonların yerleştirilmesini zorlaştırdığı ve çelik liflerin beton içinde topaklaşmalara sebep bulunduğu bilinmektedir. Bu topaklanmalar da matris içinde zayıf alanların oluşturulmasına sebep olur [56].

Karışımında, lif narinlik oranının makul bir seviyede olması, liflerin karışıma kuru katılımı ve süper akışkanlaştırıcı kullanılması ile liflerin matris içinde homojen

dağınık hale gelmesi mümkün olabilir. Bu etkiler neticesinde ise betonun mekanik özelliklerinin pozitif bir şekilde etkilendiği anlaşılmıştır [57].

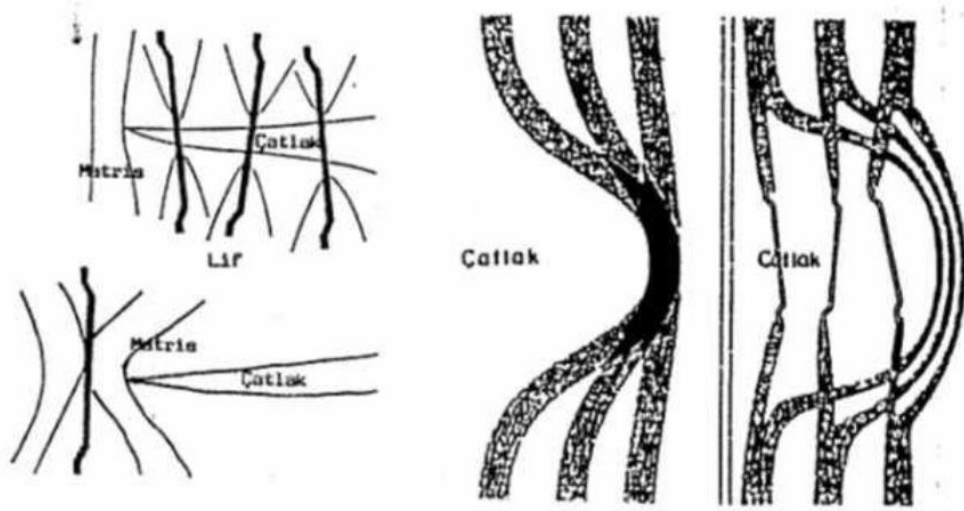
Lif kullanılmayan denetim betonu ile 30 kg/m^3 lif harcanılan kompozit malzemenin enerji yutma kapasiteleri arasındaki fark, lif oranının yükselmesi ile meydana gelen farktan çok daha fazladır. Lif sayısı 30 kg/m^3 ve 60 kg/m^3 olan kompozitlerde ilk çatlaktan sonra maksimum eğilme gerilmesinde azalma görülmektedir. Bu durum, lif miktarının yükselmesi ile azalmıştır. Lif içeriğinin 90 kg/m^3 ve 120 kg/m^3 bulunduğu hallerde ilk çatlak ardından da yük artışı devam etmiştir. Bu hal malzemenin eğilme dayanımını yükseltmiştir. Fazla oranda lif sahibi olan bu tip kompozitlerde yerleştirme tekniğinin büyük ehemmiyet bulunduğu gösterilmiştir [58].

Wafa ve Ashour (1992), incelemelerinde hacimce %1.5 oranında ve l/d oranı 75 olan ucu çengelli lif kullanarak beton karışımları hazırlamıştır. Çelik lifli betonlarda lifsiz betona göre basınç dayanımında % 4.6, yarmada çekme dayanımında %60 oranında artış belirlenmiştir [59].

Lif donatılı betonlarda harcanılan lifler, yüksek çekme mukavemetleri ile betondaki çatlakların başlangıcını, yayılmasını ve bütünleşmesini engellerler [60,61,62,63].

Amacına göre uygun miktarlarda sarf edilen lifler betonda meydana gelebilecek çatlaklardaki gerilmeleri betonda çatlak olmayan bölümlere iletirler. Lifler çatlak sonlarına bitişik olduklarından, matristeki gerilmelerin üzerlerinden geçip gitmesini ve bu şekilde, daha evvel çatlamamış beton kesitlerinin de dayanımından yararlanılmasını sağlamaktadırlar [64].

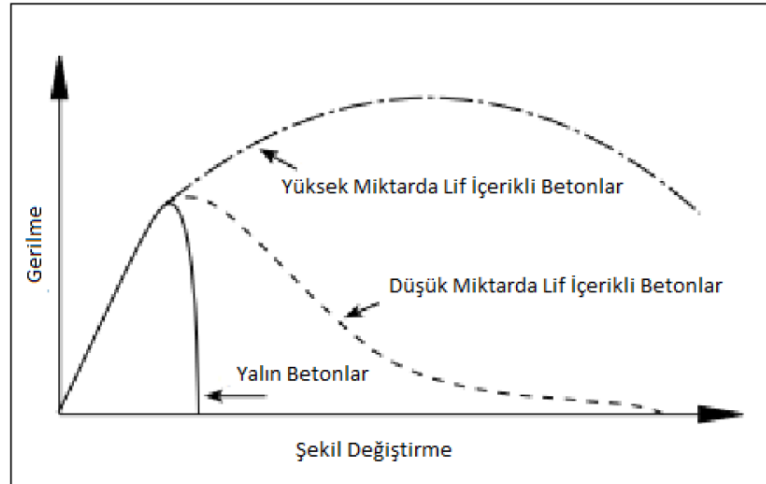
Bu durum Şekil 2.1.' de gösterilmektedir. Çatlakların oluştuğu bölümde bu şekilde taşıma kuvveti artırılarak, mühendislik özellikleri ilerlemiş bir malzeme elde edilmektedir. Şekil 2.2.' de lif etkisinin betonlarda gerilme biçim değiştirme bağıntısı üzerindeki etkisi görülmektedir [65].



Şekil 2.1. Liflerin gerilme kuvvetlerini bir köprü gibi aktarması [65]

Liflerin betona verdiği katkılar şu şekilde sıralanabilir;

- Taze betonda çatlakların oluşmamasını sağlar,
- Çekme ve eğilme dayanımlarını güçlendirir,
- Çarpma dayanımını yükseltir,
- Gevrek kırılmayı engeller,
- Durabiliteyi artırır [66].



Şekil 2.2. Lifli betonun basınç kuvveti altında tipik gerilme şekil değiştirme diyagramı [65]

Kullanım alanları bakımından birçok lif çeşidi bulunmaktadır. Betona katılan, farklı türdeki liflere ait fiziksel özellikler Çizelge 2.1.'de verilmektedir

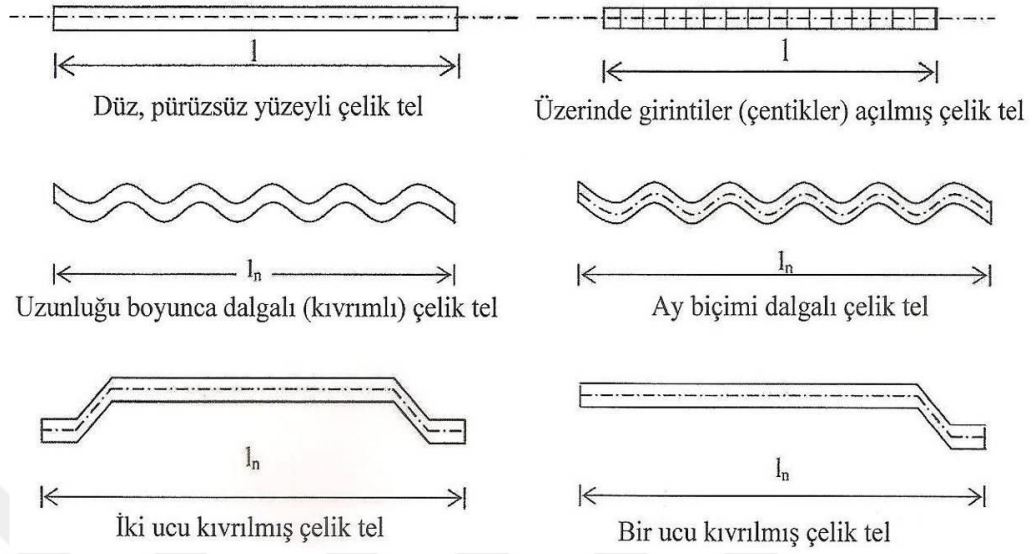
Çizelge 2.1. Lif çeşitlerinin tipik özellikleri [63]

Lif Cinsi	Çekme Dayanımı (Mpa)	Elastisite Modülü (Mpa)	Maksimum Uzama (%)	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)
Akrilik	207-414	2,1	25-45	1,1
Asbestler	552-966	83-138	0,6	3,2
Pamuk	414-690	4,8	3,0-10,0	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	11,0-13,0	1,4
Polietilen	690	0,14-0,4	10	0,95
Polipropilen	552-759	3,5	25	0,9
Pamuk-Yün	414-621	6,9	10,0-25,0	1,5
Mineral Yünü	483-759	69-117	0,6	2,7
Çelik	276-2760	200	0,5-3,5	7,8

Çizelge 2.1. ele alındığında en çok ilgi çeken lif grubunun, çelik lifler bulunduğu görülmektedir. Çeliğin elastisite durumu betonunkinden çok daha büyük bulunduğu için çelik lifli betona gelen yükün taşınmasında, çelik liflerin payı başka liflere göre daha büyük olmaktadır. Ayrıca, çelik liflerin en önemli özellikleri yüksek ve üniform çekme gerilmelerine karşılık düşük uzama özelliklerinin olmasıdır [67].

Çelik liflerin gruplandırılması Türk standardı TS 10513 göre beton ilavesinde kullanılan, çelik lifler şekillerine göre üç takımda toplanmıştır. Çelik liflerin şekilleri Şekil 2.3'de gösterilmektedir [68].

- 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



Şekil 2.3. Çelik liflerin şekilleri (TS 10513, 1992)[68].

Çelik liflerin beton içerisine eklendiğinde hangi ölçüde kullanılabileceği, lifin geometrik şekline ve lif ile beton matris arasındaki kenetlenme dağılımına bağlıdır. Bu amaçla çoğu farklı geometrik formda çelik lif üretilmekte ve kullanılmaktadır. Yapılan incelemeler beton üzerindeki; eğilme dayanımında, basınç gerilmeleri altında ve enerji yutma kapasitelerinde en büyük iyileştirmeyi düz ve ucu hafif kıvrımlı liflerin uyguladığını göstermektedir [69] [70].Aşağıda çoğunlukla kullanılan çelik lifler belirtilmiştir. Uyguladığımız karışımda İki ucu çengelli lif kullanılmıştır.



Şekil 2.4. Kancalı uçlu lif (Tip 1).



Şekil 2.5. Dalgalı lif (Tip 2).



Şekil 2.7. İki Ucu çengelli lif (Tip 3).



Şekil 2.6. Düz ve kancalı uçlu lif (Tip 4).

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde deney elemanlarının üretiminde kullanılan agrega, karma suyu, çimento, beton ve donatıya ait özelliklere yer verilmiştir. Bu malzemelerin özellikleri ve yapılan taze ve sertleşmiş beton deneyleri verilmektedir.

3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

3.1.1. Çimento

Numunelerde kullanılan çimento Konya Çimento Fabrikasında üretilen CEM I 42.5 R olup, fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Çizelge 3.1.'de verilmektedir.

Çimento hamurunun mukavemeti önemli ölçüde su/çimento (S/Ç) oranına da bağlıdır. Hazırlanmış olduğumuz çimentoların, her numune için miktarları Çizelge 3.8. ve Çizelge 3.9.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan çimentonun özellikleri

Fiziksel Özellikler	
Özgül Yüzey(Blaine)	3718 cm ² /g
Özgül Ağırlık	3,15 g/ cm ³
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-	0,01%
SO ₃	2,57%
Çözünmeyen kalıntı	0,78%
Kızdırma kaybı	1,45%

3.1.2.Karışım Suyu

Beton karma suyu, betonda işlenebilirliği ve çimento hidrasyonunu sağlamak için kullanılan çok hassas ve önemli bir hammaddedir.

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

Hazırlamış olduğumuz karışım suyunun, her numune için miktarları Çizelge 3.8. ve Çizelge 3.9.'de verilmiştir.

3.1.3.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 ve kullanılan miktarları Çizelge 3.2.' te verilmiştir.

Hazırlamış olduğumuz agregaların, her numune için miktarları Çizelge 3.8. ve Çizelge 3.9.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. 1 m³ Beton karışımı için kullanılan agregaların özellikleri

Agregalar	Özgül ağırlık (g/cm ³)	Kullanılan Miktar (kg)	Karışım Oranları (%)	Su Emme Yüzdesi (%)
0/4 mm agrega	2,64	1217-1200	50(±1)	1,6
4/11 mm kırma taş agrega	2,77	278-256	10(±1)	0,8
11/22 mm Kırma taş agrega	2,71	476-491	20(±1)	0,8

3.1.4.Yüksek Performanslı Süper Akışkanlaştırıcı

Betonun özelliklerini geliştirmek için karıştırma esnasında betona, belli oranlarda eklenen katkı malzemesi olarak adlandırılmıştır. Yüksek dayanım, yüksek performanslı beton üretimlerinde kullanılan yeni nesil hiper akışkanlaştırıcı beton katkısı adıyla da anılmaktadır. Özellikle hazır beton sektörü için geliştirilmiştir. Dozaja göre yüksek oranda su azaltan, işlenebilirlik süresi uzatan, ayrışma ve terleme gibi problemler oluşturmaksızın, kendiliğinden yerleşen ve sıkışan beton elde edilmesini sağlamaktadır.

Numunelerin üretiminde kullanılan akışkanlaştırıcı kimyasal malzemesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.3' te verilmiştir.

Hazırlamış olduğumuz akışkanlaştırıcıların, her numune için miktarları Çizelge 3.8. ve Çizelge 3.9.'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Yüksek Performanslı Süper Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı malzemesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Yük.Per.Süper akışkanlaştırıcı	Özgül ağırlık
	1,070 g/cm ³ (±0,03)

3.1.5.Çelik Lif

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 [70]. Deneylerde kullanılan çelik liflere ait marka, fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.4. de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Kullanılan çelik liflerin fiziksel ve kimyasal özellikleri

BETONFİBER® BF0960 ÇELİK FİBER	
Standart	ASTM A820/A820M - 04, Type 1 cold drawn wire
Görünüm	Parlak, Çelik Tel
Tip	Soğuk Çekme
Kenar	Kıvrımlı
Açı	45°
Fiber Uzunluk	60 mm
Çap	0.9 mm
Çekme Mukavemeti	1100 Mpa
Narinlik oranı	66



Şekil 3.1. Kullanılan çelik lifin resmi

3.1.6.Nervürlü Donatı

Ø 10 çapında uzunluğu nervürlü çelik çubuklar kullanılmıştır. Demir uzunluğu 1,10 metredir. Mekanik özellikleri aşağıdaki Çizelge 3.5. ve Çizelge 3.6.'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Çelik nervürlü demirin özellikleri

St 37 çeliğinin özellikleri		S420(Nervürlü) çeliğinin özellikleri	
Çekme Dayanımı (N/mm ²)	370	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	500
Akma Dayanımı (N/mm ²)	235	Akma Dayanımı (N/mm ²)	420
Uzama (%)	25	Min Kopma Uzama (%)	10

Çizelge 3.6. Ø10 çelik çubuğunun özellikleri

Ø10 çelik çubuğunun özellikleri	
Çap (mm)	10
Alan (cm ²)	0,785
Birim Ağırlık (kg/m)	0,616
Hacim (m ³)	0,098

3.2 Deneysel Çalışmanın Amacı ve İçeriği

Bu tez çalışmasında farklı S/Ç oranına sahip betonlara katılan çelik liflerin, donatı çubuklarının beton ile aderansına etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Numuneler üretildikten sonra tüm beton gruplarına deneyler yapılmıştır. Beton numunelerinin içerisine ankre edilmiş 10 mm çapında nervürlü demir çubuklarına, çekme çıkarma deneyi yapılmış olup, küp ve silindirik beton numunelerine ise basınç deneyleri yapılmıştır.

3.3. Beton Karışımları ve Numune Kodları

K1 ve K2 olmak üzere farklı su/çimento oranlarında iki çeşit beton karışımında numuneler hazırlanmıştır. Kullandığımız beton karışımlarına ait 28 Günlük değerler Çizelge 3.7.'da verilmiştir. Her karışım için ayrı ayrı olmak üzere hacimsel olarak %0,25, %0,5 ve %1 oranında Çelik lif eklenmiştir. Örnek olarak hacimce %0,25 lif

içeriğine sahip lifli karışımın m³'ünde 19,50 kg çelik lif bulunmaktadır. Bu değerler Çizelge 3.8. ve Çizelge 3.9.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. K1 ve K2 beton karışımlarının su/çimento değerleri

Beton Karışımı	Su/Çimento Oranı
K1	0,70
K2	0,63

Numune kodlaması yapılırken beton karışımı K1 ve K2 ile gösterilmiştir. Lif içeriklerine göre kodlama yapılırken ise içerdiği yüzde oranına göre; Çelik lif olmayan için TBOŞ, %0,25 için "T25", %0,50 için "T50" ve %1 için ise "T100" ifadeleri kullanılmıştır. Karışım kodları Çizelge 3.8. ve Çizelge 3.9.'da verilmiştir. Örneğin K1 beton karışımı, %0,25 çelik lif oranı olan bir numune K1T25 olarak kodlanmıştır.

Çizelge 3.8. K1 Karışımların gerçek beton bileşimleri (1 kg/m³ için)

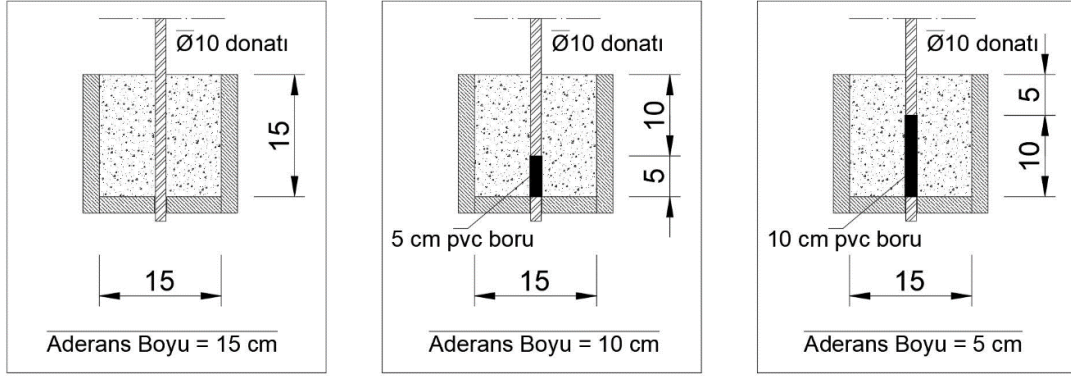
KULLANILAN MALZEME		KARIŞIM KODLARI			
		K1T25	K1T50	K1T100	K1TBOŞ
Çimento	(kg/m ³)	250	250	250	250
Su	(kg/m ³)	175	175	175	175
0/4 mm agrega	(kg/m ³)	1217	1217	1217	1217
4/11 mm agrega	(kg/m ³)	278	278	278	278
11/22 mm agrega	(kg/m ³)	476	476	476	476
Çelik Lif	(kg/m ³)	19,5	39	78	0
Yüksek Performanslı Süper Akışkanlaştırıcı	(kg/m ³)	2,5	2,5	2,5	2,5
Su / Çimento(%)		0,7	0,7	0,7	0,7

Çizelge 3.9. K2 Karışımların gerçek beton bileşimleri (1 kg/m³ için)

KULLANILAN MALZEME		KARIŞIM KODLARI			
		K2T25	K2T50	K2T100	K2TBOŞ
Çimento	(kg/m ³)	280	280	280	280
Su	(kg/m ³)	175	175	175	175
0/4 mm agrega	(kg/m ³)	1200	1200	1200	1200
4/11 mm agrega	(kg/m ³)	256	256	256	256
11/22 mm agrega	(kg/m ³)	491	491	491	491
Çelik Lif	(kg/m ³)	19,5	39	78	0
Yüksek Performanslı Süper Akışkanlaştırıcı	(kg/m ³)	2,8	2,8	2,8	2,8
Su / Çimento(%)		0,63	0,63	0,63	0,63

3.4. Beton karışımlarının hazırlanması

Deneyimizin amacı donatı çelikleri ve beton arasındaki aderans etkilerinin incelenmesi olduğundan, farklı uzunluklarda aderans davranışlarını inceleyebilmek amacıyla boyutları 15x15x15 cm olacak numunelerin numune kalıpları hazırlandı. Farklı aderans uzunluklarında davranışların incelenebilmesi için donatı çubukların betonla temas yüzeyleri, plastik elektrik boruları yardımıyla 5 cm / 10 cm ve 15 cm olacak şekilde bir düzenek hazırlanmıştır.

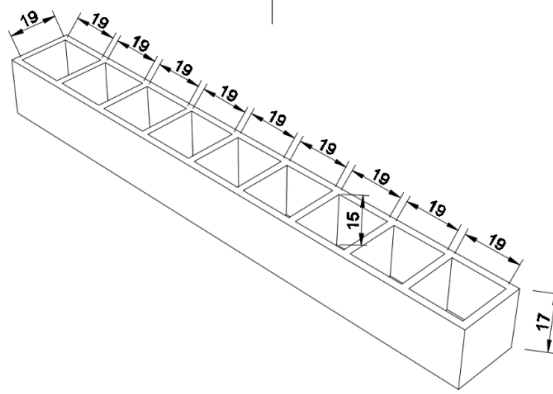


Şekil 3.2. Üç farklı aderansın dökülen kaplardaki kesit görünüşleri

Hazırlanacak numunelerin içerisine donatı çeliği yerleştirilebilmesi için Şekil 3.3. deki gibi plywood malzemeden dokuzar numunelik kalıplar hazırlanmıştır. Oluşturulan bu dokuz hazneden 3 tanesi 5 cm, 3 tanesi 10 cm ve 3 tanesi de 15 cm aderans sağlayacak şekilde donatıların alt taraflarına plastik borular takılarak beton dökümüne hazır hale getirilmiştir. Toplamda 96 adet küp, 24 adet silindir şeklinde numuneler alınmıştır. Numunelerin kalıplardan hasarsız çıkabilmesi için EPS-XPS köpük konmuştur. Bu köpüklerin kalınlıkları da hesaplanarak hazneler en: boy: yükseklik / 19: 19: 15 cm olacak şekilde kalıp yapılmıştır. Oluşturulan bu haznelerin tabanlarına donatının geçebileceği şekilde çapta delikler açılmıştır.

Çizelge 3.10. K2 Karışımların gerçek beton bileşimleri (1 kg/m³ için)

DENEY KARIŞIMI	BETON KARIŞIMI	LİF ORANLARI	15x15x15 NUMUNE ADETİ	SİLİNDİR NUMUNE ADETİ
ADERANS DENEYİ İÇİN	K1	BOŞ	9	0
		% 0.25	9	0
		% 0.50	9	0
		% 1.00	9	0
	K2	BOŞ	9	0
		% 0.25	9	0
		% 0.50	9	0
		% 1.00	9	0
BASINÇ DENEYİ İÇİN	K1	BOŞ	3	3
		% 0.25	3	3
		% 0.50	3	3
		% 1.00	3	3
	K2	BOŞ	3	3
		% 0.25	3	3
		% 0.50	3	3
		% 1.00	3	3
TOPLAM			96	24
GENEL TOPLAM NUMUNE ADETİ			120	



Şekil 3.3. Numune kalıplarının üç boyutlu görünümü



Şekil 3.4. Numune kalıplarının görünümü

Beton karışımları Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9.'da ki miktarlar hassas dijital terazi kullanılarak tartılmış ve betoniyer yardımıyla beton karışımları hazırlanmıştır.



Şekil 3.5. Deneylerde kullanılan dijital hassas tartı



Şekil 3.6. Betoniyer ve farklı eleklerden geçirilmiş agregaların görünümü



Şekil 3.7. Deneilerde kullanılan çelik tellerin iki farklı görünümü



Şekil 3.8. Numunelerin döküm sonrası görünümü

3.5. Taze Beton deneyleri

Taze betonun kıvamı ve işlenebilirliği hakkında bilgi sahibi olmak amacıyla yapılır. Çökme konisi içerisinde 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 [71] ' ye göre belirlendi. Taze beton deney sonuçları Çizelge 3.11.' de verilmektedir.



Şekil 3.9. Boş ve lifli betonların slump deneylerinin resmi

Hazırlanan beton gerekli miktarda vibratör kullanılarak dokuzlu kalıplara dökülmüştür. Ayrıca hazırlanan beton karışımlarının basınç deneylerinin yapılabilmesi amacıyla hazır küp ve silindir numune kalıplarına da karışımlar doldurulmuştur.

3.5.1. Slump Çökme Deneyi Sonuçları

Slump çökme deneyleri K1 ve K2 beton karışımları için yapılmıştır. Numune kaplarına dökülmeden ölçülen çökme ve yayılma miktarları aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 3.11. K1 ve K2 Beton karışımlarının slump çökme deneyi değerleri

BETON KARIŞIMI	NUMUNE KODLARI	ÇÖKME (cm)	YAYILMA (cm)	BETON KARIŞIMI	NUMUNE KODLARI	ÇÖKME (cm)	YAYILMA (cm)
K1	K1TBOŞ	21	45	K2	K2TBOŞ	21	46
	K1T25	18	46		K2T25	23	45
	K1T50	19	44		K2T50	24	44
	K1T100	19	43		K2T100	25	43

3.6. Numunelerin saklanması

Hazırlanan beton gerekli miktarda vibratör kullanılarak dokuzlu kalıplara dökülmüştür. Ayrıca hazırlanan beton karışımlarının basınç deneylerinin yapılabilmesi amacıyla hazır küp ve silindir numune kalıplarına da karışımlar doldurulmuştur.

Betonlar 24 saat sonra kalıptan çıkartılarak kür ortamlarında istenilen yaşa ulaşincaya kadar bekletilmiştir. En az 28 gün bekletilen numuneler havuzdan çıkartıldı ve deneylere geçildi.



Şekil 3.10. Numune kaplarının bekletildiği su dolu havuz



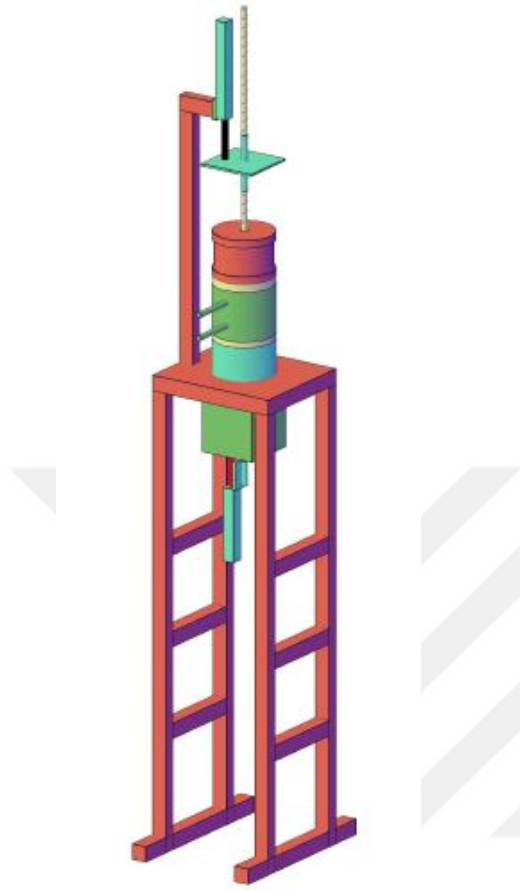
Şekil 3.11. Numune kaplarının döküm sonrası görünümü

Döküm ve saklama aşamaları tamamlandıktan sonra içerisinde donatı olan numuneleri Şekil 3.12. ve Şekil 3.13. deki düzenek yardımıyla çekme deneyine, diğer küp ve silindir numuneler ise basınç deneyine tabi tutulmuştur.

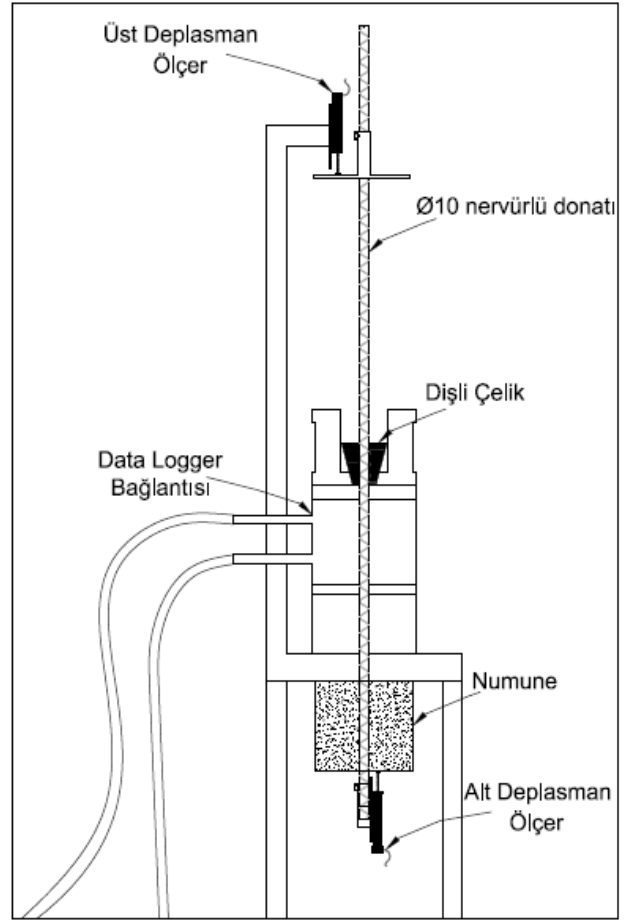
3.7. Sertleşmiş Beton Deneyleri

3.7.1. Çekip Çıkarma Deneyi

İçerisinde donatı olan numuneler, Şekil 3.12. ve Şekil 3.13.'deki düzenek yardımıyla donatı çubuğu 15x15x15 cm değişen karışım oranlarında imal edilen beton numunelerin içerisinden yukarı yönlü çekme işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.12. Düzenek üç boyutlu görünümü



Şekil 3.13. Düzenek iki boyutlu görünümü

Donatı çubuğu 15x15x15 cm değişen karışım ve aderans miktarları farklı oranların Ø 10 nervürlü donatı (St 37) ankrajlı küp beton numunelerin içerisinde yukarı yönlü çekme işlemine tabi tutulmuştur. Yükleme işlemi manuel hidrolik el pompası ile yapılmıştır. Çekme esnasında yükün verildiği kısmın üzerindeki demir sabit kalması için dişler (dişli çelik) içerisinde sıkıştırılmıştır. Çekme esnasında uygulanan kuvvet ve bu kuvvet neticesinde zamana bağlı olarak mm cinsinden alt ve üst deplasman değerleri data logger cihazıyla kaydedilmiştir. Alt ve üst deplasmanları kapasitesi 100 mm olan cetvellerle ölçülmüştür (Şekil 3.14). Her numune çekip çıkarılmasında cetvellerin kalibrasyonu yapılmıştır. Potansiyometrik lineer cetvel, doğrudan mekanik deplasmanları test etmek ve izlemek için tasarlanmıştır. Yapısındaki yaylı kontrol çubuğu, ölçüm nesnesiyle birlikte bulunan kavrama ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır (Şekil 3.14).

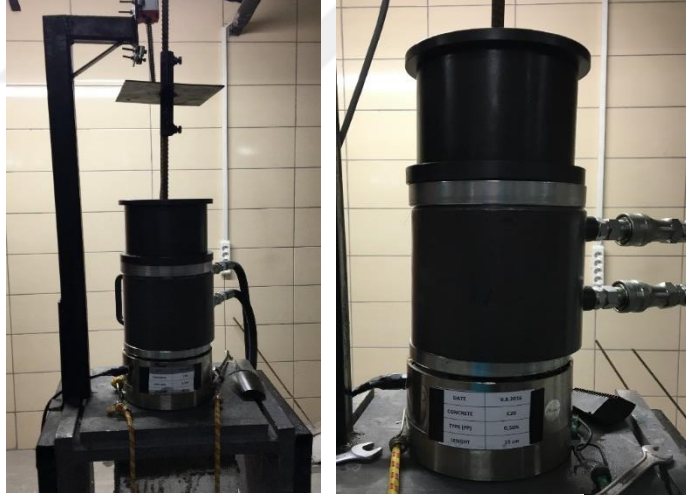
Bu işlem hazırlanan tüm beton kp numuneleri için tekrarlanmıştır.



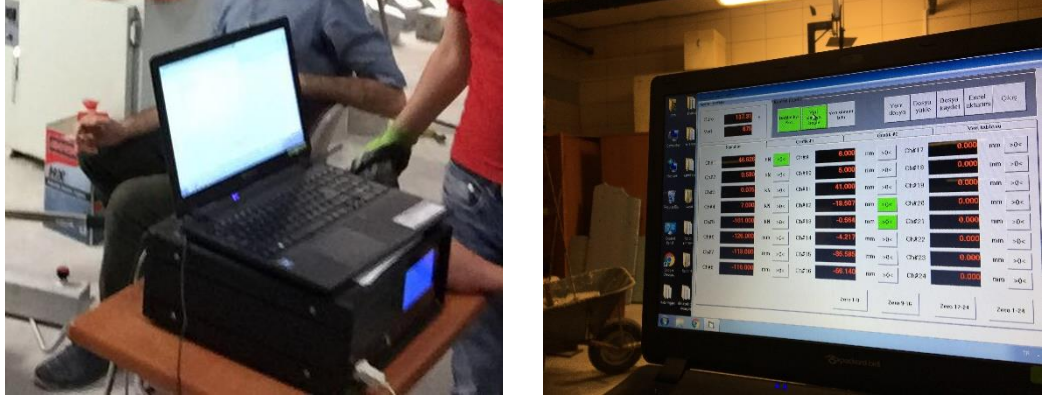
şekil 3.14. Data logger cihazı



şekil 3.15. Potansiyometrik lineer cetvel



şekil 3.16. Düzenek görünümü



Şekil 3.17. Data logger cihazı ve verilerin kayıt olduğu bilgisayar



Şekil 3.18. Yukarıdaki üçlü görünüm; Numunenin sabitleme işlemi yapılırken görünümü



Şekil 3.19. Düzenek genel görünümü

3.7.2. Basınç Dayanım Deneyi

Basınç dayanımı deneyi 3'er adet 15x15x15 cm boyutlarındaki küp numuneler üzerine gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanım deneyi TS EN 12390-3'e göre yapılmıştır [72]. TS EN 12390-3 'e göre 0,2 MPa/s (N/mm². s) - 1,0 MPa /s (N/mm². s) arasında sabit bir yükleme hızı seçilmelidir. Yük, numuneye, darbe tesiri olmaksızın, seçilen hızdan sapma, \pm %10'u geçmeyecek şekilde, en büyük yüke ulaşıncaya kadar sabit hızda uygulanmıştır [72].

Belirlenen beton yaşlarına ulaşan numuneler 3000 Kn yükleme kapasitesine sahip otomatik kontrollü preste kırılarak da-yanım değerleri bulunmuştur.



Şekil 3.20. Basınç dayanımında numunenin hazırlanışı.



Şekil 3.21. Beton basınç makinesi

3.8. Deney Sonuçları

Çizelge 3.16. ve Çizelge 3.17.' de deneylerde bütün betonlar için 28 gün için elde edilen basınç dayanımı değerleri verilmiştir. Betonarme demiri ve beton arasındaki aderans dayanımı ise Çizelge 3.13. ve Çizelge 3.15' de verilmiştir.

3.8.1.Çekip Çıkarma Dayanım Deney Sonuçları

K1 ve K2 Beton karışımlarında %0-0,25-0,5-1 oranında çelik lif ve aderans boyu 5-10-15 cm olan numunelerin Ø 10 'luk nervürlü demir çubuğun çekilmesiyle maksimum kuvvet anındaki değerler ortalamalarıyla birlikte aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.(Çizelge 3.12.-13.-14.-15.)

Aderans boyu (A) : Numune içerisindeki beton ile temas eden demirin uzunluğu.

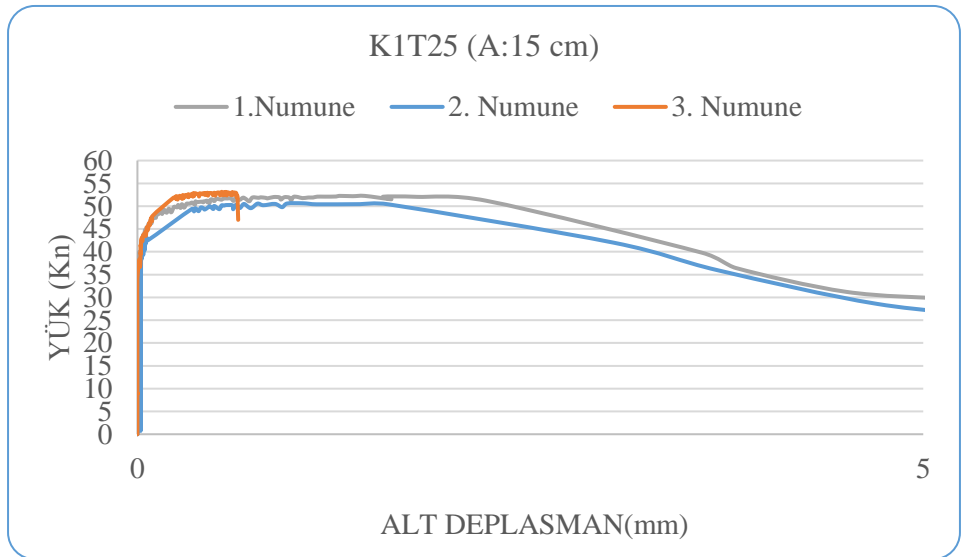
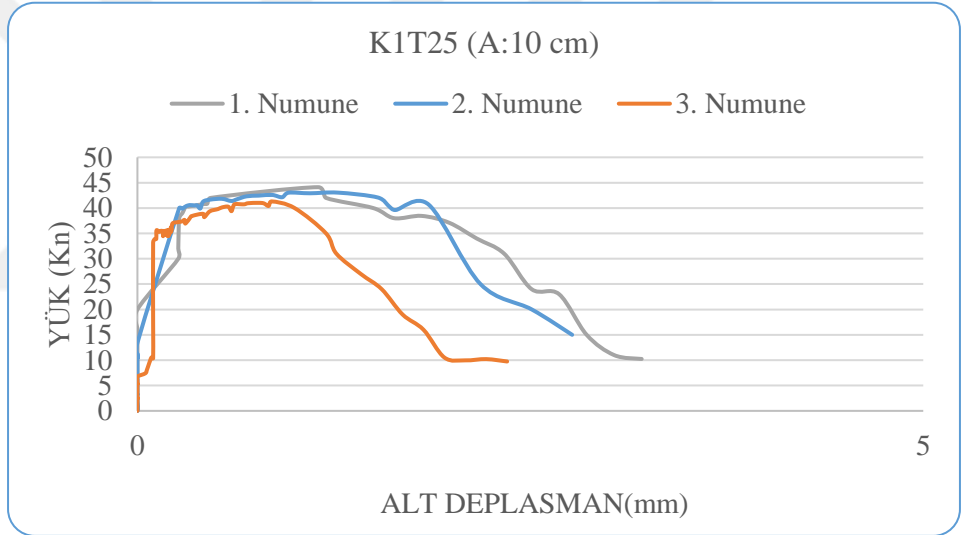
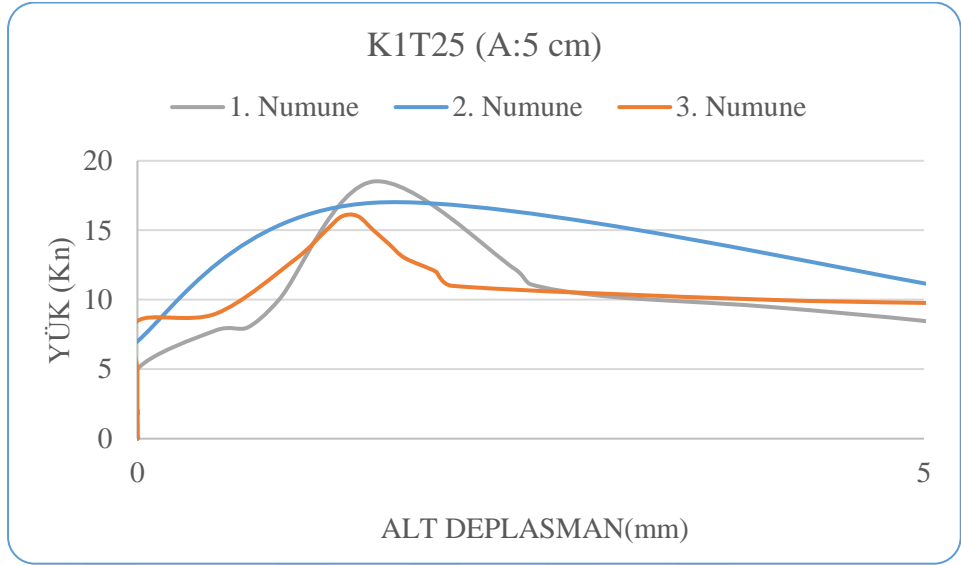
Yük (P) : Oluşan kuvvetin en yüksekteki gerilme değeridir.

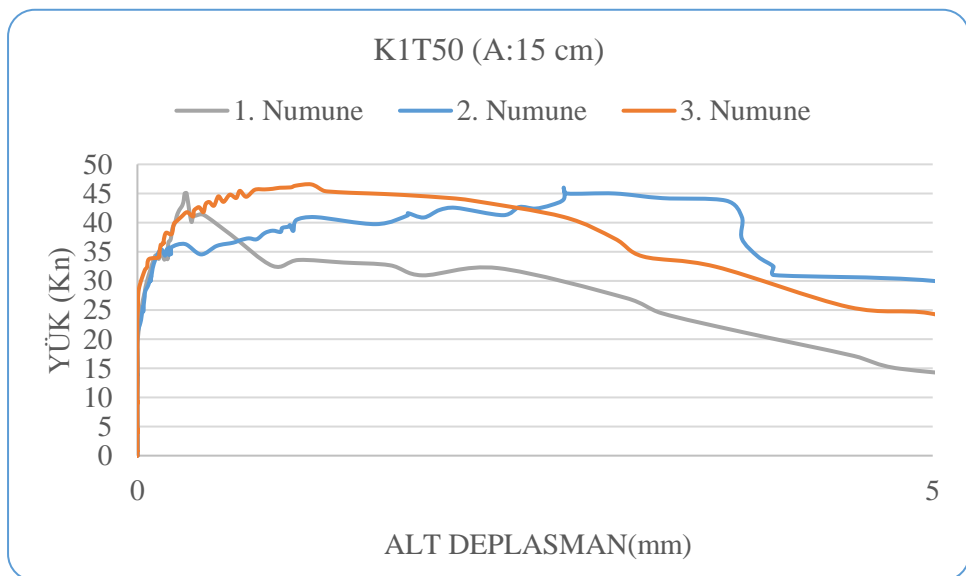
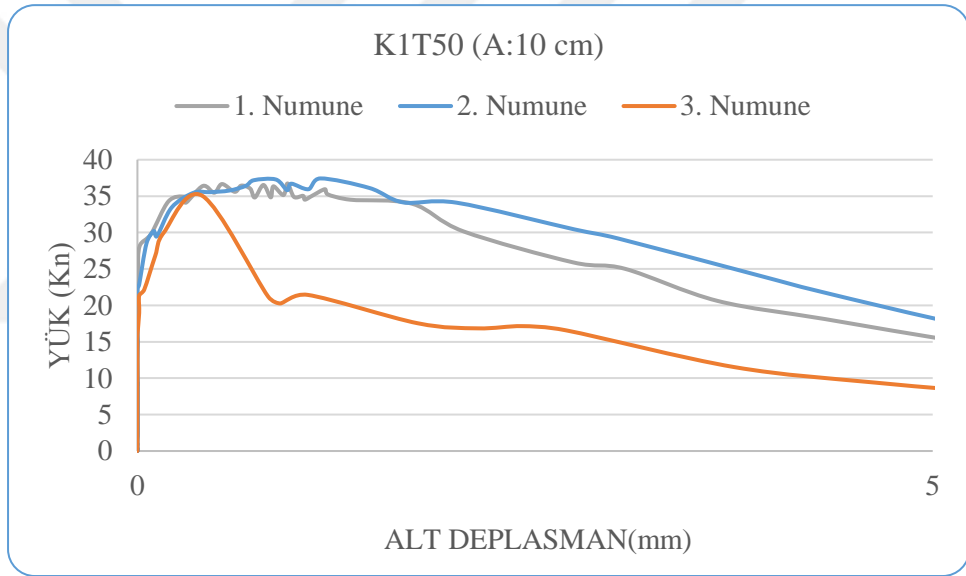
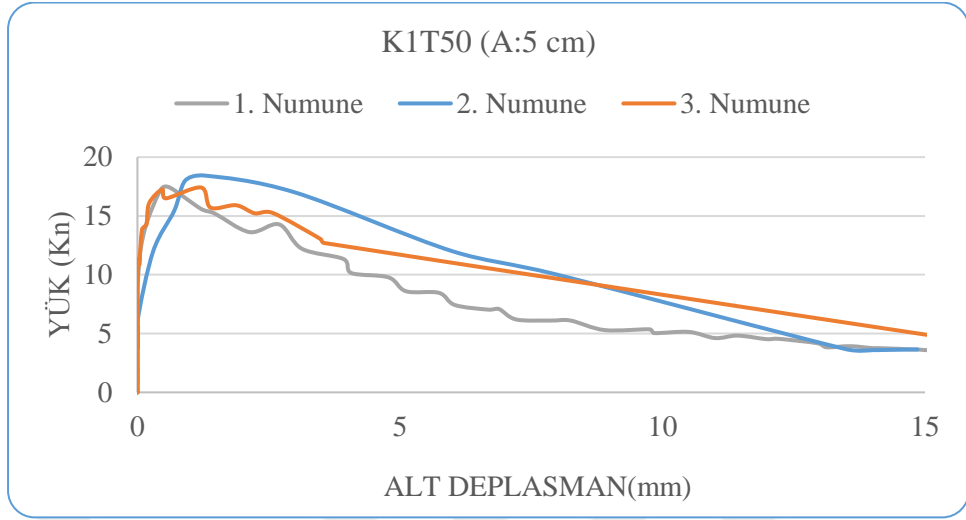
K1T25, K1T50, K1T100, K1TBOŞ, K2T25, K2T50, K2T100 ve K2TBOŞ numunelerine ait elde edilen yük / alt deplasman grafikleri aşağıda verilmiştir.

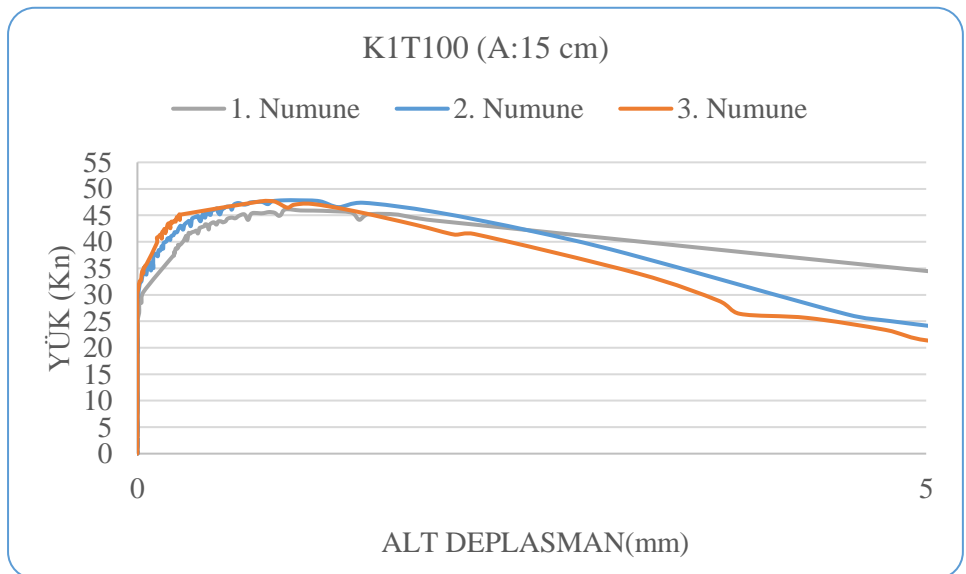
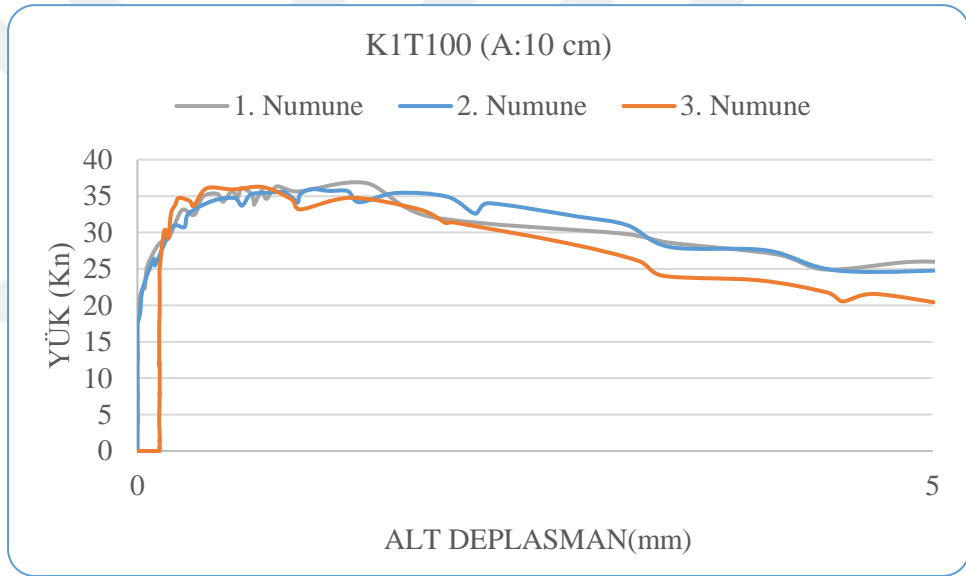
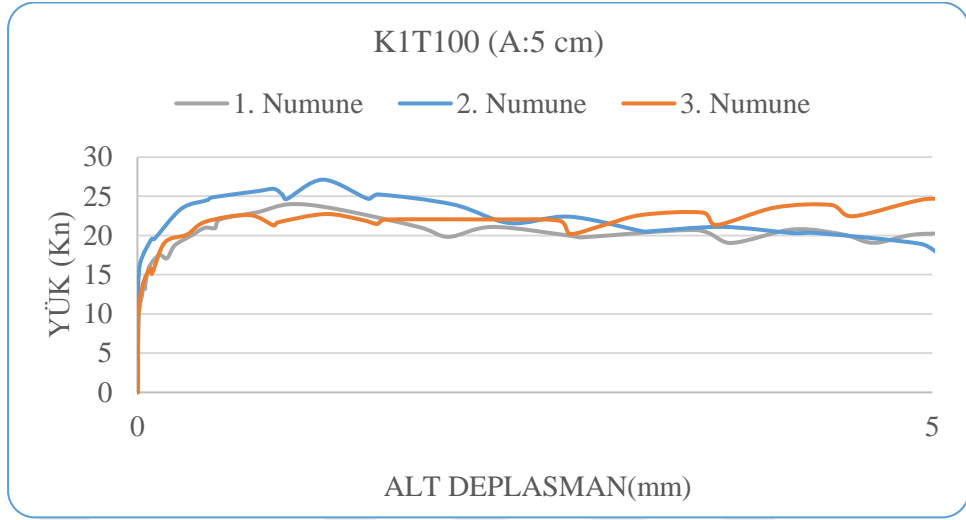
Aşağıdaki Şekil 3.23. grafiklerinin gösterim şekli üçerli gruplar şeklinde olmuştur. Örneğin bir sayfada K1T25'e ait numunelerin, aderansları (A) 5 cm, 10 cm ve 15 cm deki gösterdiği davranışlar grafiklerde belirtilmiştir.

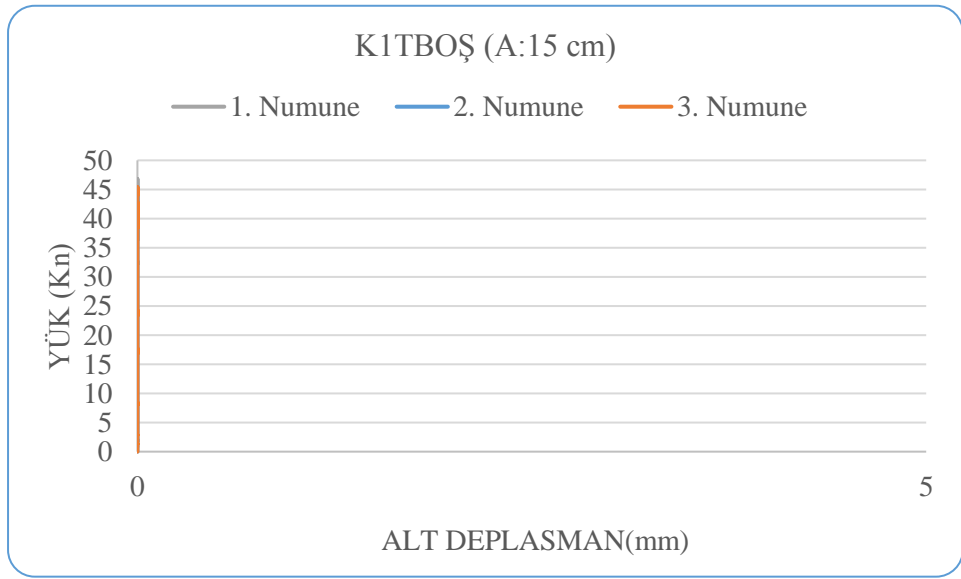
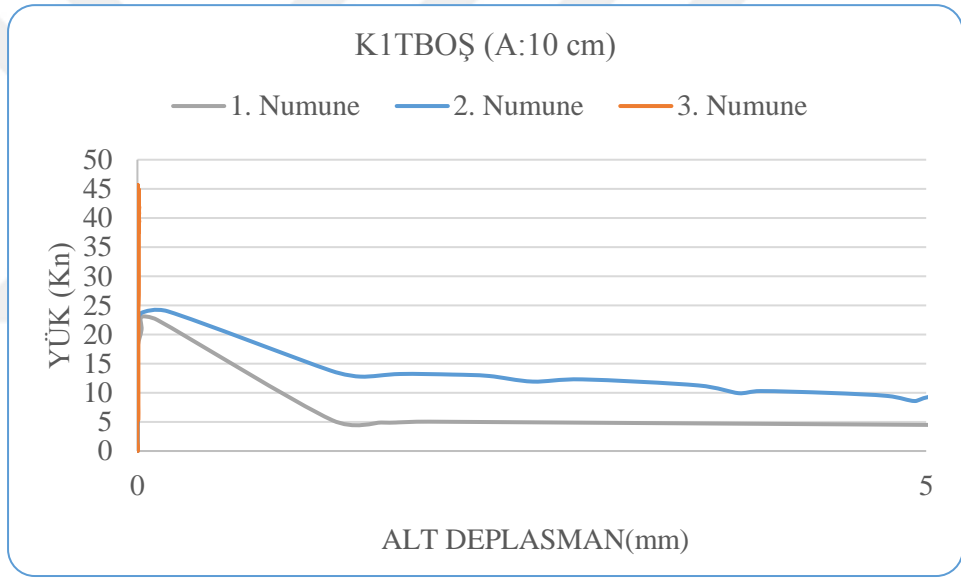
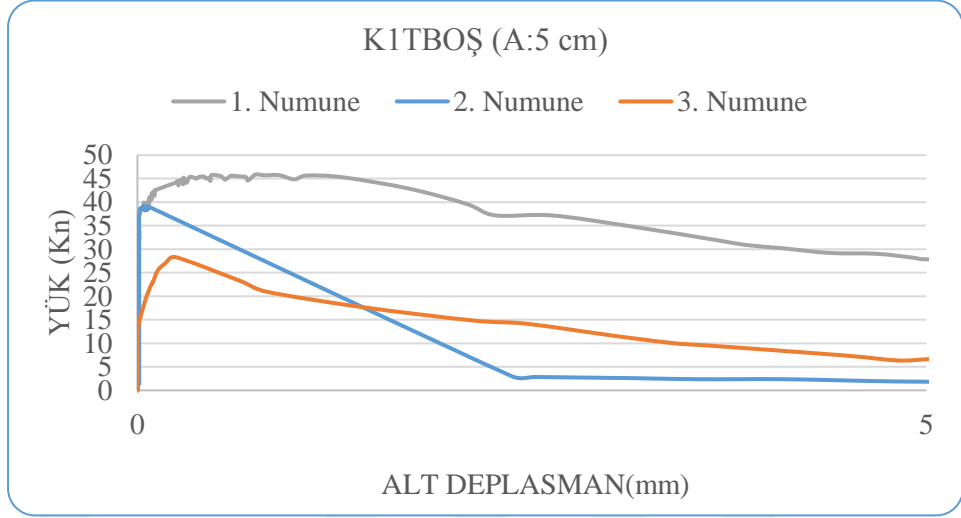


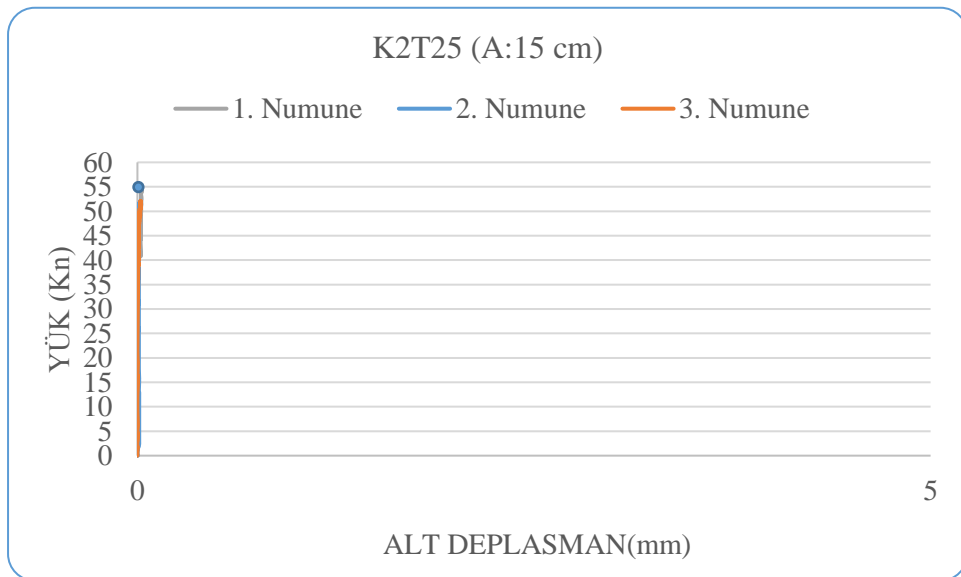
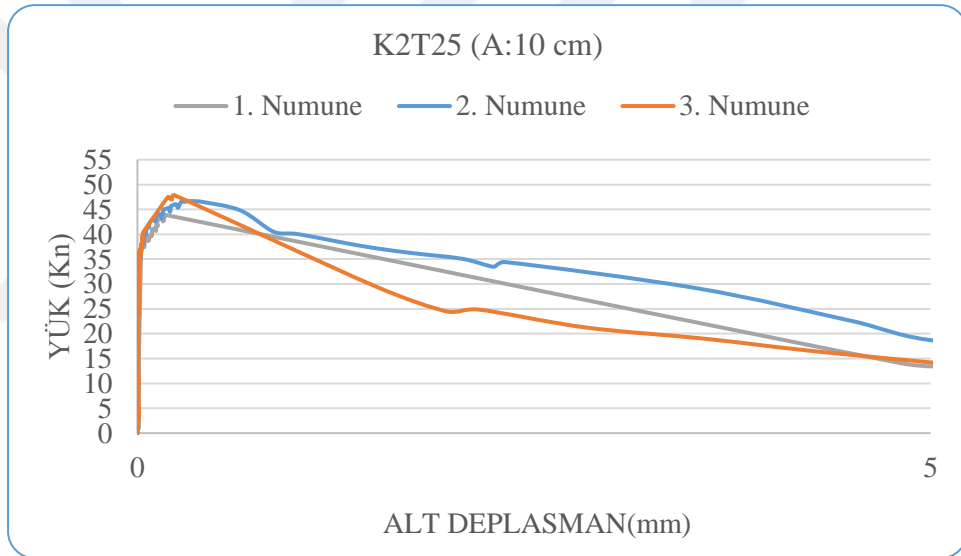
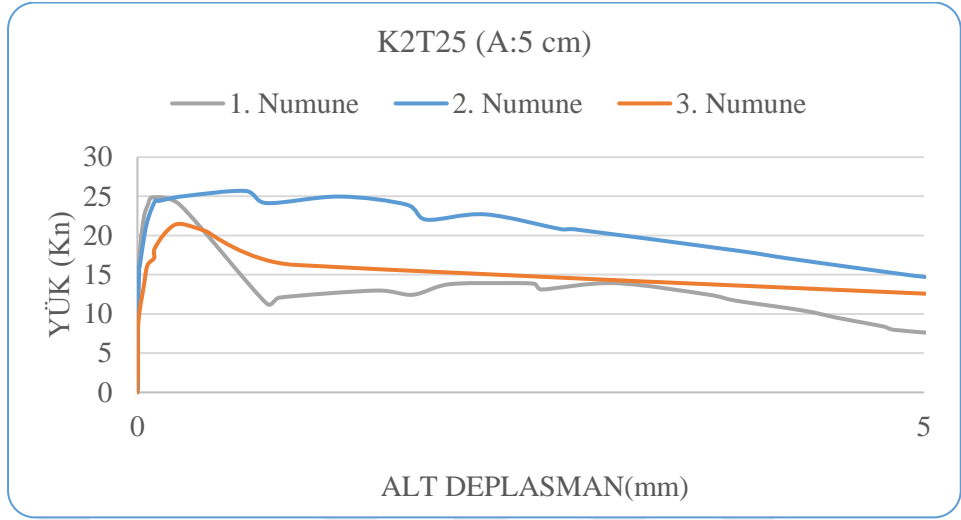
Şekil 3.22. Çekip çıkarma deneyleri sonrası numunenin nihai görünümü.

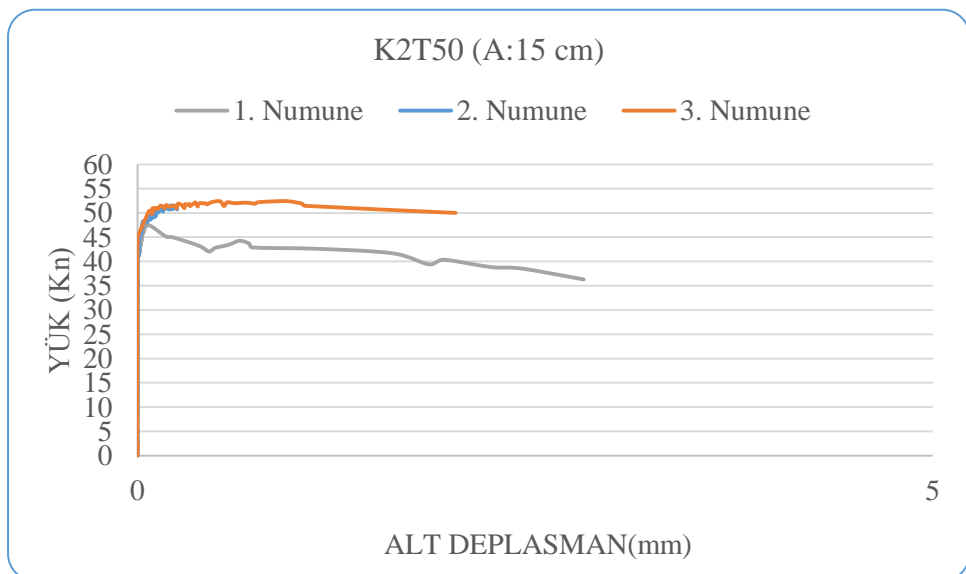
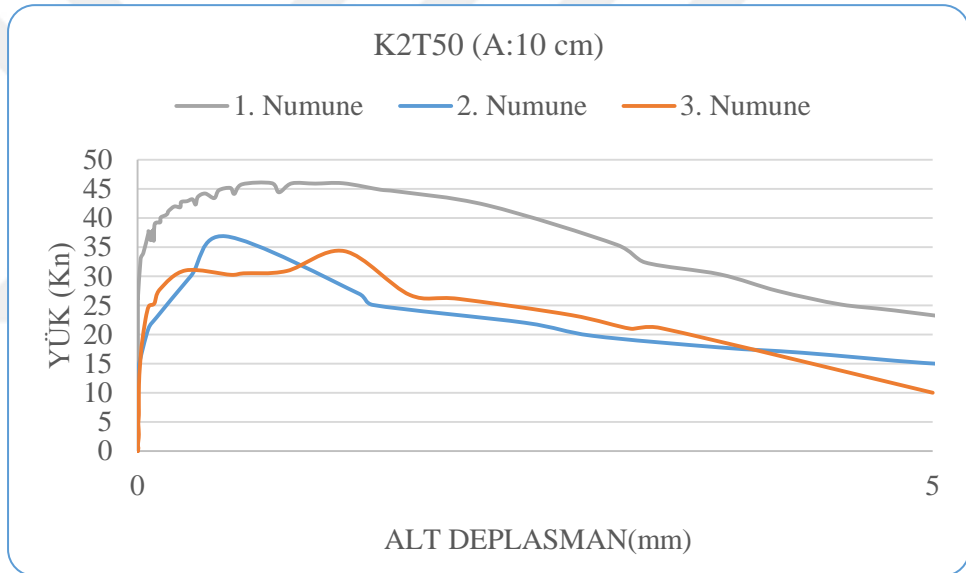
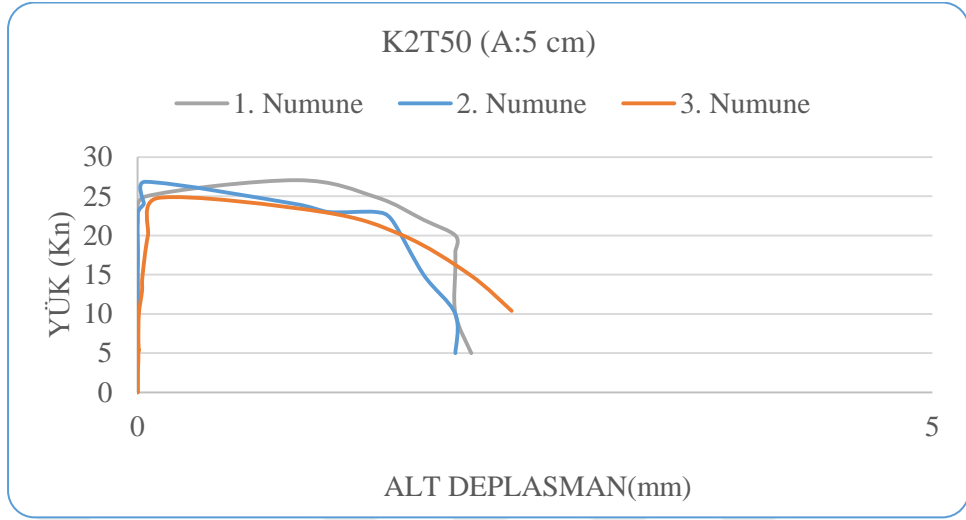


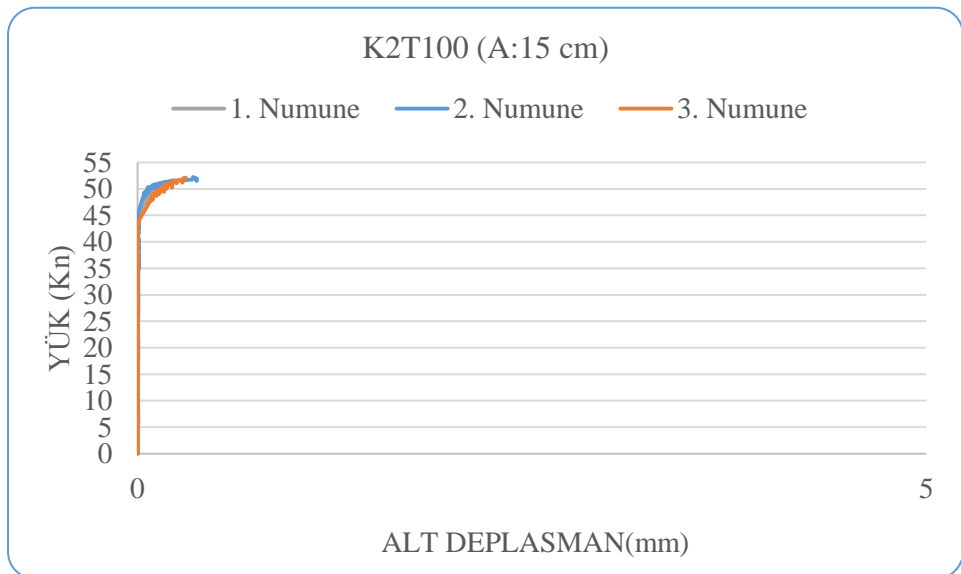
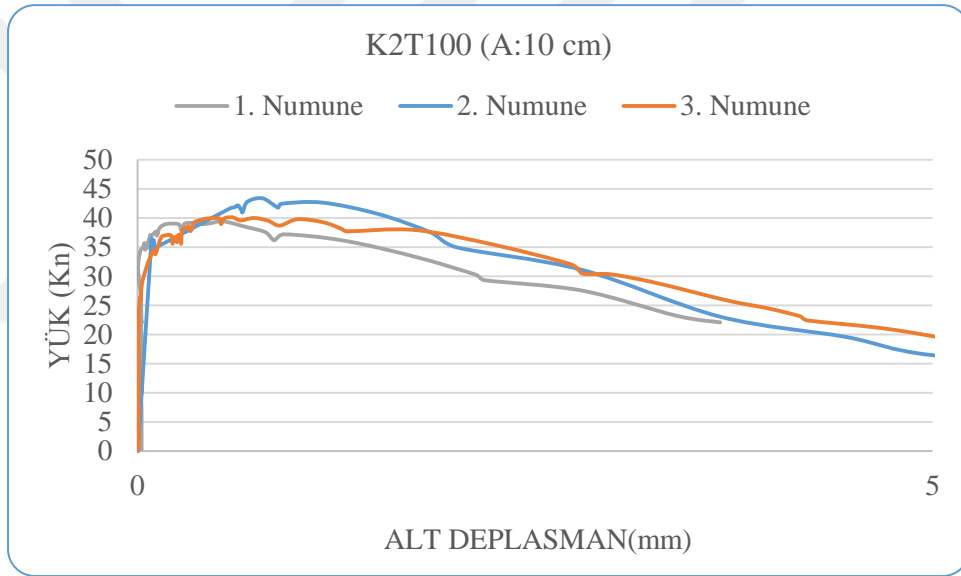
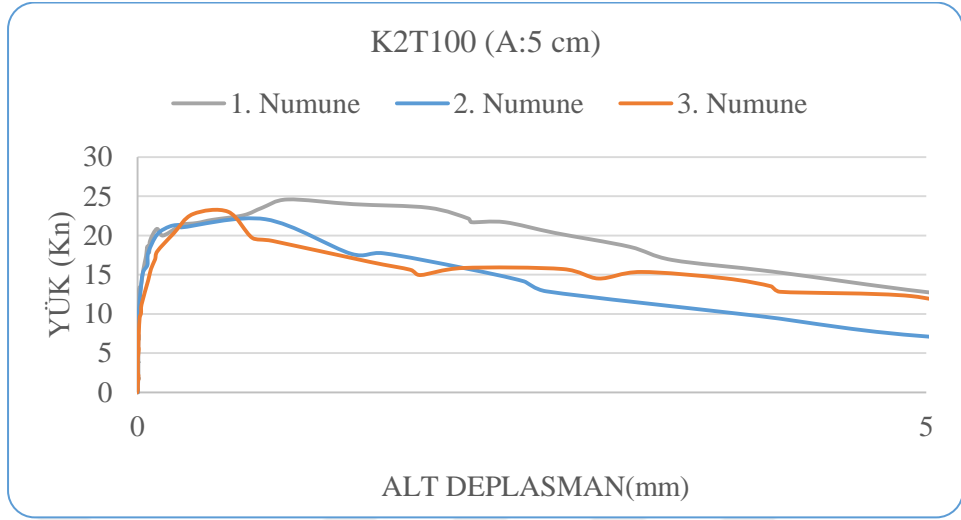


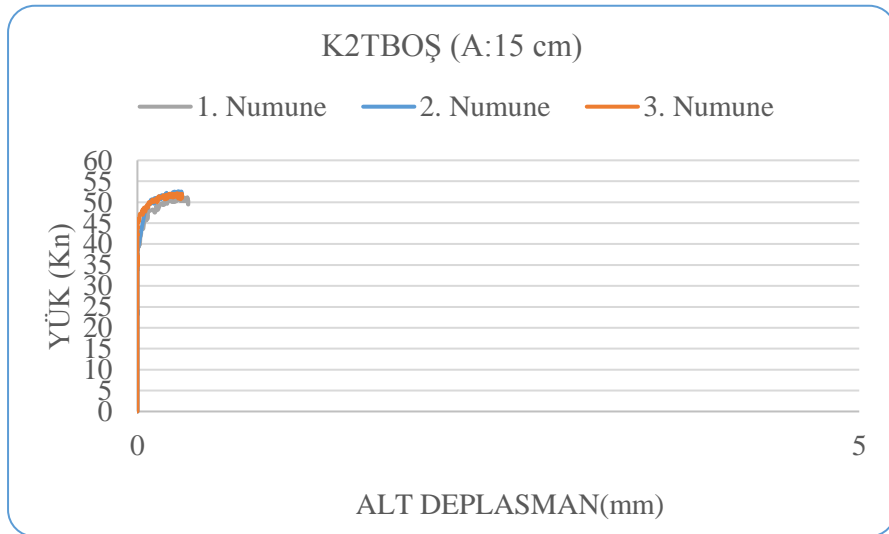
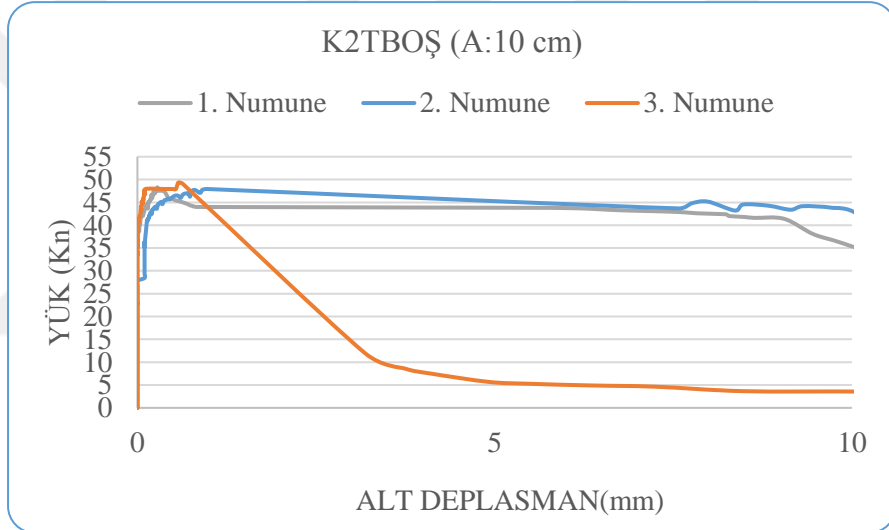
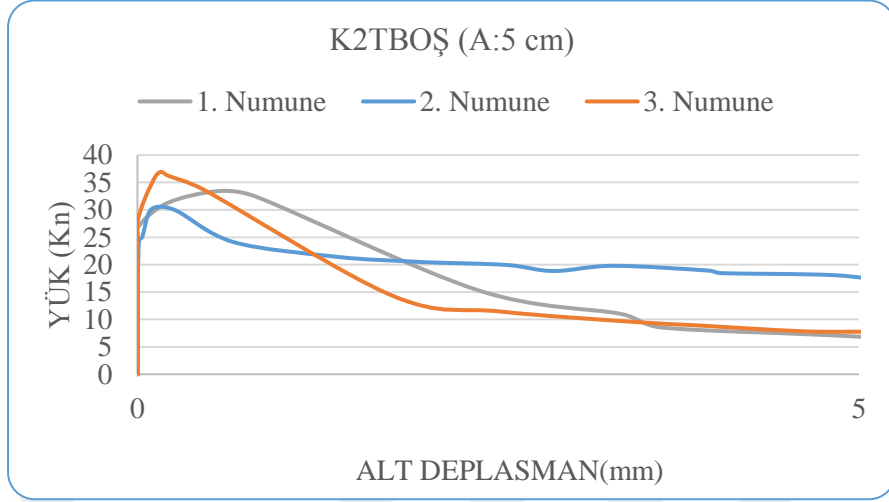












Şekil 3.23. K1 ve K2 beton karışımlarında üç farklı aderanslardaki çekip bırakma deneylerindeki maksimum yük ile alt deplasman dağılım grafikleri.

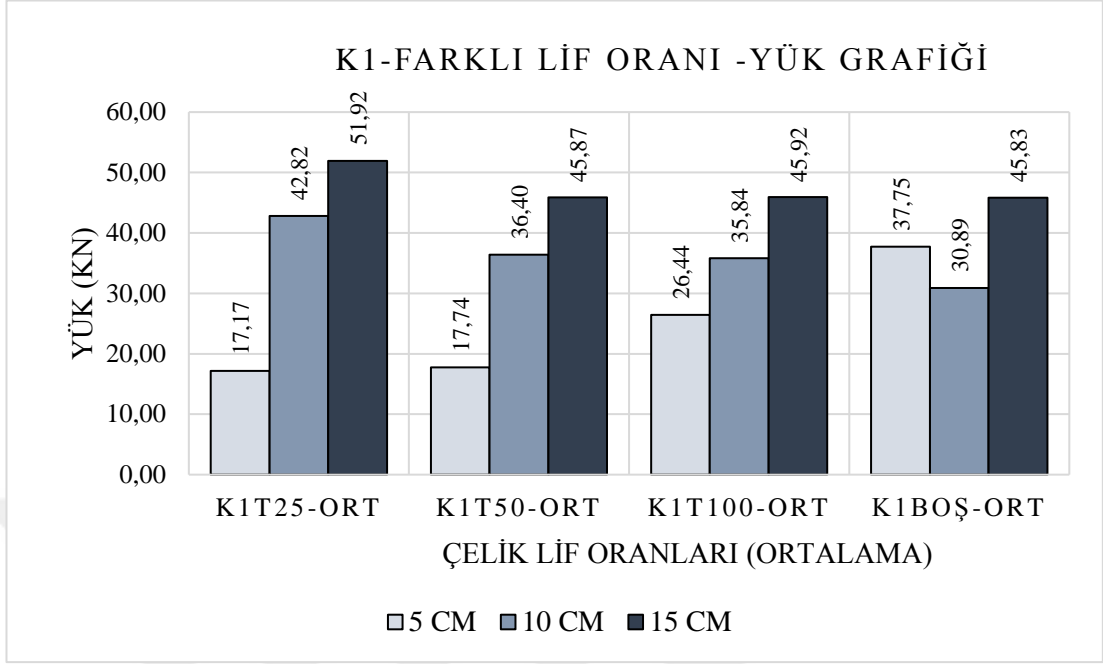
Çizelge 3.12. K1 beton karışımı için çekip çıkarma deneyi sonuçlarının değerleri.

Numune No	Aderans Boyu	K1T25 (Kn)	K1T50 (Kn)	K1T100 (Kn)	K1TBOŞ (Kn)
Numune-1	5 cm	18,51	17,40	24,00	45,74
Numune-2	5 cm	16,98	18,43	27,12	39,17
Numune-3	5 cm	16,02	17,41	28,18	28,33
Ortalama	5 cm	17,17	17,74	26,44	37,75
Numune-1	10 cm	44,11	36,74	36,79	45,61
Numune-2	10 cm	43,04	37,43	35,95	23,98
Numune-3	10 cm	41,30	35,03	34,77	23,09
Ortalama	10 cm	42,82	36,40	35,84	30,89
Numune-1	15 cm	52,25	45,03	45,12	45,35
Numune-2	15 cm	50,56	46,02	46,03	45,35
Numune-3	15 cm	52,95	46,56	46,62	46,78
Ortalama	15 cm	51,92	45,87	45,92	45,83

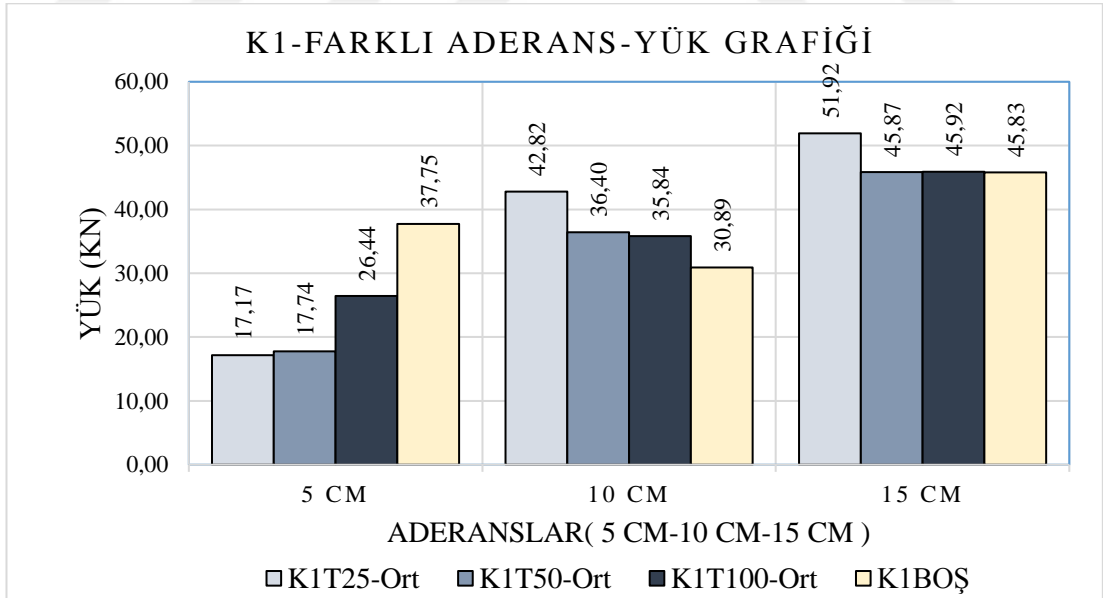
Çizelge 3.13. K1 beton karışımı, %0,25-0,5-1,0 ve lif olmayan oranında çelik lif katkıli betonunun aritmetik ortalama yük değerleri.

ADERANS BOYU (cm)	NUMUNE ARİTMETİK ORTALAMALARI	K1T25-Ort (Kn)	K1T50-Ort (Kn)	K1T100-Ort (Kn)	K1BOŞ-Ort (Kn)
5 CM	ORTALAMA	17,17	17,74	26,44	37,75
10 CM	ORTALAMA	42,82	36,40	35,84	30,89
15 CM	ORTALAMA	51,92	45,87	45,92	45,83

Aşağıdaki kümelenmiş sütun grafiklerinde K1 beton karışımında 5-10-15 cm'de % Boş-0,25-0,5-1,00 oranında çelik lif oranındaki numunelerin maksimum yüklerdeki davranışları aşağıda gösterilmiştir.(Şekil 3.24. ve Şekil 3.25.)



Şekil 3.24. K1 beton karışımı farklı lif oranlarındaki aderansların değişimine göre maksimum yük sütun grafikleri.



Şekil 3.25. K1 beton karışımı farklı aderanslardaki farklı lif oranlarının değişimine göre maksimum yük sütun grafikleri.

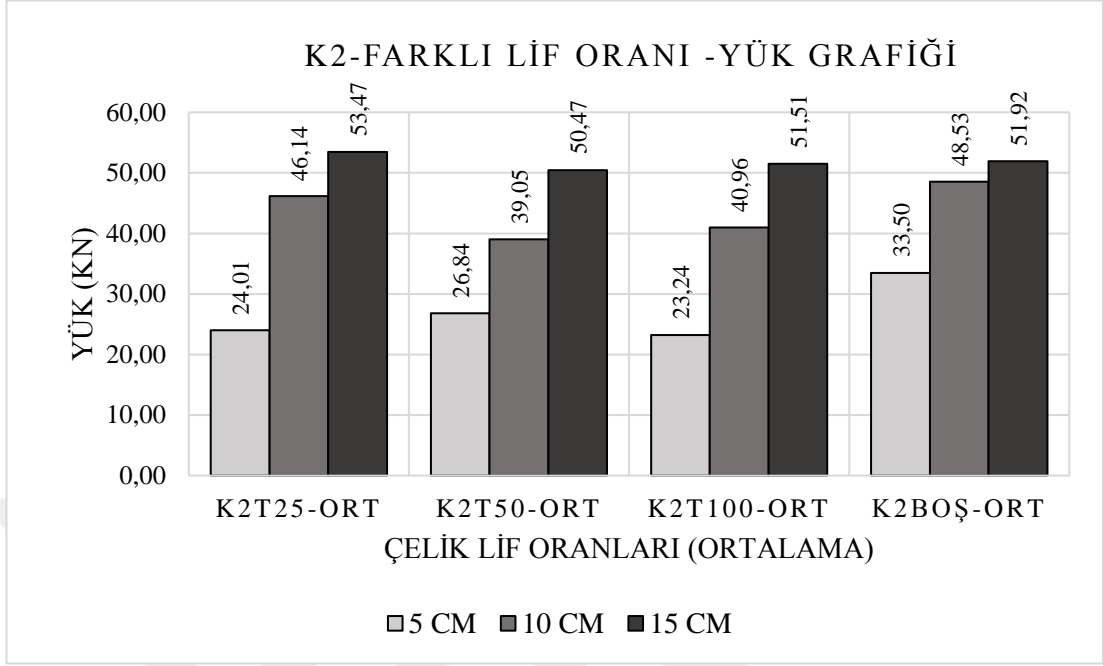
Çizelge 3.14. K2 beton karışımı için çekip çıkarma deneyi sonuçlarının değerleri.

Numune No	Aderans Boyu	K2T25 (Kn)	K2T50 (Kn)	K2T100 (Kn)	K2TBOŞ (Kn)
Numune-1	5 cm	24,871	27,058	24,600	33,431
Numune-2	5 cm	25,680	28,648	22,076	30,112
Numune-3	5 cm	21,488	24,801	23,032	36,944
Ortalama	5 cm	24,01	26,84	23,24	33,50
Numune-1	10 cm	43,895	45,973	39,408	48,294
Numune-2	10 cm	46,672	36,857	43,371	47,931
Numune-3	10 cm	47,867	34,307	40,107	49,370
Ortalama	10 cm	46,14	39,05	40,96	48,53
Numune-1	15 cm	54,441	47,545	50,193	51,149
Numune-2	15 cm	53,246	51,517	52,234	52,556
Numune-3	15 cm	52,731	52,345	52,115	52,050
Ortalama	15 cm	53,47	50,47	51,51	51,92

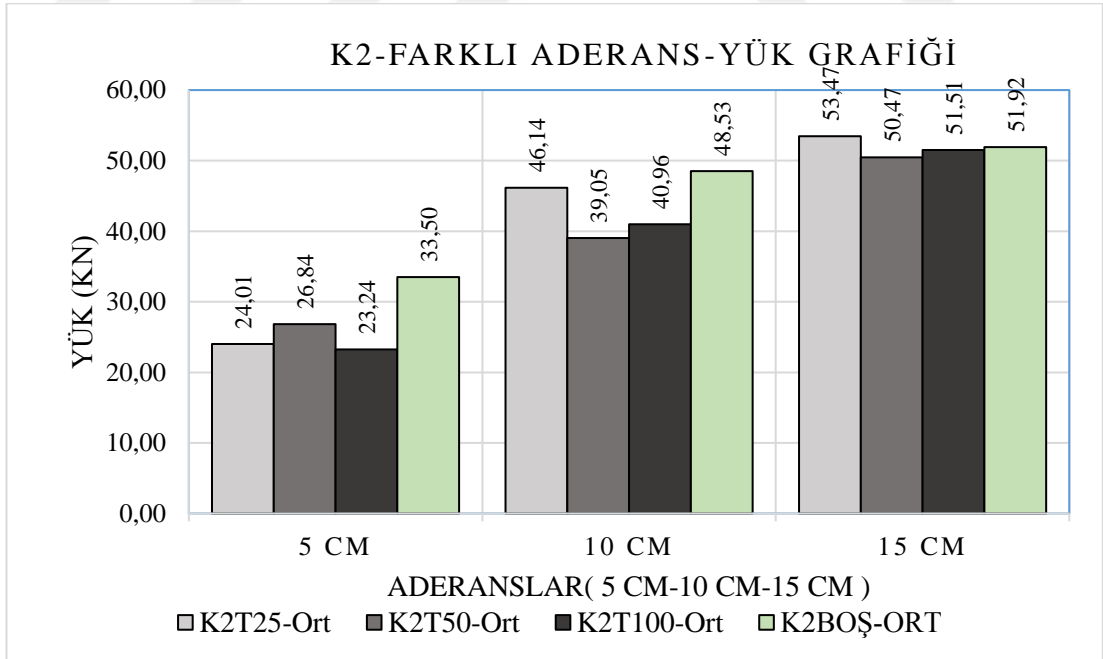
Çizelge 3.15. K2 beton karışımı, %0,25-0,5-1,0 ve lif olmayan oranında çelik lif katkıli betonunun aritmetik ortalama yük değerleri.

ADERANS BOYU (cm)	NUMUNE ARİTMETİK ORTALAMALARI	K2T25- Ort (Kn)	K2T50- Ort (Kn)	K2T100- Ort (Kn)	K2BOŞ- Ort (Kn)
5 CM	ORTALAMA	24,01	26,84	23,24	33,50
10 CM	ORTALAMA	46,14	39,05	40,96	48,53
15 CM	ORTALAMA	53,47	50,47	51,51	51,92

Aşağıdaki kümelenmiş sütun grafiklerinde K2 beton karışımında 5-10-15 cm'de % Boş-0,25-0,5-1,00 oranında çelik lif oranındaki numunelerin maksimum yüklerdeki davranışları aşağıda gösterilmiştir.(Şekil 3.26. ve Şekil 3.27.)



Şekil 3.26. K2 beton karışımı farklı lif oranlarındaki aderansların değişimine göre maksimum yük sütun grafikleri.



Şekil 3.27. K2 beton karışımı farklı aderanslardaki farklı lif oranlarının değişimine göre maksimum yük sütun grafikleri.

3.8.2. Basınç Dayanım Deney Sonuçları

Basınç dayanımı aşağıdaki formüller hesaplanmıştır:

$$f_c = \frac{P}{A_l}, f_c = \text{Beton deney numunesi basınç dayanımı (N/mm}^2\text{)} (\text{Eş 3.1.}) [72]$$

P= Kırılma yükü (N), A_l= Kesit alanı (mm²)

Basınç dayanımı deneyi, her grup için üç numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımı bu numunelerin ortalamaları alınarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.16. K1 ve K2 beton karışımları, küp basınç dayanımları

BETON KARIŞIMI	KÜP BASINÇ DAYANIMI			
	T25-ort (N/mm ²)	T50-ort (N/mm ²)	T100-ort (N/mm ²)	TBOŞ-ORT (N/mm ²)
K1	21,16	25,78	32,47	46,90
K2	28,94	32,93	38,82	45,74

Çizelge 3.17. K1 ve K2 beton karışımları, silindir basınç dayanımları

BETON KARIŞIMI	SİLİNDİR BASINÇ DAYANIMI			
	T25-ort (N/mm ²)	T50-ort (N/mm ²)	T100-ort (N/mm ²)	TBOŞ-ORT (N/mm ²)
K1	27,59	29,06	31,47	32,73
K2	38,07	33,37	37,18	40,17

Örnek olarak K1, %1,00 oranındaki çelik lifli beton ile K2 %1,00 oranındaki çelik lifli beton numunelerinin basınç dayanımları yukarıdaki formül(Eş.3.1.) ile Şekil 3.18.'de örneklendirilmiştir.

Bu işlem her numune için tekrarlanmıştır. Bütün numuneler için değerler Çizelge 3.16. ve Çizelge 3.17.'de ayrı ayrı gösterilmiştir. Örnek: $f_c = \frac{P}{A_t} = 880,500 / 225,00 = 39,133$ N/mm² (Eş 3.1.)

Çizelge 3.18. K1 ve K2 beton karışımları,%1,00 oranındaki liflerdeki küp basınç dayanımları

Beton Karışımı	Kırılma Yüğü (Kn)	Kesit Alanı (cm ²)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Ortalama Basınç Dayanımı (N/mm ²)
K2T100	880,500	225,00	39,133	38,81
	799,200	225,00	35,520	
	940,300	225,00	41,791	
K1T100	760,900	225,00	33,818	32,47
	701,800	225,00	31,191	
	728,910	225,00	32,396	

Numune Bilgileri :

Rapor No :
Rapor Tarihi : 19.02.2017

Yapı Sahibi : Mehmet ORHAN
İnşaat Adresi :
Ada / Pafta / Parsel :
Katkı :
Test Standardı :
Kull. Yer :
Referans 1 :
Referans 2 :
Beton Cinsi : C20
Hazır Beton :

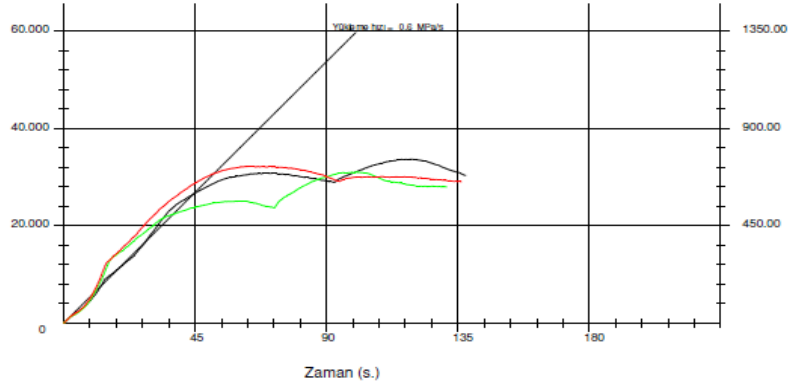
Nr.	Kesit Alanı cm ²	Hadim cm ²	Ağırlık gr.	Birim Ağırlık kg/dm ³	Numune Yaşı gün	Alınış Tarihi	Test Tarihi	Kırılma Yüklü kN	Basıncı Dayanım N/mm ²	Enine çekiş değ. °C	Boyuna çekiş değ.
1	225.000	0.000	8220.00	0.000		21.07.2016	19.02.2017	730.900	33.818	0,9	2,2200
2	225.000	0.000	7980.00	0.000		21.07.2016	19.02.2017	751.800	31.191	2,3	3,1400
3	225.000	0.000	7980.00	0.000		21.07.2016	19.02.2017	728.900	32.396	10,0	1,9100

Ortalama : 730.533 32.408

Deney Grafiği

Basıncı Dayanım (N/mm²)

Kırılma Yüklü (kN)



Numune Bilgileri :

Rapor No :
Rapor Tarihi : 19.02.2017

Yapı Sahibi :
İnşaat Adresi :
Ada / Pafta / Parsel :
Katkı :
Test Standardı :
Kull. Yer :
Referans 1 :
Referans 2 :
Beton Cinsi :
Hazır Beton :

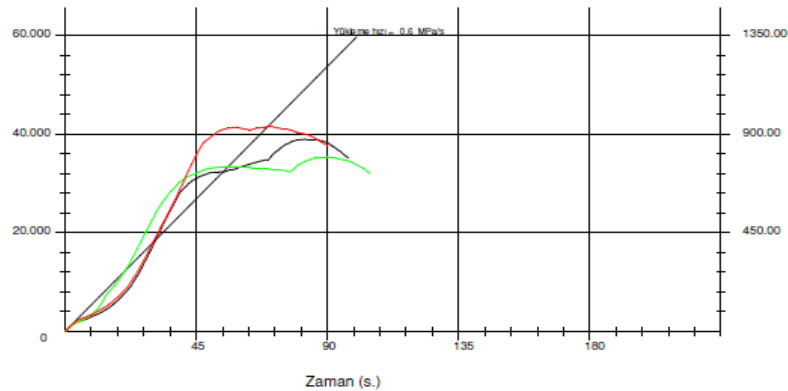
Nr.	Kesit Alanı cm ²	Hadim cm ²	Ağırlık gr.	Birim Ağırlık kg/dm ³	Numune Yaşı gün	Alınış Tarihi	Test Tarihi	Kırılma Yüklü kN	Basıncı Dayanım N/mm ²	Enine çekiş değ. °C	Boyuna çekiş değ.
1	225.000	0.000	7940.00	0.000		22.07.2016	19.02.2017	880.500	39.133	3,2	3,1300
2	225.000	0.000	8640.00	0.000		22.07.2016	19.02.2017	799.200	35.520	2,8	2,6600
3	225.000	0.000	7980.00	0.000		22.07.2016	19.02.2017	940.300	41.791	1,6	3,3000

Ortalama : 873.333 38.815

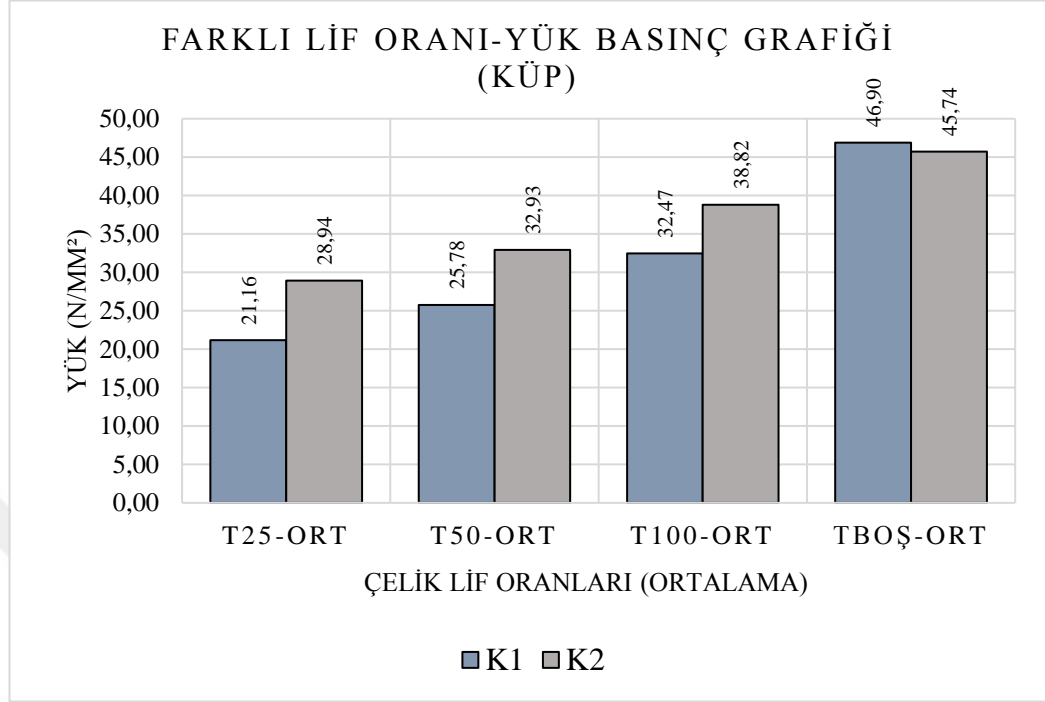
Deney Grafiği

Basıncı Dayanım (N/mm²)

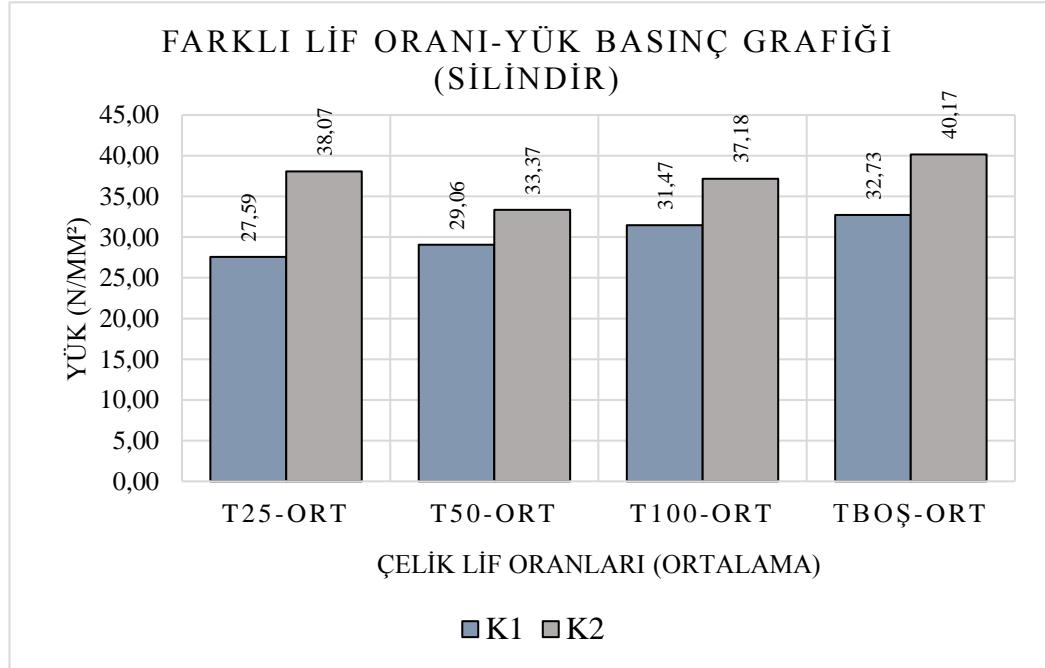
Kırılma Yüklü (kN)



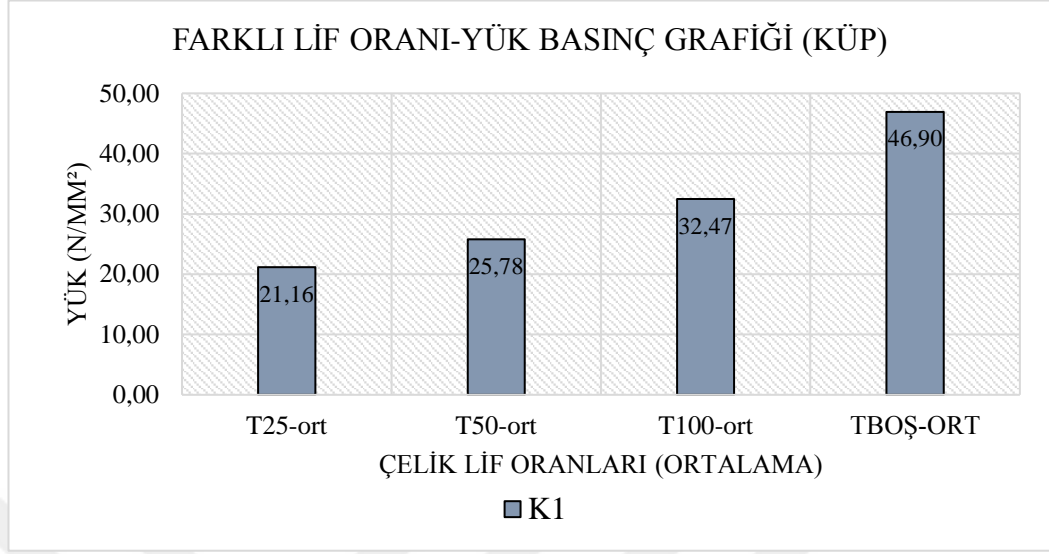
Şekil 3.28. %1,00 oranında çelik lifin K1 ve K2 betonlardaki basınç dayanımının zamana göre dağılım grafikleri.



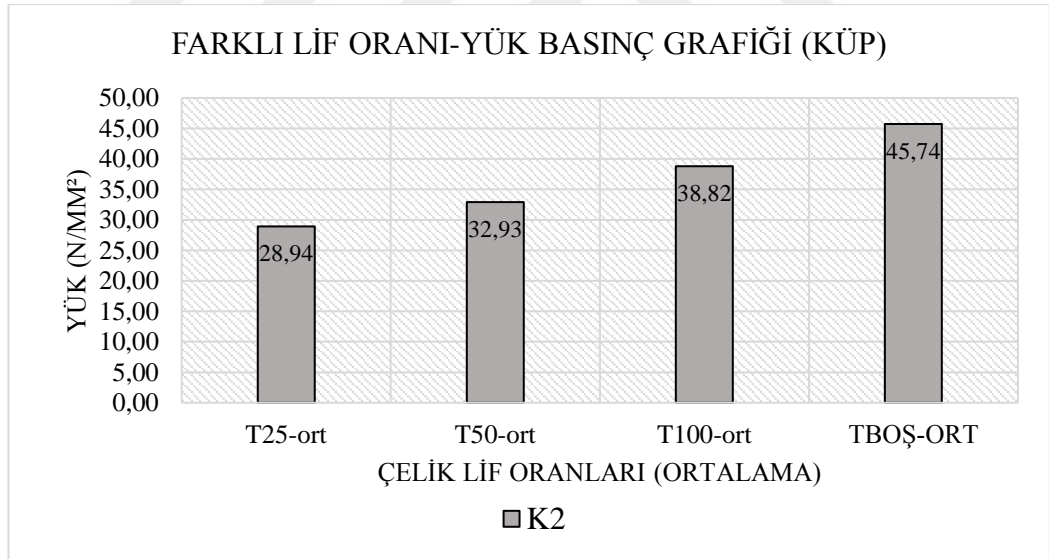
Şekil 3.29. K1 ve K2 beton karışımlarında, 28 günlük küp numunelerin farklı lif oranlarına göre yük sütun grafikleri.



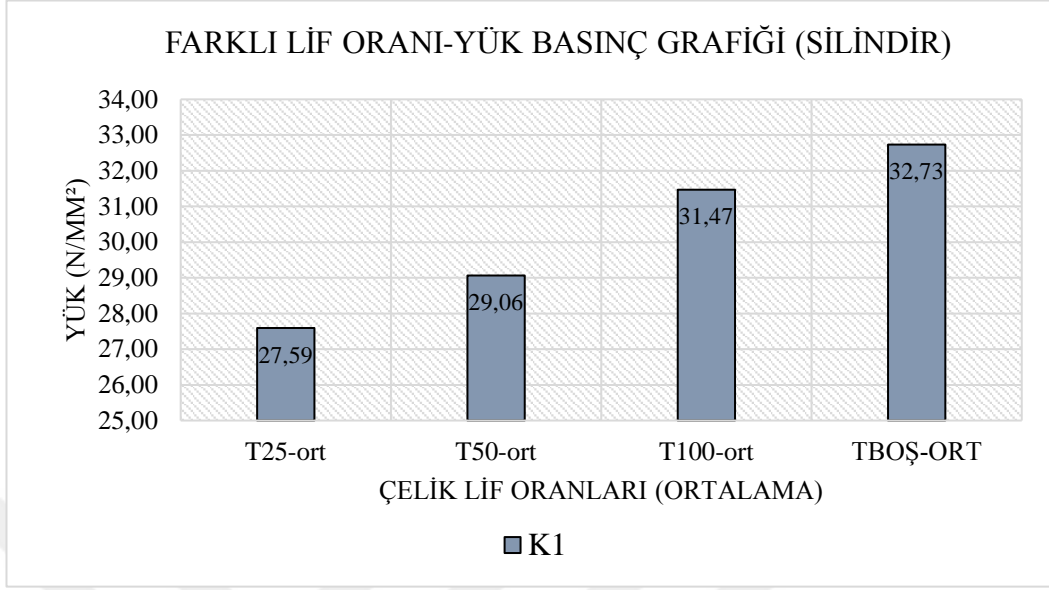
Şekil 3.30. K1 ve K2 beton karışımlarında, 28 günlük silindir numunelerin farklı lif oranlarına göre yük sütun grafikleri.



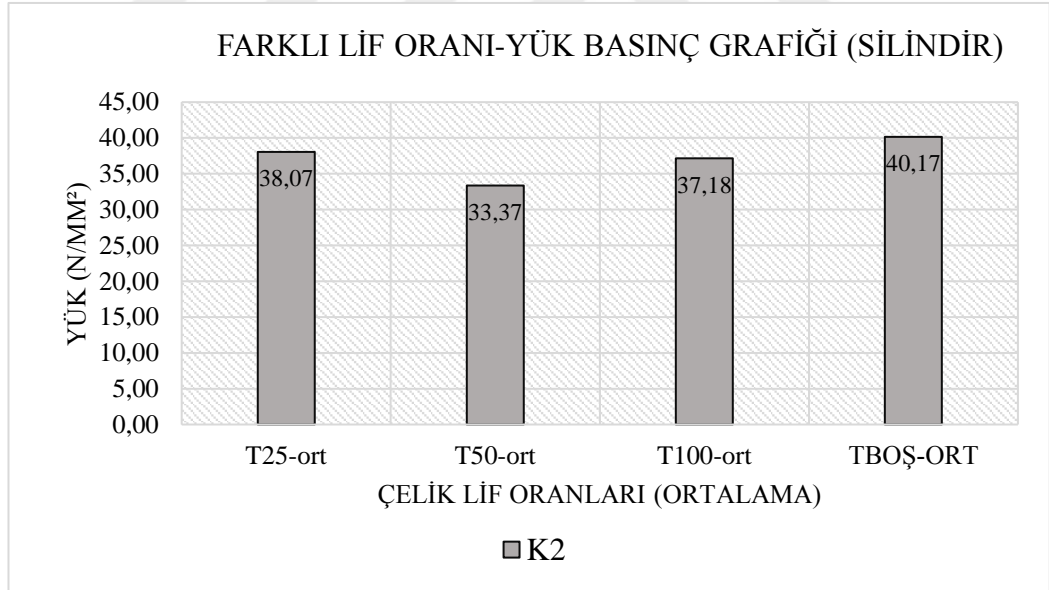
Şekil 3.31. K1 beton karışımında, 28 günlük küp numunelerin farklı lif oranlarına göre yük sütun grafikleri.



Şekil 3.32. K2 beton karışımında, 28 günlük küp numunelerin farklı lif oranlarına göre yük sütun grafikleri.



Şekil 3.33. K1 beton karışımında, 28 günlük silindir numunelerin farklı lif oranlarına göre yük sütun grafikleri.



Şekil 3.34. K2 beton karışımında, 28 günlük silindir numunelerin farklı lif oranlarına göre yük sütun grafikleri.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında yapılan deneysel incelemeler kapsamında aşağıdaki sonuçlar belirlenmiştir.

Betonarme davranışının ortaya çıkması için aderansın temel şart olduğu bilinmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar ile beton ve aderansın birbirine paralel olarak artış ya da düşüş gösterdiği görülmüştür.

Aderans etkisini belirlemek için yaptığımız çekip bırakma deneylerinde, 5cm, 10cm ve 15 cm aderansa sahip olan numunelerin K1 ve K2 beton karışımlarındaki durumları incelenmiştir. Bu beton karışımlarını farklı su/çimento oranında iki çeşit hazırlanmıştır. Ayrıca bu farklı aderans değerlerindeki numuneleri %0,00 oranında, %0,25 oranında, %0,50 oranında ve %1,00 oranında çelik lif donatı ekleyerek incelenmiştir. İncelemelerde her numune için yükün maksimum değere çıkıp düşüğe geçtiği yük değerleri, yani aderansın artık yetersiz olduğu andaki yük değerleri esas alınmıştır. Ayrıca kullanılan numunelerde donatının, aderansın bittiği andaki deplasmanlar da ölçülmüştür. Yapılan deneylerde her aderans için üçer adet numune olarak bunların aritmetik ortalama değerleri grafik ve tablolara işlenmiştir.

Grafikler ve ortalama değerler incelendiğinde K1 beton karışımında aderans, çelik lifli olan karışımlarda aynı lif oranında lineer olmasa da aderans mesafesinin artmasıyla oluşan kuvvetlerin arttığı gözlemlenmiştir. Ancak lif atılmayan numunelerin aynı aderans mesafesinde yaklaşık olarak daha iyi aderans sağladığı görülmüştür.

Dökülen numunelerin çekip çıkarma deneyi sonrası numunelerin nihai fiziksel görünümlerine bakıldığında farklı şekillerde sıyrılma ve betonun parçalandığı Şekil 3.22'de gözlemlenmiştir. Bu parçalanmış numunelerde daha rahat görüldüğü için donatı ile beton arasındaki atılan liflerin karışımının iyi yapılmasına rağmen aynı karışım ve özellikteki numunelerde farklılıklar göstermiştir. Çelik liflerin homojen bir şekilde dağılmadığı ve donatının denk geldiği yerdeki liflerin duruşuna göre değiştiği yorumu çıkarılmıştır. Betonların parçalanması durumu çoğunluk olarak aderansı 15 cm olan numunelerde görülmektedir.

Üretilen betonun özelliklerini iyileştirmek için ise lifler kullanılmaktadır. Çelik lifler, 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.

K1 beton karışımında, 15 cm aderans boyuna sahip ve farklı lif oranındaki donatıların yük taşıma kapasiteleri birbirine yakın olarak ortaya çıkmıştır.

K1 beton karışımındaki küp ve silindirik şeklindeki basınç numunelerinde, lifsiz betonun basınç dayanımının daha yüksek olduğu saptanmıştır. %1,00 oranındaki lifli numunelerden, %0,25 oranındaki lifli numunelere doğru oranın azalmasıyla birlikte basınç dayanımlarının düştüğü gözlenmiştir. Grafikler incelendiğinde ise kuvvetin maksimum seviyeye ulaşmasının ardından düşüşe geçtiğinde, tekrar numune uygulanan basınca karşı bir kararlılık gösterdiği görülmüştür. Bu durum maksimum kuvvet kadar yükselişe geçmese de tekrar bir tepe noktasına ulaştırıp yükü boşaltmıştır. Grafikte oluşan ikinci tepe noktasının çelik liflerin devreye girmesiyle meydana geldiği görülmüştür. Çünkü bu duruma lif kullanılmayan numunelerin grafiklerinde rastlanılmamıştır.

K2 beton karışımı 10 cm ve 15 cm aderanstaki numunelerde, %0,25 oranındaki lif oranının diğer oranlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. K1 beton karışımındaki çekme dayanımı lifsiz numunelerde farklı aderansta bile daha iyi çıkmasına rağmen K2 beton karışımındaki numuneler ise çekme dayanımı, farklı lif oranlarında yakın ama lifsiz numunelerin, lifli numunelere göre daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

Basınç yüklemeleri altında çelik lifin enerji yutma kapasitesindeki artış, statik yüklemeler altında ani ve patlama şeklindeki göçmenin önlenmesi ve dinamik yüklemeler altında ise enerjinin sönmülmesi açısından önemlidir. Çelik lifli betonların çekme gerilmeleri altındaki mekanik performansı, basınç gerilmeleri altındaki mekanik performansına göre daha düşüktür. Çelik lifin tipi, geometrisi, kullanım oranı (hacimce), liflerin beton içerisindeki yerleşimi, lifli betonun hazırlanma metotlarına göre değişiklik gösterebilmektedir.

Genel olarak hazırladığımız beton karışımlarında aderans boyunun uzaması aderansı olumlu yönde etkilemiştir. Çelik lif oranlarının %0,25 hacimsel orandan %1,00 hacimsel orana artması sonucunda ise basınç dayanımları artmıştır. Ancak çelik lif olmayan numunelerde basınç dayanımı daha yüksek çıkmıştır.

Karışımını yaptığımız çelik lifli betonlara bakıldığında çekme ve basınç dayanımından sonraki numunenin nihai görüntüsünde donatı çevresinde ve numunenin üst kısmındaki bölgelerde çatlamların çok az olduğu, yüzeysel gerilmelere karşı direncinin iyi olduğu gözlemlenmiştir. Çelik liflerin daha çok çatlak önlemede ve çatlak gelişiminde etkin oldukları gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda ise daha çok saha betonlarında, şev stabilitesinin sağlanmasında, beton-betonarme borular ve altyapı malzemeleri, fabrika depo ve hangar döşemelerinde, havaalanı kaplamalarında, liman kaplamalarında, yol döşemelerinde, püskürtme beton (shotcrete) uygulamalarında, ince kabuk yapılarda ve çok yüksek mukavemetli betonlarda kullanılmasının daha iyi sonuçlar sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Arazsu, U. (2012). Polipropilen Lifli Betonların Taze ve Sertleşmiş Beton Özellikleri. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 63s. , Elazığ.
- [2] Tanyıldızı, H. , Yazıcıoğlu, S. “Betonarme demiri ve beton arasındaki aderans dayanıma mineral katkıların etkisi” Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 18, 3, 351–357 (2006) .
- [3] Ersoy, U. , Özcebe, G. , “Betonarme: Temel ilkeler TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (1998) göre hesap”, Gözden Geçirilmiş II. Baskı, Evrim Yayınevi, İstanbul, 36, (2001)
- [4] Aka, İ. , Keskinel, F. , Çılı, F. , Çelik, O. , C. , “Betonarme” Birsen yayınevi. 2001.
- [5] Doğangün, A. , Betonarme yapıların hesap ve tasarımı” Birsen Yayınevi (2007).
- [6] Arda, T.S. , 1968. “Enine Donatının Aderansa Etkisi”, İ.T.Ü. , Doktora Tezi, İstanbul ve Arda, T.S. , 1968. “Betonarme Aderans Konusunda Bir Derleme”, İ.T.Ü. , İstanbul.
- [7] Arslan, A. ve Aydın, A. C. , “Lifli betonların darbe etkisi altındaki genel özellikleri”. Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu, 1-30. , Sabancı Center, İstanbul, 1999.
- [8] Yaprak H. , Beton Kaplamalı Kanallarda Malzeme Dayanıklılığını Artırma Olanakları. Doktora Tezi (Yayınlanmamış), Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 96 s, Ankara, 2002.
- [9] Topçu, İ. B. , 2006, “Beton Teknolojisi”, Uğur Ofset A.Ş. , Eskişehir.
- [10] Uğur Ersoy Bölüm 9/Sayfa 721.
- [11] Ersoy, U. , Özcebe, G. , “Betonarme: Temel ilkeler TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (1998) göre hesap”, Gözden Geçirilmiş II. Baskı, Evrim Yayınevi, İstanbul, 36, (2001).
- [12] Aka, İ. , Keskinel, F., Çılı, F., Çelik, O., C., “Betonarme” Birsen yayınevi. 2001.
- [13] Doğangün, A. , Betonarme yapıların hesap ve tasarımı” Birsen Yayınevi (2007).
- [14] Arslan, M.E. , “Eğilmede taşıyıcı hafif beton-donatı aderansının geleneksel beton-donatı aderansı ile karşılaştırmalı olarak incelenmesi” Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi (2007).
- [15] Benli, A. , “Kendiliğinden sıkışan betondaki donatı aderansının deneysel ve sayısal olarak incelenmesi” Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi (2007).
- [16] 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) .

- [17] Maehle, J.P. , Wallece, J.W. , Hwang, S.J. , 1991. “Anchorage Lengths for Straight Bars in Tension”, ACI Structural Journal, September, pp.531-536.
- [18] Jong-Pil Won, Chan-Gi Park, Hwang-Hee Kim, Sang-Woo Lee, Chang-II Jang,”Effect of fibers on the bonds between FRP reinforcing bars and high- strength concrete” Composites: Part B 39 747–755. (2008).
- [19] Yazıcı, Ş. , Arel, H. ,Ş. , “The effect of steel fiber on the bond between concrete and deformed steel bar in SFRCs” Construction and Building Materials, 40 299–305(2013).
- [20] Yılmaz, H. 2009, Düşük Dayanımlı Betonarme Elemanlarda Donatı Bindirme Boyunun Yatay Yükler Altındaki Davranışa Etkisi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen. Bilimler Enstitüsü, s.19.
- [21] Erten, K. M., 2009. Katkılı Betonların Aderans Dayanımının İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, s.14, Isparta.
- [22] Duran, A. 2008. Betonarme Donatısında Aderans ve Yorulma Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Kırıkkale, Haziran, , s. 3.
- [23] Topçu, B. Boğa, A.R. 2008, Betonarmede Donatı ve Beton Arasındaki Aderansa Korozyon Etkisi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendisliği. Mimarlık Fakültesi. *Dergisi*, C.XX1,S.1, s.2.
- [24] Durmuş, A. ,Dahil, H. , Arslan, M.E. 2006. Yüksek Başarımlı Beton-Donatı Aderansının Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı: 441-1, s.1-2.
- [25] Tanyıldızı, H. Yazıcıoğlu, S. 2006, Betonarme Demir ve Beton Arasındaki Aderans Dayanımına Kür Koşulların Etkisi, Fırac Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitim Bölümü-Elazığ, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, s.11-13.
- [26] Şener, H, D, 2006, Aderans Eki Deneyinde Göçme Biçimleri ve Çatlak Dağılımları. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara, s. 3.
- [27] Konca, C, 2006. Çimento Cinsi, Donatı Çapı ve Tipinin Beton-Donatı Aderansına Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, s. 62.
- [28] Jendele, L. and Cervenka, J. , 2006. “Finite element modelling of reinforcement with bond.” *Computes and Structures*, 84 (28), p: 1780-1791.
- [29] Yücel, K.T. , Özel, C. , Gülmez, S. , Kuşçu, A., Uygunoğlu, Tayfun., 2006. Normal ve Fiber Takviyeli Betonlarda Donatı-Beton Aderans Dayanımının Belirlenmesi ve Bulanık Mantıkla Modellenmesi, İÇTAG A040 (104I040) sayılı TÜBİTAK hızlı destek projesi, 55s., Ankara.
- [30] Haddad R.H, Numayr K.S. , 2007 Effect of alkali-silica reation and freezing and thawing action on concrete- steel bond’ construction and Building Materials.

- [31] Campione C. , Cucchiara C. , Mendola L.L. , Papia M. , “Steel–concrete bond in lightweight fiber reinforced concrete under monotonic and cyclic actions”, *Engineering Structures* 27 (2005) 881–890.
- [32] Gallego, A, 2004 “Comprassion between concrete-black steel and concrete-galvanized steel bond via the pull-out test supplied with acoustic emission.” DGZfP-*Proceedings BB 90-CD Poster 3 EWGAE*.
- [33] Ichinose, T. , Kanayama, Y., Inoue, Y. and Bolander Jr. J.E. 2004. “Size effect on bond strength of deformed bars.” *Construction and Building Materials*, 18, p: 549-558.
- [34] Lee, H , Noguchi, T. and Tomosawa, F. 2002. “Evaluation of the bond properties between concrete and reinforcement as a function of the degree of reinforcement corrosion.” *Cement and Concrete Research*, 32, p: 1313-1318.
- [35] Yerlici ve. Özturan, T. (2002). Yüksek Dayanımlı Beton Elemanlarda Aderans Dayanımı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, 13, Sayı 1.
- [36] Türk K. 2002, “Bileşik Eğilmeye Maruz Betonarme Elemanlarda Donatı Aderansının Beton Özelliklerine Bağlı Olarak İncelenmesi” Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü., İnşaat Müh. Anabilim Dalı., Elazığ.
- [37] Çınar, B. , Karapınar. 2000. volkanik agregasından imal edilen hafif betonların aderans davranışı üzerine deneysel bir inceleme. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [38] Karaduman, M. C. 1998. “An investigation on anchorage bond properties of reinforcement in high strength concrete.” Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [39] Ünal, Y. 1998. Aderansın betonun agrega tane çapı ve dayanımına bağlı olarak değişimi üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [40] Gaborova, P.G. , Rosati, G. , P. 1997 ‘Bond and Splitting in Bar Pull-Out, Behavioural laws and concrete cover role *Magazine of Concrete Research*, Milan, s. 17.
- [41] Baradan S. , 1997. Çimento tipinin donatı-beton aderansına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü.
- [42] Larrard, F. , Schaller, I. and Fuchs, J. 1993. “Effect of bar diameter on the bond strength of passive reinforcement in high-performance concrete.” *ACI Materials Journal*, 90 (4), p: 333-339.
- [43] Naaman, A, E. , and Husamuddin, N. 1991. Bond-Slip Mechanism of Steel Fibers in Concrete, *ACI Materials Journal*, 88-m 17, 135-145 pp.
- [44] Gopalaratnam, V. S. , Abu-Mathkour, H. J. 1987 Investigation of Pull- Out Characteristics of Steel Fibers from Mortar Matrices, *Proceedings*, 64 International Symposium on Fiber Reinforced Concrete, 2. 201-2. 211.

- [45] Mirza, S. M. and Houde, J. 1979. "Study of bond stress-slip relationships in reinforced concrete", ACI Journal, 76, No 1, 19-46.
- [46] İsmail, M. A. F. , Jirsa, J. O. 1972. 'Bond Deterioration in Reinforced Concrete Subjected to Low Cycle Loading', Journal of ACI, Proc. V. 69, June.
- [47] Takeda, T. Sozen, M. A. And Nielsen, N. N. , 1970. 'Reinforced Concrete Response to Simulated Earthquakes', Proceedings, ASCE, V. 96, ST12, Dec.
- [48] Robins, P. J. and Calderwood, R. W. , 1978, "Explosive Testing of Fiber Reinforced Concrete", Concrete, 26-28.
- [49] Suaris, W. and Shah, S. P. , 1982, "Strain Rate Effects in Fiber Reinforced Concrete Subjected to Impact and Impulsive Loading", Composites, 153-159.
- [50] Kozak, M. , 2010, "Beton Travers Üretiminde Agregası Türü (Bazalt-Kalker) ve Çelik Lifin Kullanılabilirliğinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- [51] Taşdemir, M.A. ve Bayramov F. , (2002). Yüksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı, İTÜ dergisi/d, Cilt 1, Sayı 2.
- [52] Ekinciöglü, Ö. , (2003). Karma lif içeren çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı bir optimum tasarım, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [53] Hughes, B.P. , Fattuhi, N.H. , (1997). Stress Strain Curves for Fibre Reinforced Concrete in Compression. Cement and Concrete Research. Vol 7. pp 173-184.
- [54] Yıldırım, S. T. , (2002), "Lif Takviyeli Betonların Performans Özelliklerinin Araştırması", Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Elazığ.
- [55] Ünal, 1994. Ünal, O. , (1994), Isıl İşlem Uygulamasının Lifli Beton Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 130s.
- [56] Özyurt, N. , 2000, Ultra Yüksek Dayanımlı Çimento Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aslan, A. ve Aydın, A. C. , 1999, Lifli Betonların Darbe Etkisi Altındaki Genel Özellikleri, Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu, İstanbul, 1-30s.
- Morgan, D. R. , 1992, Steel Fiber Reinforced Shotcrete For Support of Underground Openings in Canada, ACI Compilation 27, American Concrete Institute, 20–28pp.
- [57] Özyurt, N. , 2000, Ultra Yüksek Dayanımlı Çimento Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [58] Balaguru, P. N. and Shah, S. P. , 1992, Fiber Reinforced Cement Composites, McGraw-Hill, Inc, Singapore, 365-412pp.
- [59] Wafa, F. F. and Ashour, S. S. , 1992, Mechanical Properties of High-Strength Fiber Reinforced Concrete, ACI Materials Journal, 89, 449–455s.

[60] Sahmaran, M. , Yurtseven, A. , Yaman, I.O. , Workability of Hybrid Fiber Reinforced Self-Compacting Concrete, Building and Environment, 40, 1672- 1677.

[61] K rođlu, M.A. Mechanical Characterization of Recycled Tires in Concrete. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2016, 4.4: 330-336.

[62] K rođlu, M.A. ;  zd ner, N. Behavioural Study of Steel Fiber and Polypropylene Fibre Reinforced Concrete. In: Key Engineering Materials. Trans Tech Publications, 2016. p. 59-63.

[63] K rođlu, M.A. Mechanical Characterization of Recycled Polypropylene and Copolymer Macro Fibers in Concrete. Scientific Proceedings XIV International Congress "Machines. Technologies. Materials." 2017 - Winter Session, p. 196-197.

[64] Url-1 <http://e-egitim.teknolojikarastirmalar.com/yapimalzemesi/beton/6>. HTML.

Son Eriřim Tarihi:27.01.2018.

<https://polen.itu.edu.tr/bitstream/11527/6698/1/14094.pdf>

Son Eriřim Tarihi: 27.01.2018.

[65] Fırat, M.T. , (1996). Silis dumanı içeren yüksek mukavemetli betonların enerji tutma kapasitelerinin arttırılmasında  elik lif kullanımının etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

[66] Hannant, D.J. , (2003). Advanced Concrete technology, Elsevier Ltd.

Biber, S.A. , (2001). Karmaşık  elik Tel Takviyeli Betonların Mekanik Davranışı, Bitirme  devi, İ.T. . İnaaat Fakültesi, İstanbul.

<https://polen.itu.edu.tr/bitstream/11527/6698/1/14094.pdf>

Son Eriřim Tarihi: 27.01.2018.

[67] Őimřek O. 2004. Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yay. San. Ve Tic. A.Ő, Ankara, 242s.

[68] TS 10513, 1992.  elik teller-beton takviyesinde kullanılan, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[69] Bayasi, Z. and Soroushian P. , 1991, "Fiber Type Effects on the Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete", ACI Materials Journal, Volume 88, Pages 129-134.

[70] Topçu, İ. B. , 2006, "Beton Teknolojisi", Uğur Ofset A.Ő. , Eskişehir.

[71] TS EN 12350-2 Beton – Taze Beton Deneyleri – Bölüm 2:  okme (Slamp) Deneyi.

[72] TS EN 12390-3 Türk Standardı Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini.

ÖZGEÇMİŞ

İletişim Bilgileri

Adı Soyadı Mehmet ORHAN
Adres Dede Korkut Mahallesi, Cennet Pınarı Sokak, Divan Sitesi
No:22A/3 Meram/KONYA
E-mail mforhan@gmail.com
Telefon (+90 506 829 26 46)

Kişisel Bilgiler

Doğum Tarihi 29.03.1990
Uyruğu Türk
Cinsiyeti Erkek
Medeni Durum Evli

İş Deneyimi

- 2010- Konya Karatay Akabe Siteleri (Şantiye Stajı). 1140 konut inşaatı
- 2011- Konya Komyapı Adalet Plaza (Şantiye Stajı). İş Merkezi
- 2012- Konya Selçuk Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı, (Büro Stajı). Statik bina inşaat projesi.
- 2013-2014 İstanbul Toki ve İştirakleri Hizmet Binaları ile Altyapı ve Çevre Düzenlemesi İnşaatı. Proje Kontrolü ve Uygulama Mühendisi. (Kazova İnşaat Sanayi Ticaret ve Turizm A.Ş.)
- 2014-Devam Etmekte Konya Kooperatif ve Konut İnşaatlarında Şantiye Şefi (Baktemur İnşaat)

Eğitim

- 2008 - Karatay Süleyman Demirel Milli Piyango Anadolu Lisesi
- 2013 - Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
- 2015 - Devam Etmekte KTO Karatay Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Tezli Yüksek Lisans