

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÇELİK TÜP İÇİNE LİF KATKILI BETON DOLDURULMUŞ KISA
KOMPOZİT KOLONLARIN DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Muhammet AYDIN
DANIŞMAN: Doç. Dr. Soner GÜLER

VAN-2019

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÇELİK TÜP İÇİNE LİF KATKILI BETON DOLDURULMUŞ KISA
KOMPOZİT KOLONLARIN DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Muhammet AYDIN

Bu çalışma YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından FYL-2018-6865
No'lu proje olarak desteklenmiştir

VAN-2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Soner GÜLER danışmanlığında, Muhammet AYDIN tarafından sunulan “**Çelik Tüp İçine Lif Katkılı Beton Doldurulmuş Kısa Kompozit Kolonların Davranışlarının İncelenmesi**” isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince/...../2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile başarılı bulunmuş ve yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan:Doç Dr. Soner GÜLER

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Barış ERDİL

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Abdulrezzak BAKIŞ

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/..../..... tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

.....
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Muhammet AYDIN

ÖZET

ÇELİK TÜP İÇİNE LİF KATKILI BETON DOLDURULMUŞ KISA KOMPOZİT KOLONLARIN DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

AYDIN, Muhammet
Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Soner GÜLER
Nisan 2019, 66 sayfa

Bu tez çalışmasında, kare en kesitli aynı uzunluk/çap oranına sahip içi boş, içi sade veya lif katkılı beton dolu kısa kompozit kolonların aksenal yük, süneklik ve tokluk kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Bu amaçla karbon çelik (CS), paslanmaz çelik (SS) ve alüminyum (AL) türlerinde 99 adet kolon hazırlanmıştır. Kolon en/boy/yüksekliği 100 mm/100 mm/ 250 mm, et kalınlıkları 2 mm, 3 mm ve 4 mm olarak seçilmiştir. Kolonlara basınç dayanımı 30 MPa ve 70 MPa olan sade ve hacimce %0.5 ve %1.5 oranında lif katkılı betonlar doldurulmuştur. Lif katkısı olarak çelik ve sentetik lifler seçilmiştir. Çelik lifler tekli olarak veya çelik ve sentetik lifler karma (hibrit lif) olarak kullanılmıştır. Tüm kolonlar aksenal yük altında test edilmiştir. Deneyleerde elde edilen sonuçlarla çeşitli karşılaştırmalar yapılarak kolonların burkulma modları, süneklik, aksenal yük taşıma ve tokluk kapasiteleri gibi davranışları incelenmiştir. Ayrıca kolonların aksenal yük altındaki davranışlarını daha iyi açıklamak amacıyla tanımlanan beton katkı oranı (CCR), süneklik indisi (DI) ve dayanım artış indisi (SI) gibi parametreler anlatılmıştır. Sonuç olarak, tüm içi boş AL, CS ve SS kolonlara beton doldurulmasının, yerel burkulmaları engellediği, süneklik, aksenal yük taşıma ve tokluk kapasitelerinde önemli oranda artış sağladığı görülmüştür. Beton karışımlarına liflerin ilave edilmesi ise kolonların aksenal yük taşıma kapasitelerine etkisinin sınırlı olduğu ancak CS ve SS kolonlarının süneklik ve tepe yükü sonrasındaki tokluk kapasitelerinde önemli oranda artışlara neden olduğu görülmüştür. Buna ek olarak, hibrit lifli kolonlar çelik lifli kolonlardan daha yüksek süneklik ve tokluk kapasitesine sahip oldukları görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Hibrit lifler, Kompozit kolon, Lif katkılı beton, Süneklik, Tokluk kapasitesi.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF BEHAVIOR OF FIBER ADDED CONCRETE FILLED SHORT STEEL COMPOSITE COLUMNS

AYDIN, Muhammet
M.Sc. Thesis, Civil Engineering
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Soner GULER
April 2019, 66 pages

In this thesis, the behavior of carbon steel (CS), stainless steel (SS) and aluminum (AL) short composite columns formed by filling, plain and / or fiber reinforced concrete having the same length / diameter ratio with square cross-section were investigated. For this purpose, columns with 2 mm, 3 mm, 4 mm wall thickness, 250 mm length and 100 mm x 100 mm square cross sections were prepared. The columns are filled with plain and fiber reinforced concrete with a compressive strength of 30 and 70 MPa. The two ends hooked steel fiber and polyamide (Nylon) synthetic fibers were selected as fiber packages. As a fiber additive, single steel and hybrid (steel + synthetic) fibers were selected. The fibers were added to the concrete in 0.5% and 1.5% by volume. All prepared column samples were tested under axial load. Various comparisons were made with the results obtained in the experiments and the behaviors of columns such as buckling modes, ductility, axial load bearing and toughness capacity were investigated. In addition, parameters such as concrete admixture rate (CCR), ductility index (DI) and strength increase index (SI) are defined to better explain the behavior of the columns under axial load. As a result, it is seen that filling the columns with concrete the local buckling of all columns are limited and provides a significant increase in the ductility, axial load bearing and toughness capacities. The use of the fibers did not significantly change the axial load-bearing capacities of the columns, but the CS and SS columns caused significant increases in the energy absorption capacity after ductility and peak load.

Keywords: Hybrid fibers, Composite columns, Fiber reinforced concrete, Ductility, Toughness capacity.



ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Soner Güler'e teşekkür ederim. Ayrıca İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine, çalışmalarımnda her türlü desteği sağlayan çok değerli eşime ve eğitim-öğretim hayatım boyunca attığım her adımda yanımda yer alan pek kıymetli anne ve babama teşekkürlerimi sunarım.

2019

Muhammet AYDIN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Alanı ve Kapsamı	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
3.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzeme ve Özellikleri.....	11
3.1.1. Çelik ve alüminyum kolonlar	11
3.1.2. Agregası.....	12
3.1.3. Çimento.....	13
3.1.4. Su	13
3.1.5. Çelik ve sentetik lifler	13
3.1.6. Akışkanlaştırıcı katkı	14
3.1.7. Uçucu kül	14
3.2. Beton Karışımlarının Üretimi ve Kolonlara Yerleştirilmesi	15
3.3. Kolon Numunelerinin İsimlendirilmesi.....	17
3.4. Deney Düzenegi Kurulumu ve Deneysel Çalışma	18
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	21
4.1. Kolonların Burkulma Modları	21
4.2. Deney Sonuçlarının Grafikselsel Gösterimi ve Karşılaştırılması	24
4.2.1. Boş kolonlara ait bulgular	29
4.2.2. 30 MPa basınç dayanımında beton doldurulmuş kolonlara ait bulgular ..	30
4.2.3. 70 MPa basınç dayanımında beton doldurulmuş kolonlara ait bulgular..	32

	Sayfa
4.3. Performans İndisleri	38
4.3.1. CCR indisi.....	39
4.3.2. SI indisi	44
4.3.3. DI indisi.....	48
4.4. Tokluk Kapasitesi	50
5. SONUÇLAR	63
KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	67



ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Hazırlanan kolonların çeşitleri ve sayıları	11
Çizelge 3.2. AL, CS, SS malzemelerin mekanik özellikleri	12
Çizelge 3.3. Çimentonun kimyasal özellikleri (Van Aşkale Çimento Fabrikası)	13
Çizelge 3.4. Çimentonun fiziksel özellikleri (Van Aşkale Çimento Fabrikası)	13
Çizelge 3.5. Beton karışımlarında kullanılan liflerin mekanik ve geometrik özellikleri	14
Çizelge 3.6. Uçucu kül kimyasal özellikleri (Güler ve ark., 2005).....	15
Çizelge 3.7. 30 MPa basınç dayanımındaki beton karışım oranları	16
Çizelge 3.8. 70 MPa basınç dayanımındaki beton karışım oranları	16
Çizelge 4.1. AL kolonlarının deney sonuçları.....	41
Çizelge 4.2. CS kolonlarının deney sonuçları	42
Çizelge 4.3. SS kolonlarının deney sonuçları.....	43
Çizelge 4.4. AL kolonlarının SI değerleri	44
Çizelge 4.5. CS kolonlarının SI değerleri	45
Çizelge 4.6. SS kolonlarının SI değerleri.....	46
Çizelge 4.7. AL kolonlara ait tokluk ve tokluk indisi değerleri	51
Çizelge 4.8 CS kolonlara ait tokluk ve tokluk indisi değerleri.....	52
Çizelge 4.9. SS kolonlara ait tokluk ve tokluk indisi değerleri	53

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Kompozit kolon şematik gösterimi a. daire en kesitli kolon b. kare en kesitli kolon	1
Şekil 1.2. Avustralya’da bulunan Perth Tower (Anonim)	2
Şekil 1.3. Çin’de bulunan 1181 metre uzunluğundaki Ganhaizi Köprüsü (Anonim).....	4
Şekil 1.4. Dairesel kompozit kolon görünümü (Liew, 2004).....	5
Şekil 3.1. Boş kolon numunelerin deney öncesi görünüşleri a. AL, b.CS, c. SS...12	
Şekil 3.2. Çelik ve sentetik liflerin görünümü a. PA12 lif, b. PA54 lif, c. Çelik lif.....	14
Şekil 3.3. Pan mikserde hazırlanan beton karışımı görünümü	15
Şekil 3.4. Beton karışımının alüminyum tüplere yerleştirilmesi.....	17
Şekil 3.5. Test düzeneğinin şematik görünümü.....	18
Şekil 4.1. Boş kolonların deney sonrası burkulma modları a. AL kolonlar, b. CS kolonlar, c. SS kolonlar	22
Şekil 4.2. Kompozit kolonların deney sonrası burkulma modları a. AL kolonlar b. CS kolonlar, c. SS kolonlar.	23
Şekil 4.3. AL, CS, SS kolonlarına ait tipik eksenel yük- eksenel kısalma grafikleri a. Boş kolonlar, b. Kompozit kolonlar.....	24
Şekil 4.4. AL-C30 kolonlarına ait eksenel yük- eksenel kısalma grafikleri a. 2 mm kolonlar, b. 3 mm kolonlar.	25
Şekil 4.5. AL-C30-4MM kolonlarına ait eksenel yük- eksenel kısalma grafiği	26
Şekil 4.6. CS-C30-2MM kolonlarına ait eksenel yük- eksenel kısalma grafiği.....	26
Şekil 4.7. CS-C30 kolonlarına ait eksenel yük- eksenel kısalma grafikleri a. 3 mm kolonlar, b. 4 mm kolonlar	27
Şekil 4.8. SS-C30 kolonlarına ait eksenel yük- eksenel kısalma grafikleri a. 2 mm kolonlar, b. 3 mm kolonlar	28

Şekil	Sayfa
Şekil 4.9. SS-C30-4MM kolonlarına ait aksenal yük- aksenal kısalma grafiği	29
Şekil 4.10. AL-C70-2MM kolonlarına ait aksenal yük- aksenal kısalma grafiği....	32
Şekil 4.11. AL-C70 kolonlarına ait aksenal yük- aksenal kısalma grafikleri a. 3 mm kolonlar, b. 4 mm kolonlar	33
Şekil 4.12. CS-C70 kolonlarına ait aksenal yük- aksenal kısalma grafikleri a. 2 mm kolonlar, b. 3 mm kolonlar	34
Şekil 4.13. CS-C70-4MM kolonlarına ait aksenal yük- aksenal kısalma grafiği	35
Şekil 4.14. SS-C70-2MM kolonlarına ait aksenal yük- aksenal kısalma grafiği	35
Şekil 4.15. SS-C70 kolonlarına ait aksenal yük- aksenal kısalma grafikleri a. 3 mm kolonlar, b. 4 mm kolonlar	36
Şekil 4.16. AL, CS, SS kolonlarına ait CCR indisi a. C30 doldurulmuş kolonlar, b.C70 doldurulmuş kolonlar	40
Şekil 4.17. AL, CS, SS kolonlarına ait DI indisi a. C30 doldurulmuş kolonlar, b.C70 doldurulmuş kolonlar	49
Şekil 4.18. Tokluk kapasitesi için tipik aksenal yük-aksenal kısalma eğrisi	50
Şekil 4.19. AL- C30 kolonları için TI değerleri a. (TI)pre, b. (TI)post	55
Şekil 4.20. CS- C30 kolonları için TI değerleri a. (TI)pre, b. (TI)post.....	56
Şekil 4.21. SS- C30 kolonları için TI değerleri a. (TI)pre, b. (TI)post	57
Şekil 4.22. AL- C70 kolonları için TI değerleri a. (TI)pre, b. (TI)post	58
Şekil 4.23. CS- C70 kolonları için TI değerleri a. (TI)pre, b. (TI)post.....	59
Şekil 4.24. SS- C70 kolonları için TI değerleri a. (TI)pre, b. (TI)post	60

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A_c	Beton en kesit alanı
A_s	Çelik tüp en kesit alanı
f_y	Çelik tüp akma dayanımı
E_{st}	Çelik tüp elastisite modülü
E_c	Beton elastisite modülü
P_{max}	Kısa kolonların aksenal yük taşıma kapasitesi
L	Kolon uzunluğu
D	Kolon çapı
H	Kolon eni
B	Kolon boyu
t	Kolon et kalınlığı
D/t	Kolon çap/et kalınlığı oranı
μ	Eksenel şekil değiştirme sünekliği
δ_y	Akma aksenal kısalma miktarı
δ_u	Göçme aksenal kısalma miktarı

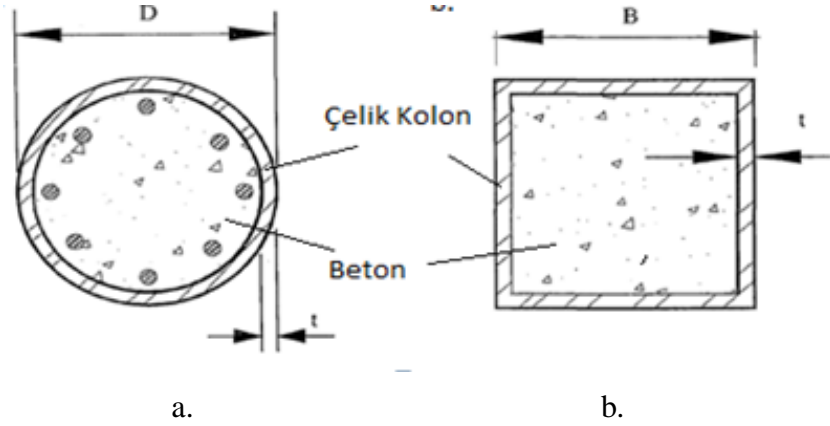
Kısaltmalar	Açıklama
Y.Y.Ü.	Yüzüncü Yıl Üniversitesi
S/Ç	Su/Çimento oranı
L/H	Uzunluk/en
H/t	En/et kalınlığı
PA12	12 mm uzunluğunda Poliamid lif
PA54	54 mm uzunluğunda Poliamid lif

AL	Alüminyum
CS	Karbon çelik
SS	Paslanmaz çelik
CCR	Beton katkı indeksi
SI	Dayanım artış indisi
DI	Süneklik indisi
Tpre	Tepe yükü öncesi tokluk
Tpost	Tepe yükü sonrası tokluk
TIpri	Tepe yükü öncesi tokluk indisi
TIpost	Tepe yükü sonrası tokluk indisi
YDB	Yüksek dayanımlı beton
NDB	Normal dayanımlı beton
BS	İngiliz Standartları
EC	Avrupa Standartları
AISC-LRFD	Amerikan Çelik ve Beton Enstitüsü-Taşıma gücü yöntemine göre tasarım

1. GİRİŞ

1.1. Tezin Alanı ve Kapsamı

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte inşaat sektöründe de yapılarda kullanılan malzemeler ve yapı elemanları da gelişmektedir. Geçmişte taş veya ahşap kullanılarak oluşturulan binalar 19. yüzyıldan itibaren betonarme veya çelik malzeme ile oluşturulan yapı sistemleri ile inşa edilmeye başlanmıştır. Ancak betonarme ve çelik sistemlerin çeşitli dezavantajlarının olması araştırmacıları yeni bir sistem bulmaya itmiştir. Böylece beton ve çelik profillerin birlikte kullanılmasıyla oluşturulan kompozit yapı sistemleri keşfedilmiş ve çeşitli mühendislik yapılarında kullanılmaya başlanmıştır (Sevim ve Altunışık, 2016). İnşaat uygulamalarında beton ve çelik profilin beraber kullanılmasıyla oluşturulan kolon, kiriş ve döşeme benzeri yapı elemanları kompozit yapı elemanlarına örnek olarak gösterilebilir. Bu çalışmamızda içine beton doldurularak oluşturulan çelik ve alüminyum kompozit kolonlarla ilgili genel bilgiler ve eksenel yük altındaki davranışlarına etki eden parametreler anlatılmaktadır. Kompozit kolon şematik olarak gösterilmiştir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Kompozit kolon şematik gösterimi a. Daire en kesitli kolon b. Kare en kesitli kolon.

Çelik kolon içine beton doldurularak oluşturulan kompozit kolonlar Amerika Birleşik Devletleri, Almanya, Avustralya, Çin ve Japonya, gibi ülkelerde; köprü ayakları, yüksek katlı binalar, petrol çıkarma platformları vb. çeşitli mühendislik

yapılarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Shanmugam ve Lakshmi, 2001; Richard ve ark., 2012; Lavonia ve ark., 2017). Avustralya'da Casselden Palace, Perth Tower; Amerika'da Two Union Square, AT&T Gateway Tower; Almanya Frankfurt'ta Commerzbank; Çin'de 121 metre açıklıktaki Liantou ve Ganhaizi köprüleri gibi yapılar kompozit kolon kullanılarak inşa edilen yapılara örnek olarak gösterilebilir (Uy ve ark., 1996; Wise ve ark., 1996; Ho, 2007; Güler, 2014). Kompozit kolon kullanılarak inşa edilen binalara ait resimler Şekil 1.2, Şekil 1.2, Şekil 1.4'te verilmiştir.



Şekil 1.2. Avustralya'da bulunan Perth Tower (Anonim).

Kompozit yapı elemanlarının kullanılmasındaki ana fikir beton ve çeliğin beraber kullanılarak her iki malzemenin birbirlerine göre avantajlı yönlerinden karşılıklı fayda sağlanması ve dezavantajlı yönlerini sınırlamasıdır (Kim, 2005). Beton kolay şekil verilebilir olması, hammaddelerinin doğada ucuz ve kolay bulunması gibi avantajlarının yanı sıra özgül ağırlığının yüksek olması ve eksenel yük altında yanıl deformasyonlardan dolayı basınç dayanımının düşmesi gibi dezavantajları vardır. Çelik ise betona göre yüksek elastisite modülüne ve akma dayanımına sahiptir. Ancak çeliğin hammaddesinin pahalı olması, eksenel yük altında burkularak dayanımını kaybetmesi ve işçilik maliyetlerinin yüksek olması gibi dezavantajları vardır. Kompozit yapı sistemlerinde çeliğin betonu dıştan sargılayarak betonun yanıl deformasyonlarını sınırladığı, betonun dayanımını ve sünekliğini arttırdığı görülmüştür (Susantha ve ark., 2001). Geleneksel çelik yapı sistemlerine göre kompozit sistemlerde çelik tüpe

yerleştirilen beton sayesinde çelikte oluşan içe doğru olan yerel burkulmaların önlendiği ve böylece daha yüksek dayanım elde edildiği görülmüştür. Ayrıca betona göre daha yüksek elastisite modülüne sahip çelik malzemenin kolon çekirdeğinin en uzağına yerleştirilmesi ile eğilme rijitliği artmaktadır (Güler, 2013).

Yapılan araştırmalarda kompozit kolonların aksenal yük ve süneklik kapasitelerinin kolonların çap(D) /et kalınlığı (t)oranına ve kolon kesit şekline bağlı olduğu görülmüştür. Kolonların D / t oranı azaltıldığında, çelik borunun beton çekirdeğe sargılama etkisi önemli ölçüde artar. Ayrıca, sargılama etkisi dairesel kesitler için kare ve dikdörtgen biçimlerden çok daha etkili olduğu görülmüştür (Schneider 1998). Buna ek olarak yüksek dayanımlı beton ile ince et kalınlığına sahip çelik malzemenin beraber kullanımı oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Yüksek dayanımlı betonla ince duvarlı çelik tüp beraber kullanıldığında, doğasından dolayı gevrek davranış gösteren yüksek dayanımlı beton, çelik tüpün betonu sargılamasından ötürü, daha sünek davranır. Çelik tüpün içine yerleştirilen beton da çelikteki içe burkulmalar nedeniyle oluşan dayanım kaybı engellenmiş olur. Bu sayede yapı elemanlarının kesit boyutları küçülecektir. Böylece hem mimari açıdan daha geniş kullanım elde edilecek hem de bina ağırlığı azaltılarak, yapıya gelen deprem yükü düşürülmektedir. Buna ilave olarak, daha küçük ve daha hafif yapı çerçevelerinin kullanımıyla temel üzerine gelen yapı yükleri azalmakta ve bu da temel maliyetini azaltmaktadır.

Kompozit yapı elemanlarının kullanımı ekonomik yönden de avantajlar sağlamaktadır. Geleneksel betonarme binalarda donatı imalatı, kalıp yapımı ve sökümü gibi inşaat maliyetini ve süresini arttıran işçilikler vardır. Kompozit yapı elemanlarında çelik tüpün kalıp görevi görmesi, donatının kullanılmaması nedeniyle inşaat maliyeti ve süresinde tasarruf sağlanır. Kompozit kolon kullanımının bir diğer faydası ise beton bakım masraflarının azaltılmasıdır. Betonarme binalarda inşaat bitiminden belli süre sonra çevresel etkilere maruz kalan betona bakım yapılması gerekmektedir. Kompozit kolonlarda ise çelik tüp, betonu sardığından çevresel faktörlerin betona zarar vermesini engeller. Ek olarak çeliğin içine beton doldurulmasının çeliğin yangına karşı dayanımını arttırdığı görülmüştür (Shanmugam ve ark., 2001).

Günümüzde kompozit kolon sistemi ile inşa edilen yapılarda genel olarak karbon çelik (CS) malzeme kullanılmaktadır. Bundan dolayı kompozit kolonlarla ilgili yapılan çalışmalar da CS malzemedan imal edilmiş kolonlar üzerine olmuştur. Ancak

CS malzemenin korozyona karşı zayıf olması bazı araştırmacıları farklı türlerde malzemeler üzerine çalışmalar yapmaya itmiştir. Son yıllarda bazı araştırmacılar paslanmaz eliğin (SS) CS malzemeye iyi bir alternatif olabileceğini düşnmiş ve SS malzemedен imal edilmiş kolonlar üzerinde çalışmalar yapmışlardır (Afshan ve Gardner 2013; Patel ve ark., 2014). Yapılan alışmalarda SS malzemenin korozyona karşı karbon çeliklere göre daha dayanıklı olduğunu fakat hammaddesinin daha pahalı olduğu görülmüştür. Bu sebeplerden dolayı bazı araştırmacılar tarafından korozyona karşı dayanımı yüksek olması, daha hafif ve ucuz olmasından dolayı CS ve SS malzemelere alternatif olarak alüminyumu (AL) denemişlerdir. (Langseth ve Hopperstad, 1997; Hassainen, 2000; Mazzolani ve ark., 2001; Su ve ark. 2014).



şekil 1.3. Çin’de bulunan 1181 metre uzunluğundaki Ganhaizi Koprusü (Anonim).

Öte yandan beton teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak üretilebilen yüksek dayanımlı beton (YDB) doldurularak oluşturulan kolonlar üzerinde de çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda, elik tüp, YDB’yi sargılayarak yüksek süneklikte ve dayanımda olabileceği görülmüştür (Güler, 2013). Buna ek olarak betonun gevrek davranışını iyileştirmeye yönelik çalışmalar da devam etmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda betona elik veya ilave edilmesinin betonun gevrek davranışını

sınırladığını ve daha sünek hale geldiği görülmüştür (Portoles ve ark. 2013). Ayrıca yapılan araştırmalarda lif oranının artırılmasının betonun sünekliğinin ve tokluk kapasitesinin arttığı görülmüştür (Lu ve ark., 2015).

Bu tezde içi boş, sade ve lif katkılı beton doldurulmuş AL, CS ve SS kısa kolonlar kapsamlı olarak ele alınmıştır. Çalışmanın ana amacı aksel yük altındaki AL, CS, SS kolonlarının burkulma modları, süneklik, aksel yük taşıma ve tokluk kapasitesinin incelenmesidir.



Şekil 1.4. Dairesel kompozit kolon görünümü (Liew, 2004)

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

20. Yüzyılın ortalarından itibaren çeşitli araştırmacılar tarafından çelik kolon içine beton yerleştirilerek oluşturulan kompozit kolonlarla ilgili deneysel ve analitik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar genellikle aksel yük altındaki kompozit kolonların kesit şeklinin, L/D oranının veya D/t oranının kolonların davranışına etkisinin incelenmesi şeklindedir. Bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Furlong ve ark. (1967,1968), D/t oranı 29 ila 98 aralığında bulunan dairesel numunenin üzerinde araştırmalar yapmışlardır. Araştırmacılar çelik tüplerin içine yerleştirilen beton sayesinde yerel burkulmaların sınırlandırılması, çelik tüpün kalıp işlevi görerek inşaat maliyetini düşürmesi gibi avantajlarının yanı sıra yangın olması durumunda çelik tüpün dayanımını kaybetmesi gibi dezavantajları olduğunu açıklamışlardır. Araştırmacılar, yaptıkları araştırmalar sonucunda kompozit yapının her bir elemanı birbirinden bağımsız olarak yük taşıdığını ve betonunun sargılama etkisi nedeniyle dayanım kapasitesinde artış olmadığını belirtmişlerdir.

Tomii ve Sakino (1979), daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak 10 cm x 10 cm boyutlarında ve 30 cm uzunluğunda 36 adet kare en kesitli et kalınlıkları farklı numuneler üzerinde deneysel çalışmalar yapmışlardır. Deneyle 4 ayrı tipte yapılmıştır. Her tipte 2 adet numune sadece aksel yük altında, 7 adet numune ise hem aksel yük hem de eğilme momenti etkisinde olacak şekilde hazırlanmıştır. Kolon numunelerinin D/t oranı 22 ile 44 arasında değişmektedir. Araştırmacılar, yaptıkları bu çalışma ile Kolonlar aksel kuvvet ve eğilme momenti altındaki davranışlarının büyük ölçüde kolon elemanların dış çaplarının çelik tüp et kalınlıklarına oranını ifade eden D/t oranına bağlı olduğunu söylemişlerdir. Ayrıntılı bir şekilde çizilen moment-aksel kuvvet karşılıklı etki diyagramında D/t oranı azaldıkça sünekliğini arttırdığı belirtilmiştir. D/t oranı 24 olan numuneler dayanım kaybına ulaşmadan daha sünek bir davranış gösterdiğini ancak D/t oranı 44 olan numunelerin azalan sargılama etkisinden dolayı daha gevrek bir davranış gösterdiğini belirtmişlerdir. Betonun çelik tüple daha iyi sargılama etkisini sağlamak ve daha sünek bir kompozit yapı elde etmek için D/t oranının düşürülmesini tavsiye etmişlerdir.

Sakino ve ark. (1985), D/t oranı 18 ile 192 arasında değişen 18 adet dairesel içi beton dolu çelik kolonların üzerinde deneysel çalışmalar yapmışlardır. Yapılan çalışmalarda, numuneler aynı özelliklere sahip 3 farklı grupta gruplandırılmıştır. İlk gruptaki numunelerde hem betona hem de çelik tüpe aynı anda eksenel yük uygulanıştır. İkinci ve üçüncü gruptaki numunelerde sadece beton çekirdeğine yük uygulanmıştır. Üçüncü gruptaki örneklerin ikinci gruptaki numunelerden farklı olarak iç tüp duvarı yağlanarak beton dökümü yapılmıştır. Deney sunucunda çelik tüp ve betona eş zamanlı yüklemenin olduğu gruptaki numunelerde akma dayanımı sonrasına kadar çelik tüpün sargılama etkisi göstermediği belirtilmiştir. Sadece beton çekirdeği yüklü olan ikinci ve hatta üçüncü grup numenlerinde çelik tüp duvarında boyuna gerilmeler olduğu ve böylece sargılama etkisinin olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak ilk gruptaki numunelerin eksenel rijitliğinin diğer gruptakilerin en iki katı fazla olmasına rağmen sadece beton çekirdeğine eksenel yük yüklü numunelerin eksenel yük taşıma kapasitelerinin daha fazla olduğu açıklamışlardır.

Wang ve Moore (1997), içi beton dolu kompozit kolonlar için yeni bir tasarım prosedürü geliştirmişlerdir. Çelik kolonlar için önerdikleri hesaplama yöntemi BS 5950' da verilen hesaplamalara dayandırmışlardır. Ayrıca araştırmacılar, önerdikleri tasarım prosedürünü BS5400 ve EC4 gibi tasarım kodlarıyla karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak önerdikleri yöntemin kompozit kolonların davranışını daha makul ve iyi olarak tahmin ettiğini, BS5400 ve EC4 gibi yönetmeliklerde verilen hesap yöntemlerinden daha kolay olduğunu belirtmişlerdir.

Schneider (1998), çalışmasında, kare, daire ve dikdörtgen en kesitli karbon çelik kolonların içine beton doldurularak oluşturulan kısa kompozit kolonların eksenel yük altındaki davranışlarını deneysel ve analitik olarak sunmaya çalışmıştır. Deneysel çalışmada 14 adet kare, dikdörtgen ve daire en kesitli kompozit kolon kullanmıştır. Deneyselerde çap (D) ve et kalınlığı (t) oranının kolonun dayanımına etkisi incelenmiştir. Kullanılan kolonlar D/t oranı 17 ile 50 arasında değişmektedir. Deney sonuçlarından daire şeklinde olan kolonların dayanımı ve sünekliği kare ve dikdörtgen kolonlardan daha yüksek olduğunu belirtmiştir. Ayrıca eksenel yük taşıma kapasitesini AISC-LRFD 1999 yönetmeliğiyle kıyaslamıştır.

Lam ve Giakoumelis (2004), kolonların içine yerleştirilen betonun basınç dayanımının ve aderansın kolonlara etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla çeşitli basınç

dayanımlarına sahip beton doldurulmuş daire en kesitli kolon numuneleri üzerinde çeşitli araştırmalar yapmışlardır. Kullandıkları beton dayanımları sırasıyla 30 MPa, 60 MPa ve 85 MPa'dır. Yaptıkları çalışmanın sonuçlarına göre, düşük dayanımlı betonlarda aderans etkisinden dolayı eksenel yük taşıma kapasitesinde belirgin bir farkın olmadığını, yüksek dayanımlı betona dolu olan elemanlarda ise belirgin bir farkın olduğunu göstermişlerdir. Aderans etkisinden dolayı basınç dayanımı 85 MPa olan betonla doldurulmuş daire en kesitli çelik tüp iç yüzeyine gres yağı uygulanmış ve uygulanmamış kompozit kolonlar arasındaki eksenel yük taşıma kapasitesindeki en büyük fark %17 olarak bulunmuştur.

Young ve Ellobody (2006), dairesel kesitli içi beton dolu çelik kolonların eksenel yük altındaki davranışları ve tasarımı üzerine deneysel çalışmalar yapmışlardır. Test parametreleri, çelik tüp içine doldurulan betonun mukavemeti ve çelik borunun çapının(D) et kalınlığına (t) oranı olarak seçilmiştir. Deneysel sonuçları, Amerikan, Avustralya ve Avrupa'da kullanılan yönetmelikleri kullanılarak hesaplanan tasarım güçleri tarafından doğrulanmıştır. Bu deneysel araştırmalardan, aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- D / t oranı arttığında kolonların mukavemeti artmıştır.
- Kompozit kolonların mukavemetinin betonun küp mukavemeti ile doğrusal bir ilişkisi olduğu bulunmuştur.
- Ayrıca beton mukavemeti arttıkça kolonların sünekliğinin de azaldığı belirtilmiştir

Bu çalışmalara ek olarak elde ettikleri verileri Amerikan, Avrupa ve Avustralya standartları ile karşılaştırmışlardır. Amerikan ve Avustralya yönetmeliklerine kıyasla Avrupa standardında verilen tasarım güçlerinin daha az güvenli tarafta kaldığı belirtmişlerdir.

Yu ve ark. (2008), basınç dayanımı 122 MPa olan yüksek dayanımlı beton ile doldurulmuş daire ve kare en kesitli beton doldurulmuş karbon çelik kolonların eksenel yük taşıma kapasitelerini belirleyip Eurocode 4 (EC4) yönetmeliği ile karşılaştırmışlardır. EC4 yönetmeliğinin daire en kesitli kolonların eksenel yük taşıma kapasitelerini %6 daha düşük hesaplarken, kare en kesitli beton doldurulmuş çelik kolonların eksenel yük taşıma kapasitelerini ise %6 daha yüksek hesapladığını belirtmişlerdir.

Xiong ve ark. (2012) 27 adet çelik kolonun aksenal yük altındaki davranışlarını incelemiştir. Hazırlanan kolonlardan 18 adedine 200 MPa' ya yakın ultra yüksek dayanımlı beton (YDB), 4 adedine normal dayanımlı (NDB) beton doldurulmuştur. 5 adet kolon ise boş bırakılmıştır. Ayrıca sünekliği ve dayanımı arttırmadaki etkilerini incelemek için YDB' ye çelik lifler eklenmiştir. Test sonuçları YDB dolgulu kolonların çok yüksek yük taşıma kapasitelerine ulaştığını, ancak kırılma hale gelebileceğini belirtmişlerdir. Ek olarak, YDB ile doldurulan kompozit kolonların süneklik ve dayanımının artması betona çelik lif eklenmesi, lif oranının artırılması ve aksenal kuvvetin beton çekirdeğine uygulanması ile olabileceği belirtilmiştir. Araştırmacılar test sonuçlarını Eurocode 4 tahminleriyle karşılaştırmışlardır. Ortalama olarak, Eurocode 4 yaklaşımı, sargılama etkisi dikkate alınmadığında dayanımı % 14.6, arttırmıştır. Sargılama etkisi dikkate alınan tüm örnekler için dikkate alındığında % 3.5 oranında dayanımı artırdığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte, yeterli süneklik sağlamak için, minimum % 0.30 ile % 1 çelik lif katkısı kullanılması tavsiye etmişlerdir.

Lu ve ark. (2015), İçi çelik lif katkılı beton doldurulmuş kompozit kolonlar üzerinde deneysel ve analitik çalışmalar yapmışlardır. Deneylerde 9 adedi fiber katkısız 27 adedi fiber katkılı, L/D oranı 3 ve çelik tüp kalınlıkları 3 mm, 4 mm, 5 mm olan kompozit kolonlar kullanmışlardır. Karbon çelik (CS) tüp içine C50, C60, C70 dayanımlarında beton ve hacimce 0, 0.6, 0.9, 1.2 oranında çelik lif yerleştirmişlerdir. Araştırmacılar yaptıkları deneyler sonucunda betona lif katılmasının kompozit kolonun aksenal yük taşıma kapasitesi, enerji yutma kapasitesini önemli derecede artırdığını ve çelik kolonda oluşan yerel burkulmayı geciktirdiğini ancak kompozit kolonların tepe yükünde ve burkulma modunda gözle görülür bir etki sağlamadığını tespit etmişlerdir. Çelik lif hacim oranları % 0.6'dan % 1.2'ye yükseltildiğinde, CS kolonlarının aksenal yük kapasitesindeki en büyük artış sırasıyla % 6 ve % 14 iken, CS kolonlarının enerji yutma kapasitesindeki artış % 31.7 ve % 220.2'dir. Ayrıca, aksenal yük altındaki CS kolonlarının sünek özellikte olabilmesi için minimum % 0.9 çelik lif hacim oranının gerekli olduğu belirtmişlerdir. Ek olarak kompozit kolon tepe yükü hesabında kullanılacak basit bir model sunmuşlardır.

CS ve SS kolonların alt ve üstlerine 120 mm x 120 mm x 10 mm ebatlarında sac kapaklar kaynakla monte edilmiştir. AL kolonlarına kaynak yapılamadığı için ince sac kapaklar vidalanarak kolon alt ve üstleri kapatılmıştır. Hazırlanan AL, CS ve SS boş kolonlar Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Monte edilen kapaklar tüp içindeki betonunun dökülmesini engellemekte ve eksenel basınç yükünün düzgün dağılmasını sağlamaktadır. Her bir et kalınlığındaki AL, CS, SS malzemelerinin mekanik özellikleri çelik çekme deneyi yapılarak belirlenmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen mekanik özellikler Çizelge 3.2’de verilmiştir. AL ve SS malzemeleri belirli bir akma noktası göstermediğinden, bu malzemelerin akma dayanımı% 0.2 ye dengelenerek belirlenmiştir



Şekil 3. 1. Boş kolon numunelerin deney öncesi görünüşleri a. AL, b.CS, c. SS.

Çizelge 3.2. AL, CS, SS malzemelerin mekanik özellikleri

Kolon Türü	E (GPa)	σ_y (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_u (MPa)
AL 2 mm	71	-	168	270
AL 3 mm	64	-	156	256
AL 4 mm	67	-	162	237
CS 2 mm	186	230	-	286
CS 3 mm	180	227	-	278
CS 4 mm	192	234	-	304
SS 2 mm	198	-	282	512
SS 3 mm	192	-	276	504
SS 4 mm	201	-	290	526

3.1.2. Agrega

Beton karışımlarında iri ve ince tane boyutlarına sahip iki çeşit agrega kullanılmıştır. İri agregalar 5-12 mm tane boyutlarındaki kırma taşlardan oluşmaktadır. İnce agregalar ise 0-5 mm tane boyutlarında olan kırma taşlardan oluşmaktadır.

3.1.3. Çimento

Deneysel çalışmada Aşkale Çimento'ya bağlı Van Çimento Fabrikasından temin edilen TS EN 197-1 (2002) ile uyumlu portland çimentosu (CEM I 42,5 R) kullanılmıştır. Kullanılan çimentoya ait kimyasal özellikler Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal analizler	%
SiO ₂	20.40
Al ₂ O ₃	5.27
Fe ₂ O ₃	2.82
CaO	59.64
MgO	3.43
SO ₃	2.72
Kızdırma kaybı	2.83
K ₂ O	0.79
Na ₂ O	-
Cl	0.0109
CaO (Serbest kireç)	0.56
Çözünmeyen kalıntı	3.39

Çizelge 3.4. Çimentonun fiziksel özellikleri

Fiziksel Ve Mekanik Testler	
45 µ üzeri kalıntı %	2.9
90 µ üzeri kalıntı %	0.1
Özgül ağırlık (g/cm ³)	3.08
Özgül yüzey (cm ² /g)	3656
Su ihtiyacı (%)	29.4
Piriz başı (dakika)	190
Piriz sonu (dakika)	250
Hacim genişmesi (mm)	3

3.1.4. Su

Deneysel çalışmalarda beton hazırlanmasında ve beton numunelerinin kür havuzu için Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında bulunan içilebilir musluk suyu kullanılmıştır.

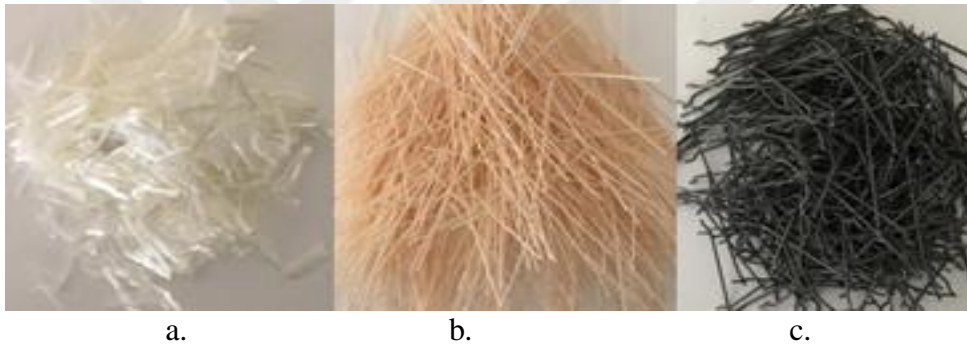
3.1.5. Çelik ve sentetik lifler

Lifli beton hazırlamak için çelik ve sentetik lif çeşitleri kullanılmıştır. Çelik lifler 30 mm uzunluğunda ve iki ucu kancalı olarak seçilmiştir. Sentetik lif olarak, 12 mm

uzunluğunda mikro Poliamid lifler (PA12) ve 54 mm uzunluğunda makro Poliamid lifler (PA54) seçilmiştir. Çelik ve sentetik liflerin belli oranlarda karıştırılması ile oluşturulan karışıma hibrit lif adı verilmiştir. Hibrit lif karışımında kullanılan lif hacminin %40'ı Çelik liflerden, %40'ı PA12 liflerden ve % 20'si PA54 liflerden oluşmaktadır. Kullanılan liflerin görünümü, mekanik ve geometrik özellikleri Şekil 3.2 ve Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Beton karışımlarında kullanılan liflerin mekanik ve geometrik özellikleri

Lif Tipi		Boy (mm)	Çap (mm)	Görüntü Oranı (Boy/Çap)	Çekme Dayanımı (MPa)	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Elastisite modülü (MPa)
Çelik Lif	Kancalı	30	0.75	40	1100	7.85	200000
PA12	Düz	12	0.075	160	970	1.14	3500-6800
PA54	Düz	54	0.55	98	900	1.14	5150



Şekil 3.2. Çelik ve sentetik liflerin görünümü a. PA12, b. PA54, c. Çelik lifler.

3. 1.6. Akışkanlaştırıcı katkı

Deneyisel çalışmada yeni nesil fosfanat modifiyeli polikarboksil esaslı Addima 100 adlı hiper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Sadece lifli katkılı beton karışımlarına ilave edilmiştir. Betonun işlenebilirliğini arttırmak amacıyla kullanılmıştır. Bu hiper akışkanlaştırıcı madde İstanbul'da bulunan Draco fabrikasından temin edilmiştir.

3. 1.7. Uçucu kül

Deneyisel çalışmada sadece 70 MPa basınç dayanımındaki beton karışımında kullanılmıştır. Beton dayanımını artırmak, taze betondaki segregasyonu önlemek ve betonun işlenebilirliğini arttırmak amacıyla kullanılmıştır. Uçucu kül Van Aşkale Çimento

Fabrikasından temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan uçucu küle ait kimyasal özellikler aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6. Uçucu kül kimyasal özellikleri

Özellikler	Standart Sınırlama
$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$	En az %70
MgO	En çok %5
SO	En çok %5
Rutubet	En çok %3
Kızdırma Kaybı	En çok %10

3.2. Beton Karışımlarının Üretimi ve Kolonlara Yerleştirilmesi

Deneysel çalışmada ortalama silindir basınç dayanımları 30 MPa ve 70 MPa olarak hedeflenen iki tip beton karışımı kullanılmıştır. Beton karışımları Van Y.Y.Ü. Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında bulunan 25 dm³ lük Pan mikser yardımıyla hazırlanmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Pan mikserde hazırlanan beton karışımı görünümü.

Beton karışımları hazırlanırken ilk önce iri agregalar (5-12 mm) kuru olarak Pan mikserde yerleştirilmiş ve bir miktar karıştırıldıktan sonra ince agrega (0-5 mm) eklenip tekrar karıştırılmaya devam edilmiştir. Daha sonra sırasıyla çimento ve su eklenip karışım homojen bir görünüm kazanıncaya kadar karıştırılmıştır. Lif katkılı olan beton

karışımlarına çelik ve hibrit lifler beton hacminin % 0.5 ve % 1.5'i olacak şekilde betona katılmıştır. "St" çelik lifi, "Hy" ise hibrit lifleri göstermektedir. Suyun üçte ikisi kadar Dracoaddima 100 adlı süper akışkanlaştırıcı ilave edilmiştir. Yukarıda verilen malzemeler dışında basınç dayanımı 70 MPa beton karışımına uçucu kül ilave edilmiştir. Hazırlanan beton karışımı içeriği ve kullanılan malzeme miktarları Çizelge 3.7 ve Çizelge 3.8' te gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. 30 MPa basınç dayanımındaki beton karışım oranları

Karışım Adı	Çimento kg/m ³	Agrega (0-5 mm)	Agrega (5-12 mm)	Su	Akışkanlaştırıcı 1 %	Su/Bağlayıcı	Çelik lif (%)	PA12 Sentetik lif (%)	PA54 Sentetik lif %
C30-Sade (P)	380	760	1090	180	-	0.47	-	-	-
C30- St - 0.5%	380	760	1090	180	0.5	0.47	0.5	-	-
C30- St - 1.5%	380	760	1090	180	1	0.47	1.5	-	-
C30-Hy- 0.5%	380	760	1090	180	0.5	0.47	0.2	0.2	0.1
C30-Hy- 1.5%	380	760	1090	180	1	0.47	0.6	0.6	0.3

Hazırlanan betonun, kolon içine boşluksuz yerleşmesini sağlamak amacıyla beton karışımı çelik kolonlara 3 katman halinde demir çubukla şişlenerek ve yan taraflarına tokmakla vurularak doldurulmuştur (Şekil 3.4). Numunelere beton doldurma işleminden sonra üst başlık levhası kaynatılıp deneye hazır hale getirilmişlerdir.

Çizelge 3.8. 70 MPa basınç dayanımındaki beton karışım oranları

Karışım Adı	Çimento kg/m ³	Uçucu Kül	Agrega (0-5 mm)	Agrega (5-12 mm)	Su	Akışkanlaştırıcı %	Su/Bağlayıcı	Çelik lif (%)	PA12 Sentetik lif (%)	PA54 Sentetik lif %
C70-Sade (P)	300	120	800	1090	150	-	0.36	-	-	-
C70-St- 0.5%	300	120	800	1090	150	0.5	0.36	0.5	-	-
C70-St- 1.5%	300	120	800	1090	150	1	0.36	1.5	-	-
C70-Hy- 0.5%	300	120	800	1090	150	0.5	0.36	0.2	0.2	0.1
C70-Hy- 1.5%	300	120	800	1090	150	1	0.36	0.6	0.6	0.3

Her bir karışım için ebadı 150 mm x 150 mm x 150 mm olan üç beton numunesi test edilmek üzere alınmıştır. Testler EN 206-1 (2002) ve EN 12390-3 (2010) standartlarına uyumlu olarak gerçekleştirilmiştir. Alınan numuneler 28 gün kür havuzunda bekletildikten sonra test edilmiş ve 3 numunenin ortalama değerleri alınmıştır. Yapılan basınç deneylerinde beton karışımlarının ortalama küp basınç dayanımı 35.6 ve 74.8 MPa olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.4. Beton karışımının alüminyum tüplere yerleştirilmesi.

3.3. Kolon Numunelerinin İsimlendirilmesi

Çelik kolonlara beton doldurma işlemi tamamlanmasından sonra kolonların üzerine isimleri yazılmıştır. Kolon isimlendirilmesinde çeşitli kısaltmalar kullanılmıştır. Karbon çelik malzeme “CS” , paslanmaz çelik “SS”, alüminyum kolonlar ise “AL” olarak kısaltılmıştır. Kolonun içinde beton yoksa “Boş”, içinde 30 MPa basınç dayanımı beton için C30 ve 70 MPa basınç dayanımının beton için C70 yazılmıştır. Eğer kolonun içine sade beton doldurulmuş ise “P”, lifli beton doldurulmuşsa lif türünün adı ve oranı yazılmıştır. Çelik lifler için “St”, hibrit lifler için “Hy” kısaltmaları kullanılmıştır. Numune isimlendirilmesi yapılırken sırasıyla kullanılan çelik ve alüminyum malzeme türü, kolon iç dolgusu türü, et kalınlığı, kullanılan lif türü ve oranı yazılmıştır. Yapılan isimlendirmelere birkaç örnek aşağıda verilmiştir.

Örnek:

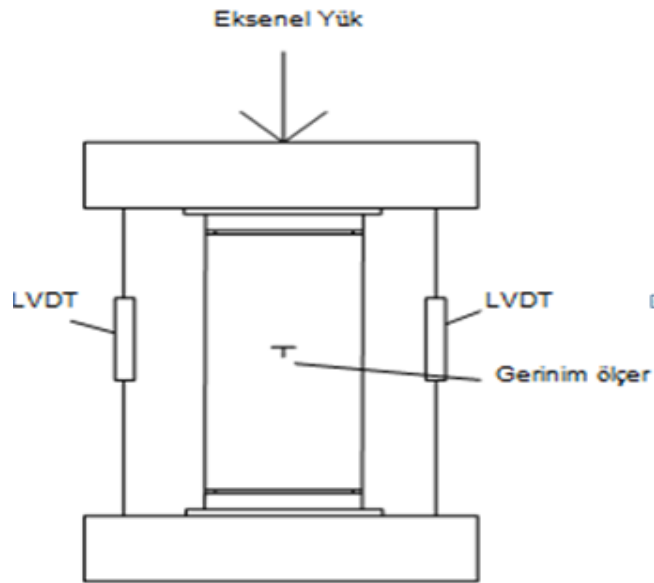
AL-BOŞ-2MM : 2 mm et kalınlığında içi boş alüminyum kolon.

- AL-C70-3MM-P : 3 mm et kalınlığında içi sade C30 beton dolu alüminyum kolon.
 CS-C30-3MM-P : 3 mm et kalınlığında içi sade C30 beton dolu karbon elik kolon.
 SS-C70-4MM-%0.5St: 4 mm et kalınlığında içi %0.5 elik lif katkılı C70 beton dolu karbon elik kolon.
 SS-C30-2MM-%1.5Hy: 2 mm et kalınlığında içi %1.5 hibrit lif katkılı C30 beton dolu karbon elik kolon.

3.4. Deney Düzenegi Kurulumu ve Deneysel alışma

Kolonların mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla basınç deneyi metodu kullanılmıştır. Bu amaçla Van Y.Y.Ü Mühendislik Fakültesi laboratuvarında bulunan 3000 kN kapasiteli otomatik servo cihazı kullanılmıştır.

Otomatik deney cihazı üzerinde bulunan yazılım sayesinde tüm deneyler bilgisayar üzerinden gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler bilgisayar üzerinde kaydedilmiştir. Deneyin ilk aşamasında, maksimum aksenal yükün (P_{max}) yaklaşık% 60'ına ulaşana kadar 10 kN aralıklarla yük kontrollü bir yükleme tipi kabul edilmiştir. Daha sonra, deplasman kontrollü bir yükleme yapılmıştır. Tüm numunelere kırılma gerçekleşene kadar aksenal yük yükleme yapılmıştır. Deney düzeneginin görünümü Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Test düzeneginin Şematik görünümü.

Kolon numunesinin cihaza yerleştirilmesi ve numunelerin eksenel kısıalmalarını ölçmek amacıyla 2 adet Şekil değiştirme ölçerin (LVDT) numune kenarlarına paralel olarak yerleştirilmesi ile deney düzeneği kurulmuştur. Ayrıca kolon orta kısmındaki gerinimleri ölçmek için 4 adet gerinim ölçer kullanılmıştır. Gerinim ölçerler kolon orta kısmına 2 adet yatay, 2 adet dikey olacak Şekilde yerleştirilir.

Eksenel kısıalma miktarları, LVDT değerlerinin ortalaması alınarak elde edilmiştir. Deney esnasında yükü aniden sıfıra giden numunelerin deney sonuçları kaydedilmemiş ve hesaba katılmamıştır. Deney verileri servo cihazına bağlanan bilgisayara aktarılarak kaydedilmiştir.





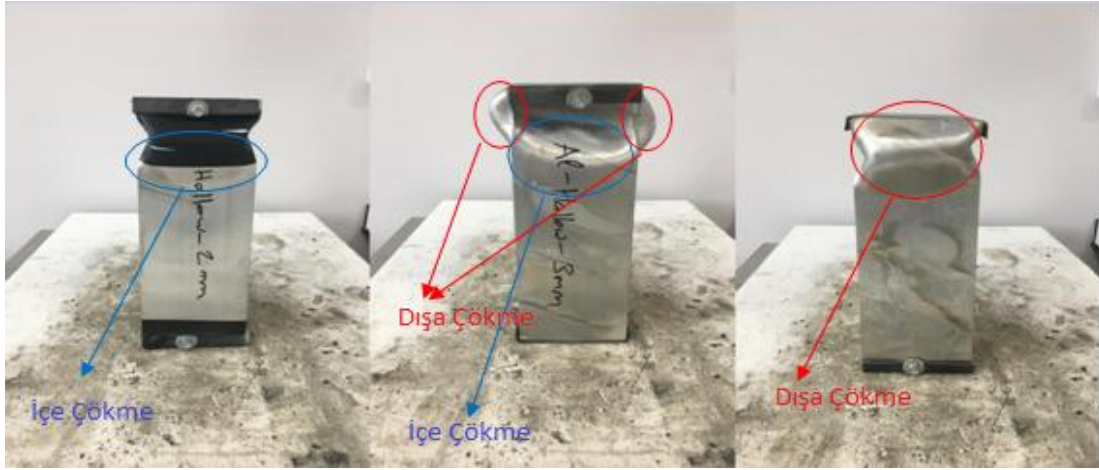
4. BULGULAR

Tezin bu bölümünde, deneysel çalışma ile elde edilen veriler yardımıyla içi boş, sade ve lifli beton doldurulmuş AL, CS, SS kolonlarının burkulma modları, eksenel-eksenel kısalma ilişkileri, süneklik ve enerji yutma kapasiteleri hakkında elde edilen sonuçlar değerlendirilmektedir.

4.1. Kolon Burkulma Modları

İçi boş ve beton doldurulmuş AL, CS, SS kolonlarının deney sonrası görünümleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’ de verilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalardan gözlemlenen burkulma modları aşağıda verilmiştir:

- Tüm AL, CS, SS kolonlarında eksenel yük taşıma kapasitesinin yaklaşık yüzde seksenine kadar gözle görülür bir şekil değiştirme gözlenmemiştir.
- Tüm içi boş AL, CS, SS kolonların alt, üst ve orta kısımlarında içe doğru burkulmalar olduğu görülmüştür. AL kolonlarında diğer kolonlardan farklı olarak kolon köşelerinin yırtıldığı tespit edilmiştir.
- İçi sade ve lif katkılı beton dolu AL, CS ve SS kolonlarında, kolon ortasına yakın bölgelerde sadece dışa doğru burkulmaların gerçekleştiği görülmüştür. Kolonlara beton doldurulması içe doğru burkulmaları ortadan kaldırmıştır.
- AL kolonları alüminyum tüpün köşelerinin yırtılması ile CS ve SS kolonları ise burkulmaların belli bir bölgede yoğunlaşması ile nihai kapasitelerine ulaşmıştır.
- Kolon et kalınlığı düşük olan AL, CS ve SS kolonlarındaki yerel burkulmaların sayısı artmıştır.
- Betona çelik veya sentetik lif ilave edilmesinin kolonların burkulma modlarında herhangi bir değişikliğe sebep olmadığı görülmüştür. Ancak içi sade beton dolu olan kolonlara göre lifli beton dolu olan numunelerde oluşan yerel burkulma sayıları azalmıştır. Çelik ve sentetik karma lif katkılı numuneler, sadece çelik lif katkılı olan numunelere kıyasla yerel burkulmaları daha fazla sınırlamıştır.
- Beton basınç dayanımının 30 MPa’ dan 70 MPa’ ya yükselmesi betonun burkulma moduna herhangi bir etkisinin olmadığı görülmüştür.



a.

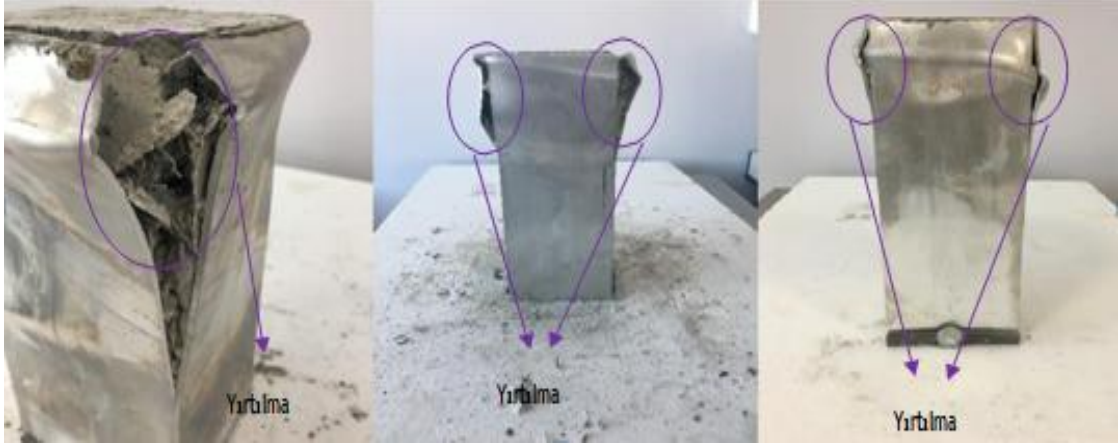


b.



c.

Şekil 4.1. İçi boş kolonların deney sonrası burkulma modları a. AL kolonlar, b. CS kolonlar, c. SS kolonlar.



a.



b.

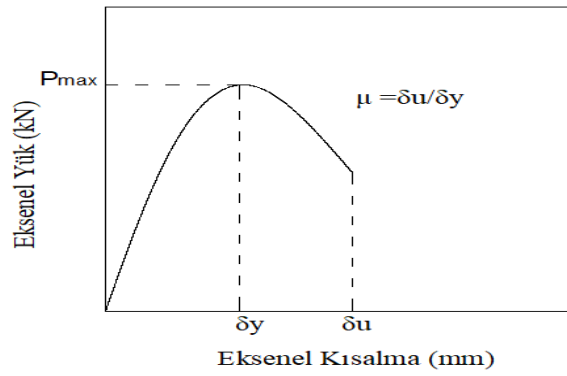


c.

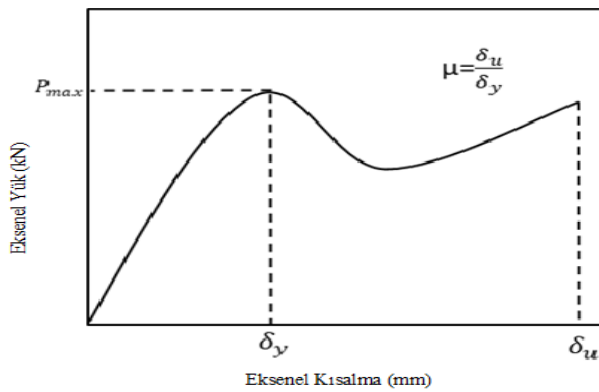
Şekil 4.2. İçi beton dolu kolonların deney sonrası burkulma modları a. AL kolonlar, b. CS kolonlar, c. SS kolonlar.

4.2. Deney Sonuçlarının Grafiksel Gösterimi ve Karşılaştırılması

Yapılan deneysel çalışma sonuçlarından elde edilen verilerle tüm AL, CS ve SS kolonlarının aksel yük-aksel kısılma grafikleri oluşturulmuştur. Aksel yük-aksel kısılma grafikleri kolon numunelerinin nihai kapasitesi değerlerine kadar olan değerler alınarak çizilmiştir. Bununla birlikte, yükü aniden sıfıra düşen kolonların aksel yük-aksel kısılma grafikleri çizilmemiş ve hesaplamalarda dikkate alınmamıştır. Boş ve içi beton dolu kolonlara ait tipik aksel yük aksel kısılma grafikleri Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Grafikte gösterilen P_{max} tepe yükünü, δ_y akma kısılmasını, δ_u kırılma kısılmasını ve μ ise sünekliliği göstermektedir. Tüm kolonlara ait aksel yük- aksel kısılma grafikleri verilmiştir (Şekil 4.4-Şekil 4.15).

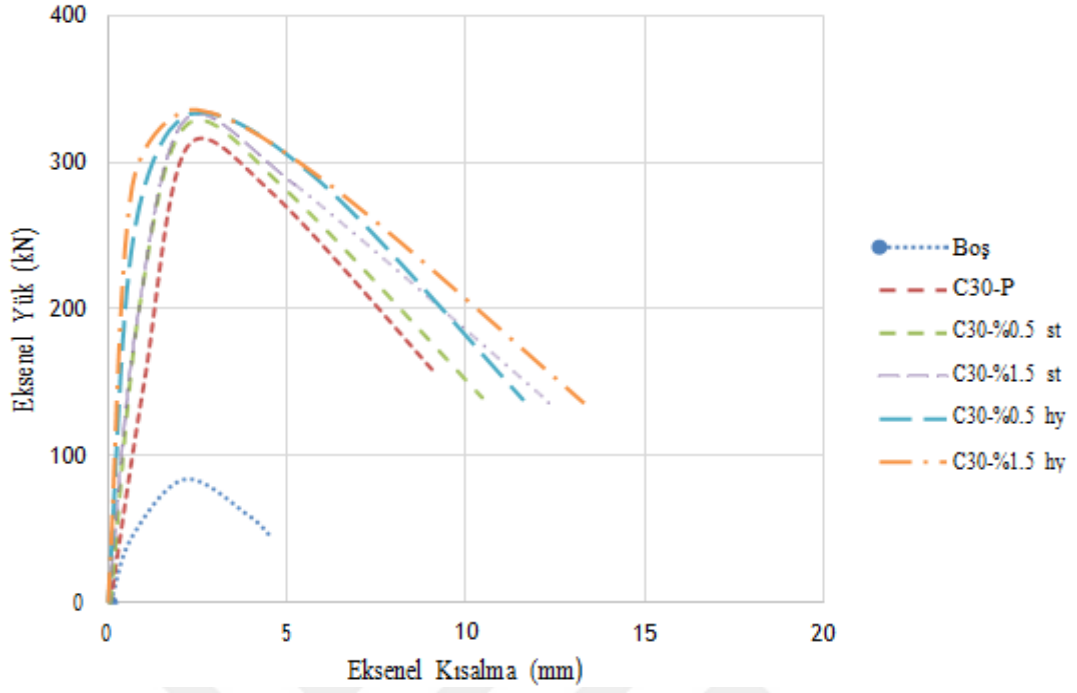


a.

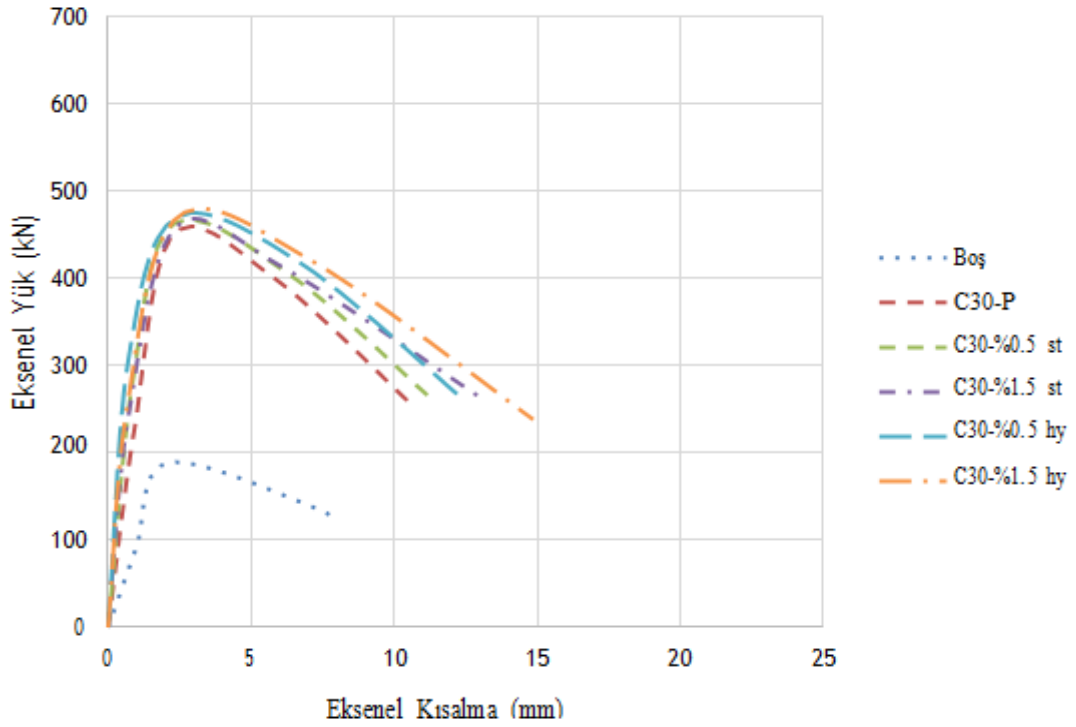


b.

Şekil 4.3. AL, CS, SS kolonlarına ait tipik aksel yük- aksel kısılma grafikleri a. boş kolonlar, b. içi beton dolu kolonlar.

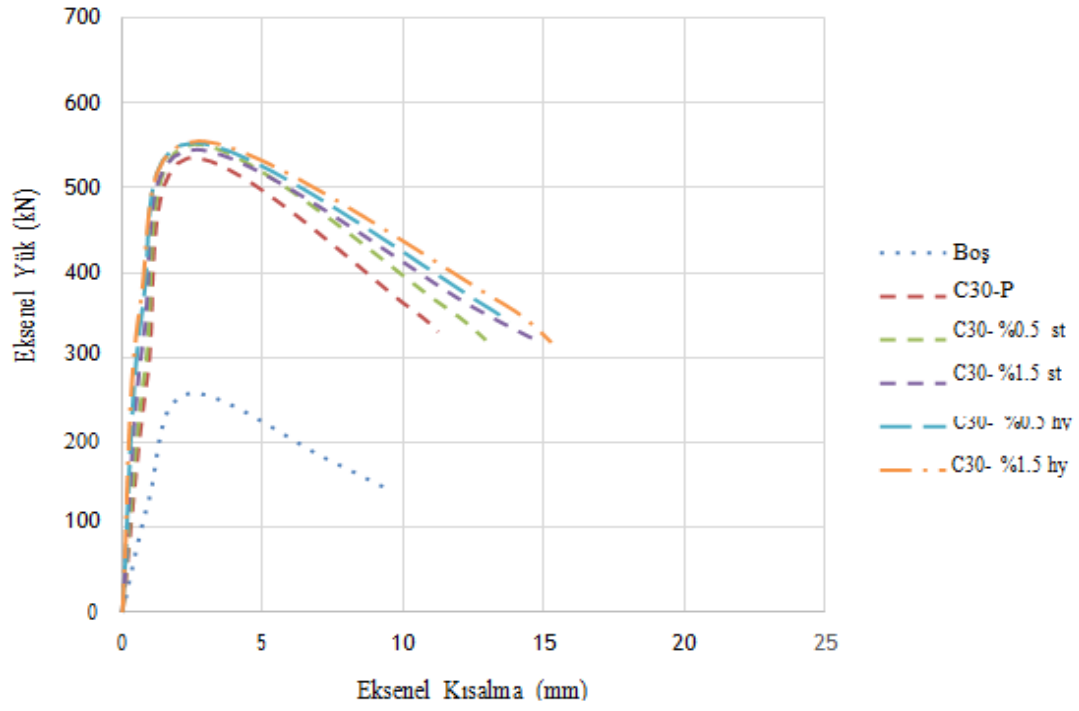


a.

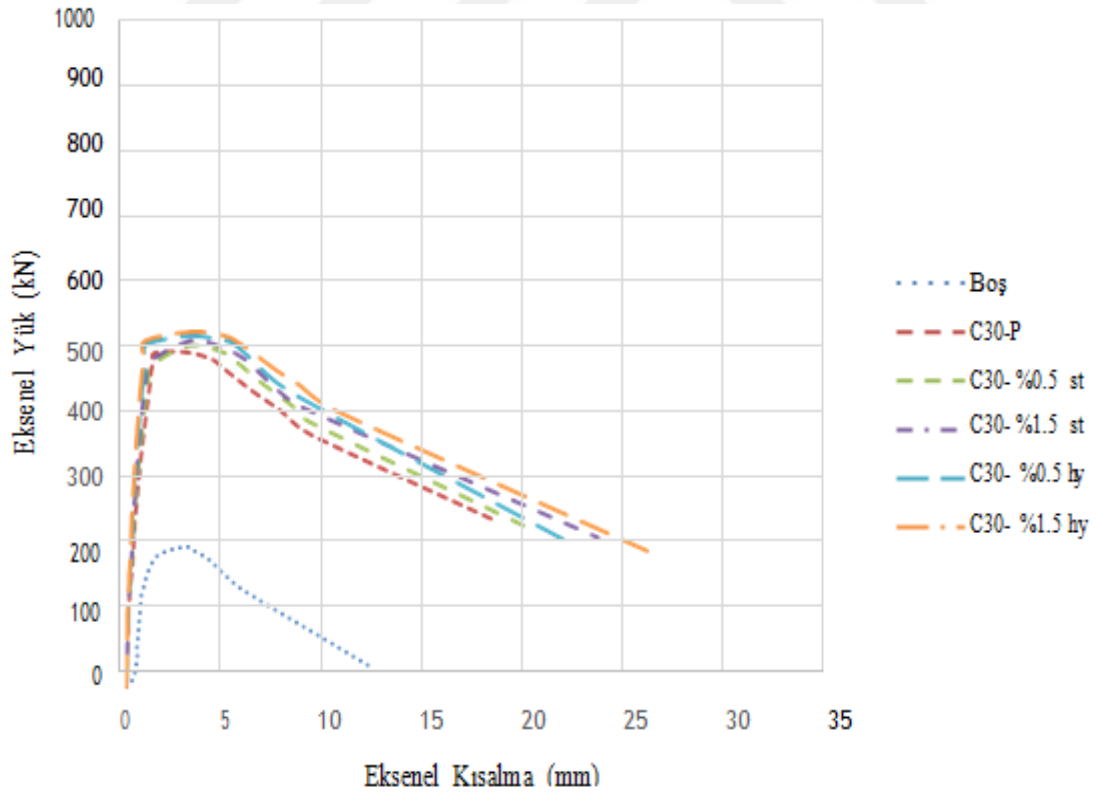


b.

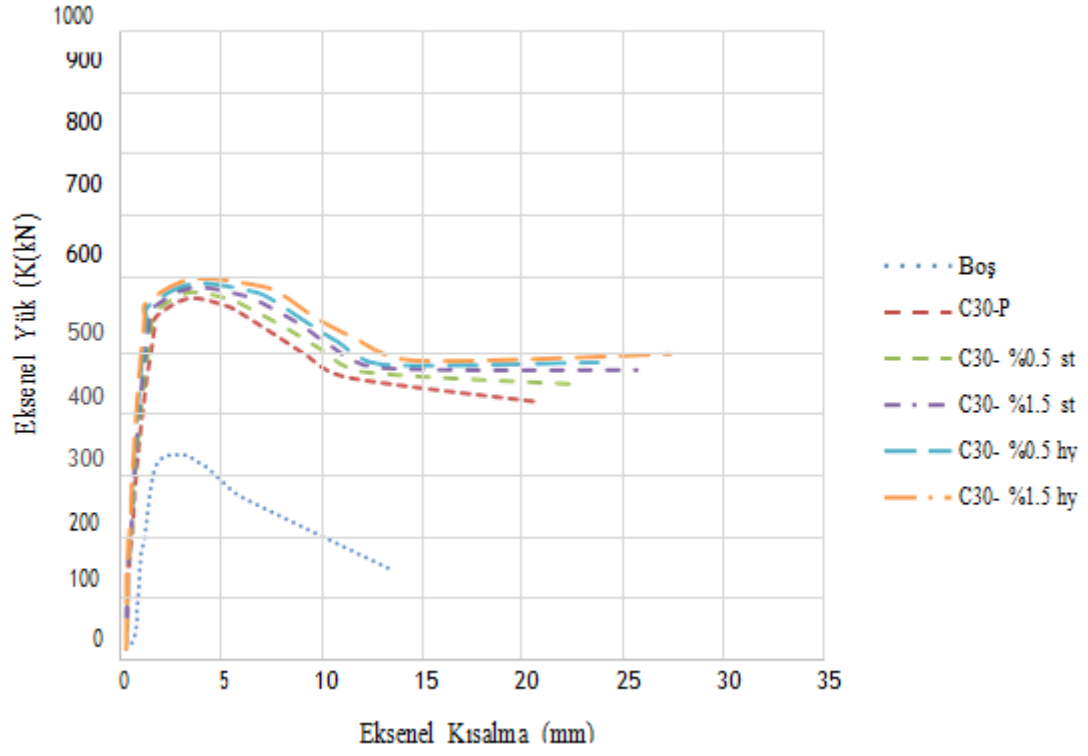
Şekil 4.4. AL-C30 kolonlarına ait eksenel yük- eksenel kısılma grafikleri a. 2 mm kolonlar, b. 3 mm kolonlar.



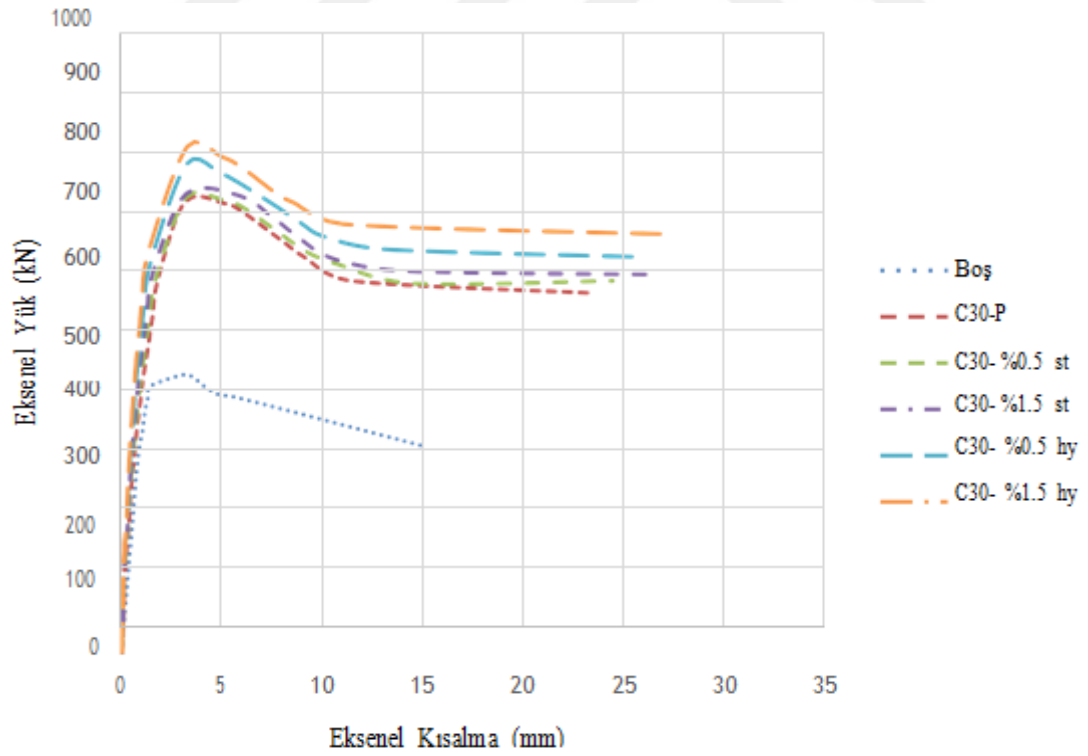
Şekil 4.5. AL-C30-4MM kolonlarına ait ekse nel yük- ekse nel kısalma grafiği.



Şekil 4.6. CS-C30-2MM kolonlarına ait ekse nel yük- ekse nel kısalma grafiği.

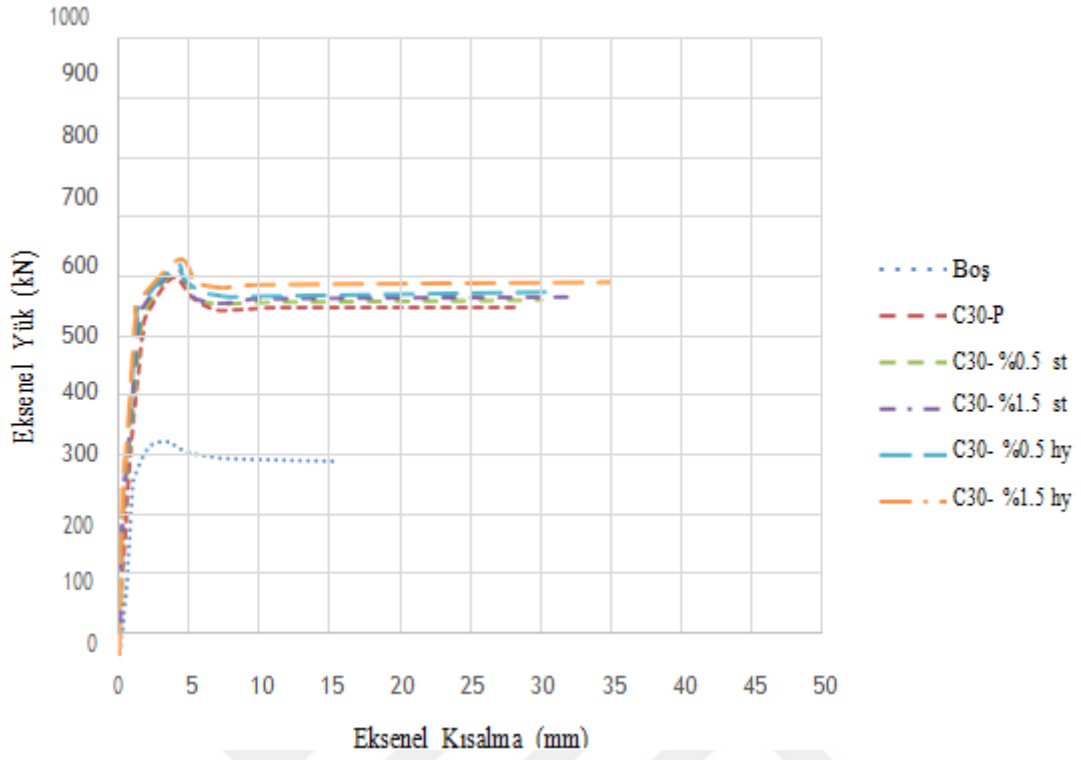


a.

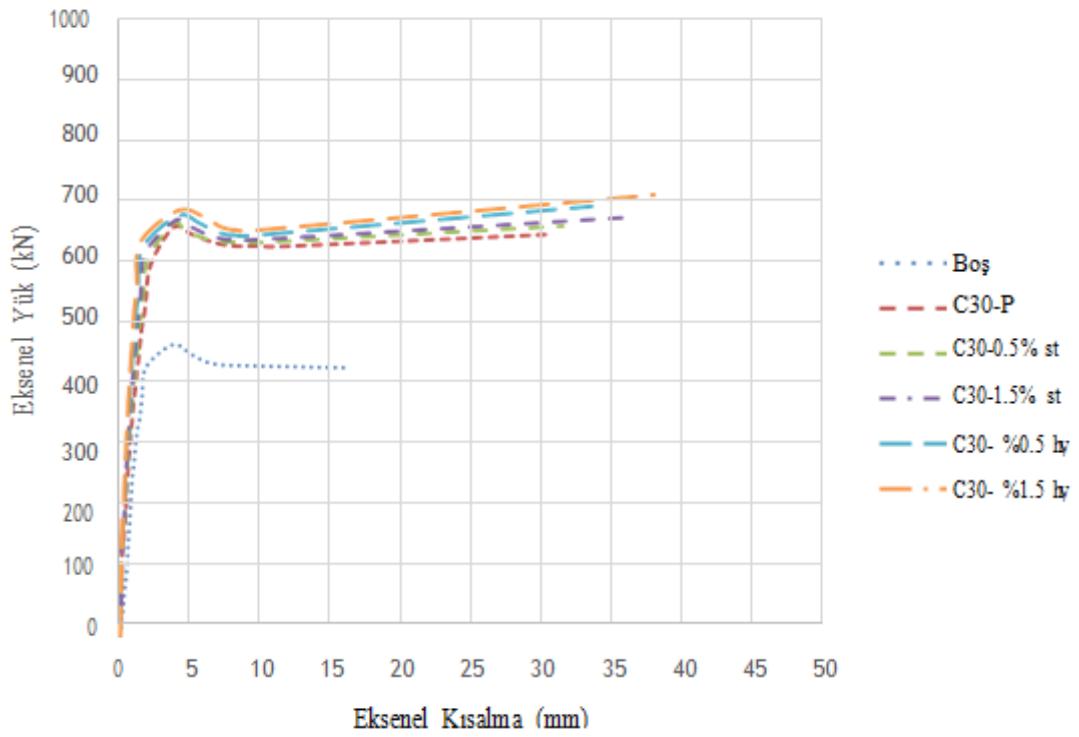


b.

Şekil 4.7. CS-C30 kolonlarına ait eksenel yük- eksenel kısılma grafikleri a. 3 mm kolonlar, b. 4 mm kolonlar.

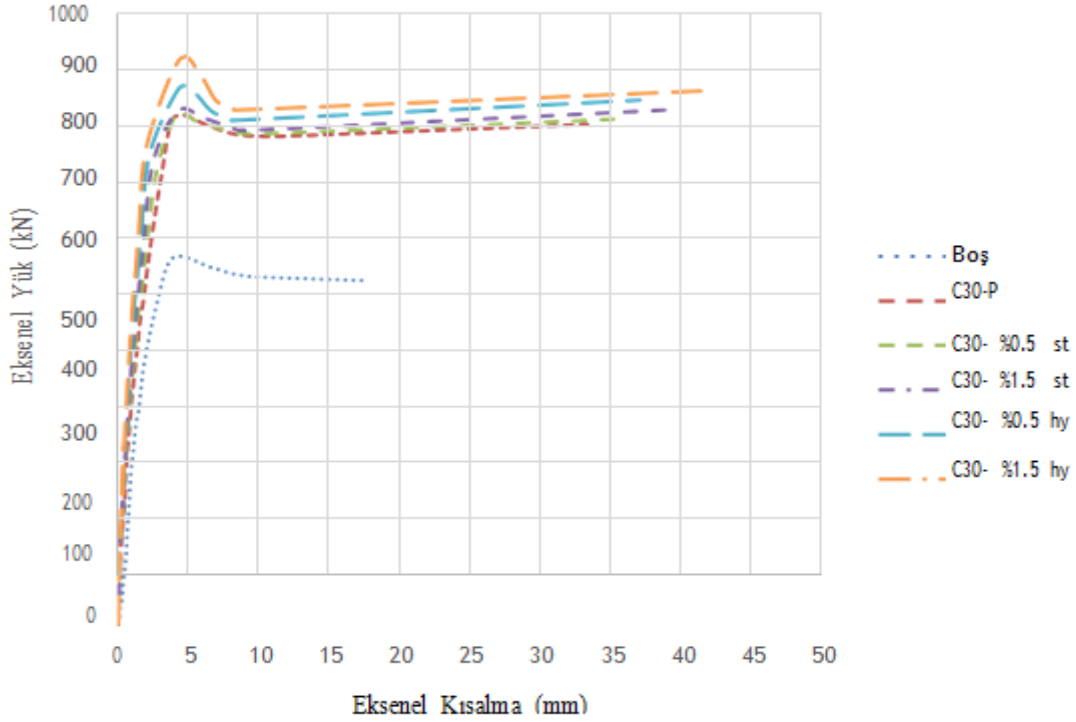


a.



b.

Şekil 4.8. SS-C30 kolonlarına ait eksenel yük- eksenel kısılma grafikleri a. 2 mm kolonlar, b. 3 mm kolonlar.



Şekil 4.9. SS-C30-4MM kolonlarına ait eksenel yük- eksenel kısalma grafiği.

4.2.1. Boş kolonlara ait bulgular

Şekil 4.7 ile Şekil 4.15'te verilen eksenel yük- eksenel kısalma grafikleri incelendiğinde tüm boş AL, CS ve SS kolonlar ilk tepe yükünde maksimum taşıma kapasitelerine (P_{max}) ulaştıkları, tepe yükünden sonra ise gevrek davranış sergiledikleri gözlenmiştir. Boş AL kolonlara göre boş CS ve SS kolonlar daha sünek davranış sergilemiştir. Ayrıca boş SS kolonları CS kolonlarından, CS kolonları ise AL kolonlarından daha yüksek taşıma kapasitelerine sahip oldukları görülmüştür. Örneğin; 2 mm, 3 mm, 4 mm et kalınlığındaki boş AL kolonlarının P_{max} değerleri sırasıyla 84.22 kN, 188.94 kN, 257.95 kN iken CS kolonlarının P_{max} değerleri sırasıyla 209.41 kN, 305.41 kN, 439.2 kN dur. SS kolonlarının P_{max} değerleri ise sırasıyla 332.96 kN, 471.96 kN, 602.96 kN olarak tespit edilmiştir. Ayrıca yukarıda verilen örnekte görüldüğü gibi aynı cins malzemeye sahip kolonlardan et kalınlığı yüksek olan kolonun P_{max} değeri daha yüksektir. Bunun yanı sıra aynı tür malzemeden yapılan kısa boş kolonlarının kolon et kalınlığının artması, kolonların akma kısalması miktarını %1-7 oranında ve kırılma kısalması miktarlarını % 10-20 oranında arttırdığı görülmüştür. AL kolonlarının

en yüksek akma ve kırılma kısılması değerleri 2.27 mm, 9.45 mm; CS kolonlarının en yüksek akma ve kırılma kısılması değerleri 3.07 mm, 15.15 mm; SS kolonlarının en yüksek akma ve kırılma kısılması değerleri 3.84 mm, 17.41 mm olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar kolon malzeme türünün akma kısılması üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını fakat kırılma kısılması miktarında önemli oranda artış sağladığını göstermektedir. Ek olarak üstün malzeme özelliklerine sahip SS kolonları CS ve AL kolonlarından daha yüksek kırılma kısılmasına sahip olduğu ve daha sünek davranış sergilediği görülmüştür.

4.2.2. 30 MPa basınç dayanımında beton doldurulmuş kolonlara ait bulgular

Şekil 4.4 ile Şekil 4.8’de verilen aksenal yük- aksenal kısılma grafikleri incelendiğinde, boş AL, CS ve SS kolonlara 30 MPa basınç dayanımında sade beton doldurulması kolonların tepe yükünü ve kırılma kısılmasını önemli oranda artırmıştır.

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’te verilen grafiklere bakıldığında boş AL kolonlara 30 MPa basınç dayanımında beton doldurulmasının kolonların akma kısılması miktarlarını fazla etkilemediği ancak tepe yükü ve kırılma kısılması miktarında önemli artışlara neden olduğu görülmüştür. Sade C30 beton doldurulması ile boş AL kolonların akma kısılması miktarı 2 mm kalınlıkta %3-4 oranında, 3 mm kalınlıkta %7-8 oranında, 4 mm kalınlıkta %1-2 oranında artmıştır. Sade C30 beton doldurulan AL kolonların tepe yükü miktarı 2 mm kalınlıkta %269 oranında, 3 mm kalınlıkta %138 oranında, 4 mm kalınlıkta %107.7 oranında artmıştır. Aynı şekilde sade C30 beton doldurulması ile boş AL kolonların kırılma kısılma miktarında 2 mm kalınlıkta %100 oranında, 3 mm kalınlıkta %37 oranında, 4 mm kalınlıkta %19 oranında artış sağlamıştır. AL Kolonlara sade beton yerine %0.5 oranında çelik lif katkılı beton doldurulması kırılma kısılması miktarında %15 oranında, 0.5 oranında hibrit lif katkılı beton doldurulması kırılma kısılması miktarında %20 oranında bir artışa neden olmuştur. Lif katkısının %0.5’ten %1.5’e çıkarılması kırılma kısılması miktarında %3-4 oranında bir artış sağlamıştır. Ayrıca betona lif katkısının eklenmesinin AL kolonlarının tepe yükünde %3 civarında önemsiz bir artış sağladığı görülmüştür. Yukarıda verilen tüm değerler göz önüne alındığında boş AL kolonlarına C30 dayanımında beton doldurulmasının en çok 2 mm kalınlıktaki kolonların tepe yükü ve kırılma kısılması miktarlarını olumlu yönde

etkilediği görülmüştür. Et kalınlığı 3 ve 4 mm olan AL kolonlarında alüminyumun köşelerinde meydana gelen erken yırtılmalar nedeniyle kolon tam kapasitede çalışmamıştır. Bundan dolayı 2 mm et kalınlığındaki AL kolonlardaki artış yüzdeleri daha yüksek olmuştur.

Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de verilen grafiklere bakıldığında CS kolonlarının içine C30 dayanımında beton doldurulması tepe yükünde ve kırılma kısılması miktarında önemli oranda artış sağlamıştır. CS-2 mm %139, CS-3 mm kolonda %80, CS-4 mm kolonda %62 oranında tepe yükü artışı olmuştur. Bunun yanı sıra boş CS kolonlarına göre sade C30 dolu kolonlarının kırılma kısılması miktarlarında %50-54 oranında bir artış görülmüştür. Sade beton yerine lif katkılı beton kullanılması ise tepe yükünü %3-4 oranı gibi düşük bir oranda değiştirmiştir. Sade beton yerine %0.5 oranında çelik lif katkılı beton kullanılması CS kolonlarının kırılma kısılması miktarını %10 oranında arttırırken aynı oranda hibrit lif katkılı beton kullanılması ise kırılma kısılması miktarını %15 oranında arttırmıştır. Betondaki lif katkısının arttırılması kolonların kırılma kısılma miktarını %8-15 oranında arttırmıştır. Ek olarak CS kolonlarının beton doldurulmasından sonraki akma kısılması miktarı %3-5 oranında artmıştır.

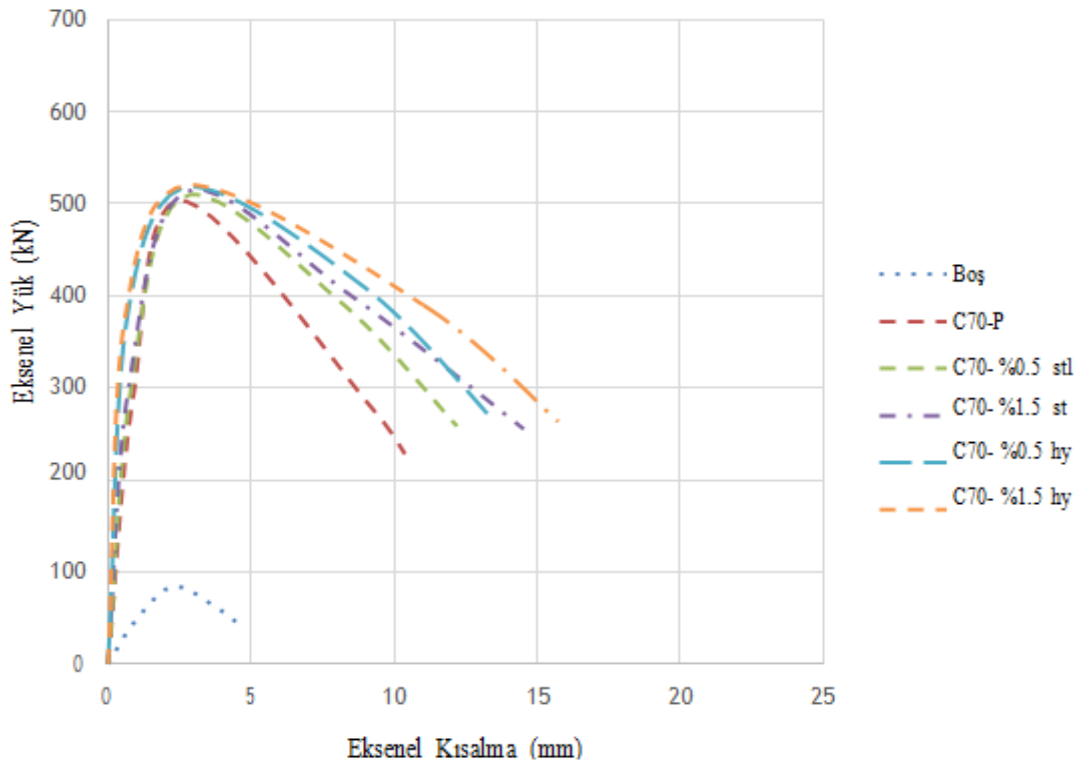
Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’de verilen grafiklere bakıldığında SS kolonlarının içine C30 dayanımında beton doldurulması tepe yükünde ve kırılma kısılması miktarında önemli oranda artış sağlamıştır. SS-2 mm %78, SS-3 mm kolonda %41, CS-4 mm kolonda %41 oranında tepe yükü artışı olmuştur. Bunun yanı sıra boş SS kolonlarına göre sade C30 dolu kolonlarının kırılma kısılması miktarlarında %85-95 oranında bir artış görülmüştür. Sade beton yerine lif katkılı beton kullanılması ise tepe yükünü %1-4 oranı gibi düşük bir oranda değiştirmiştir. Sade beton yerine %0.5 oranında çelik lif katkılı beton kullanılması SS kolonlarının kırılma kısılması miktarını %3-6 oranında arttırırken aynı oranda hibrit lif katkılı beton kullanılması ise kırılma kısılması miktarını %9-12 oranında arttırmıştır. Betondaki lif katkısının arttırılması kolonların kırılma kısılma miktarını %10-15 oranında arttırmıştır. Ek olarak CS kolonlarının beton doldurulmasından sonraki akma kısılması miktarı %4-10 oranında artmıştır.

Sonuç olarak boş kolona 30 MPa basınç dayanımında beton doldurulması kolonun aksenal yük taşıma kapasitesini ve sünekliğini önemli oranda arttırmıştır. Kolon tepe yükündeki artış en fazla AL kolonlarında görülmüştür. Bunun yanında et kalınlığı düşük olan numunelerde tepe yükü artış yüzdesi daha fazla olmuştur. Aynı

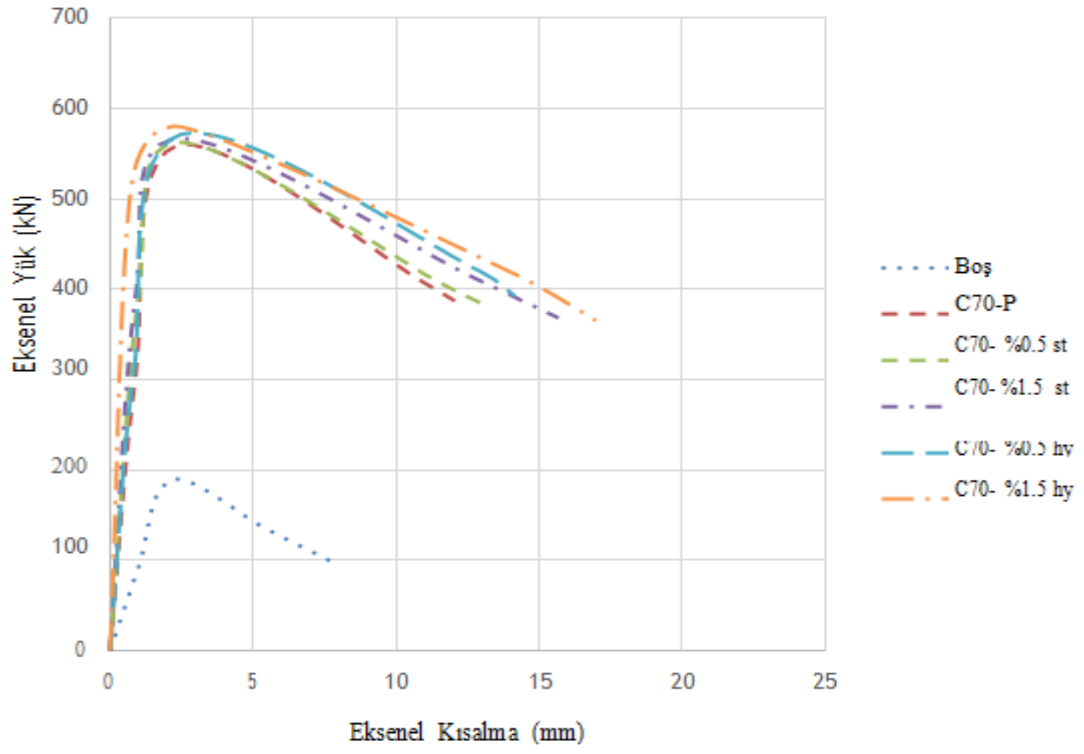
özelliğindeki kolonlarda bakıldığında, kolonlara C30 beton doldurulması kolonların kırılma kısılması miktarlarını önemli oranda artırmıştır. Ancak lif katkılı beton kullanılması sadece tepe yükünden sonraki davranışına olumlu katkısının olduğu ve hibrit lif kullanılması daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. AL kolonlarının erken yırtılması nedeniyle tam kapasitede çalışmadığı buna rağmen süneklik ve dayanımlarının önemli oranda arttığı görülmüştür. Buna ek olarak lif oranının %0.5 ten %1.5 e çıkarılması bu durumu daha belirgin hale getirmiştir.

4.2.3. 70 MPa basınç dayanımında beton doldurulmuş kolonlara ait bulgular

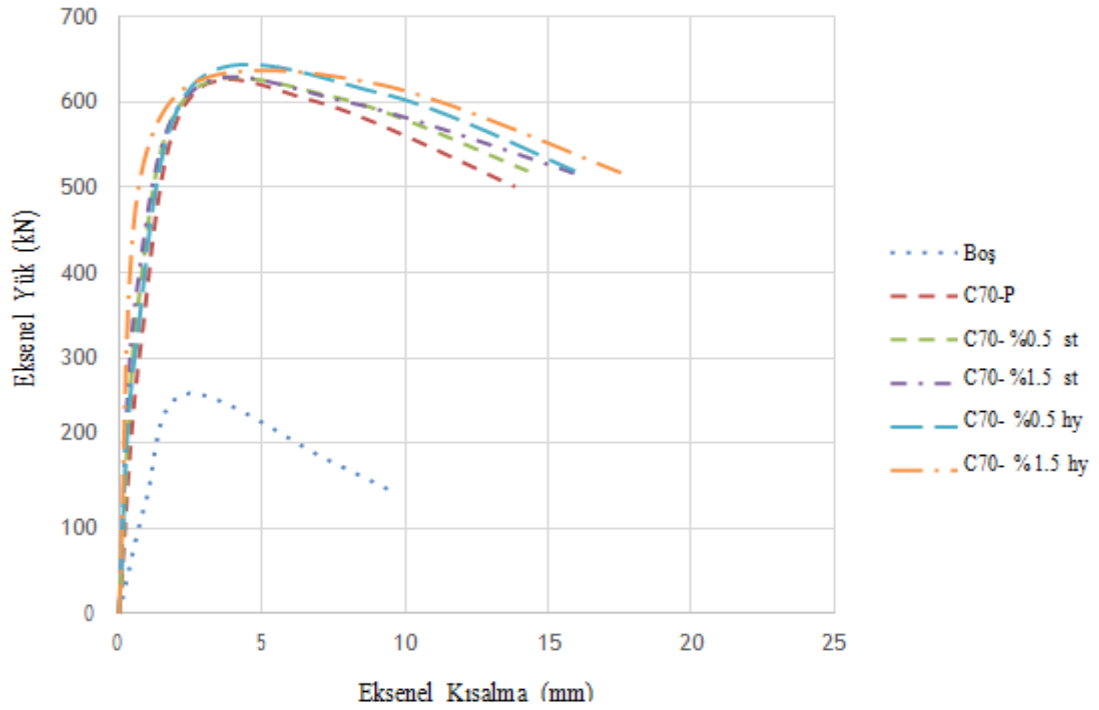
Şekil 4.10 ila Şekil 4.15'te içi sade ve lif katkılı 70 MPa basınç dayanımında beton dolu AL, CS, SS kolonlarına ait eksenel yük- eksenel kısılma grafikleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, boş AL, CS ve SS kolonlara 70 MPa basınç dayanımında sade beton doldurulmasının kolonların tepe yükünü ve kırılma kısılmasını önemli oranda arttırdığı görülmüştür.



Şekil 4.10. AL-C70-2MM kolonlarına ait eksenel yük- eksenel kısılma grafiği.

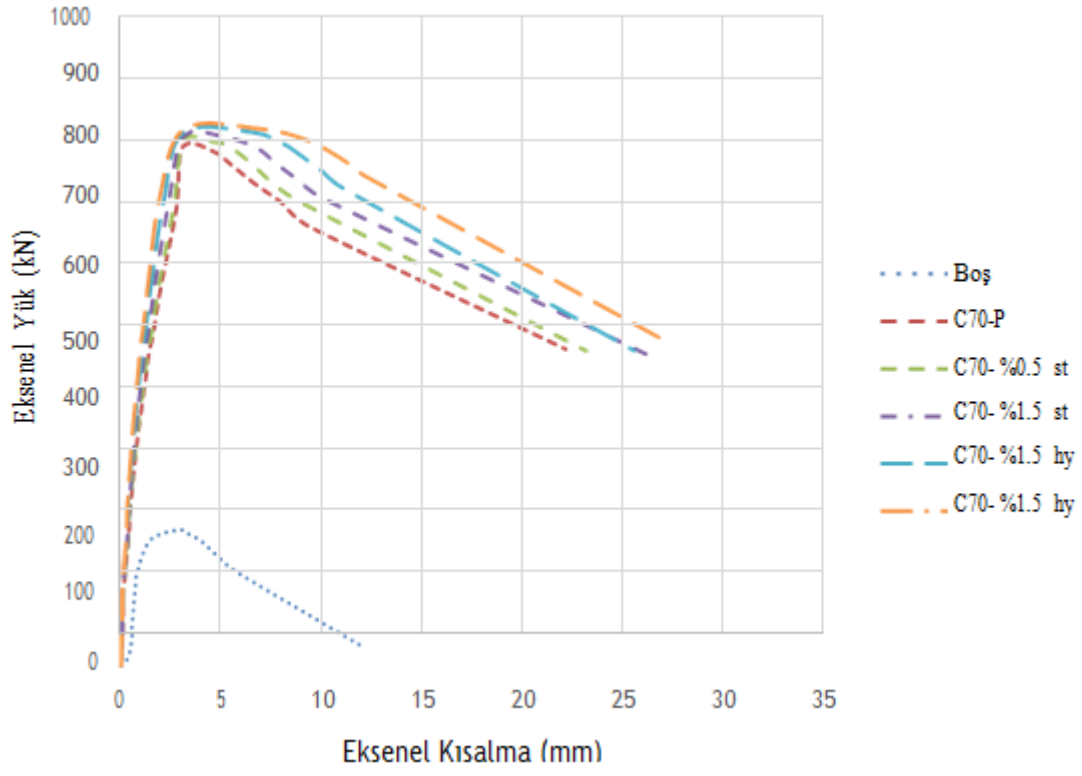


a.

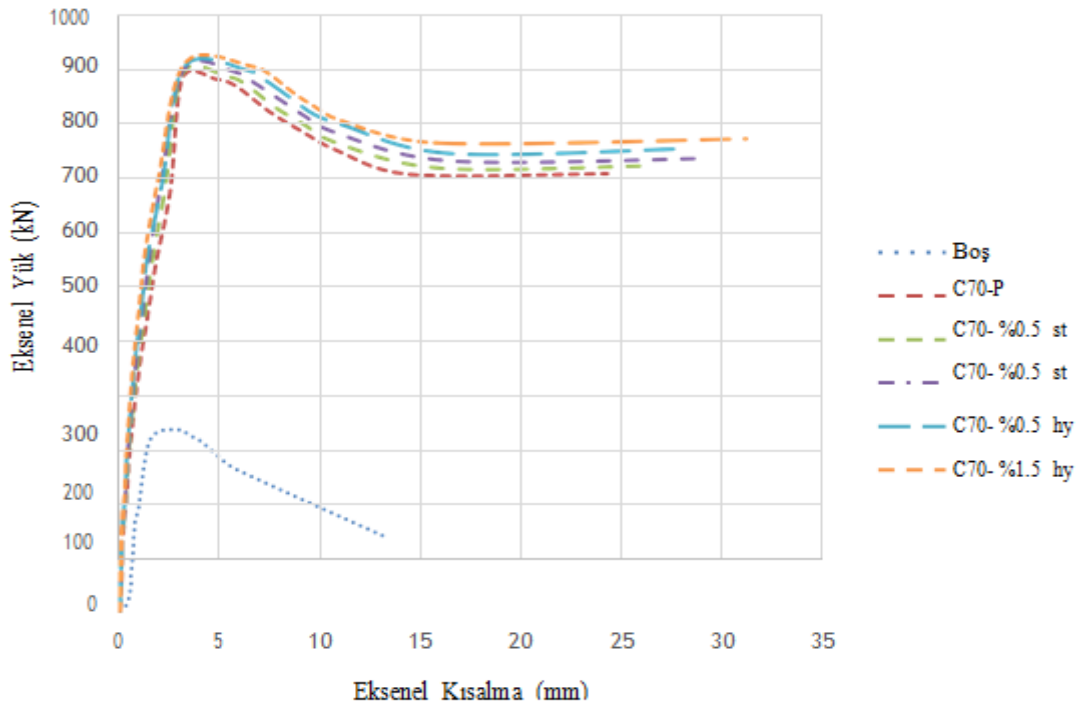


b.

Şekil 4.11. AL-C70 kolonlarına ait eksenel yük- eksenel kısılma grafikleri a. 3 mm kolonlar, b. 4 mm kolonlar.

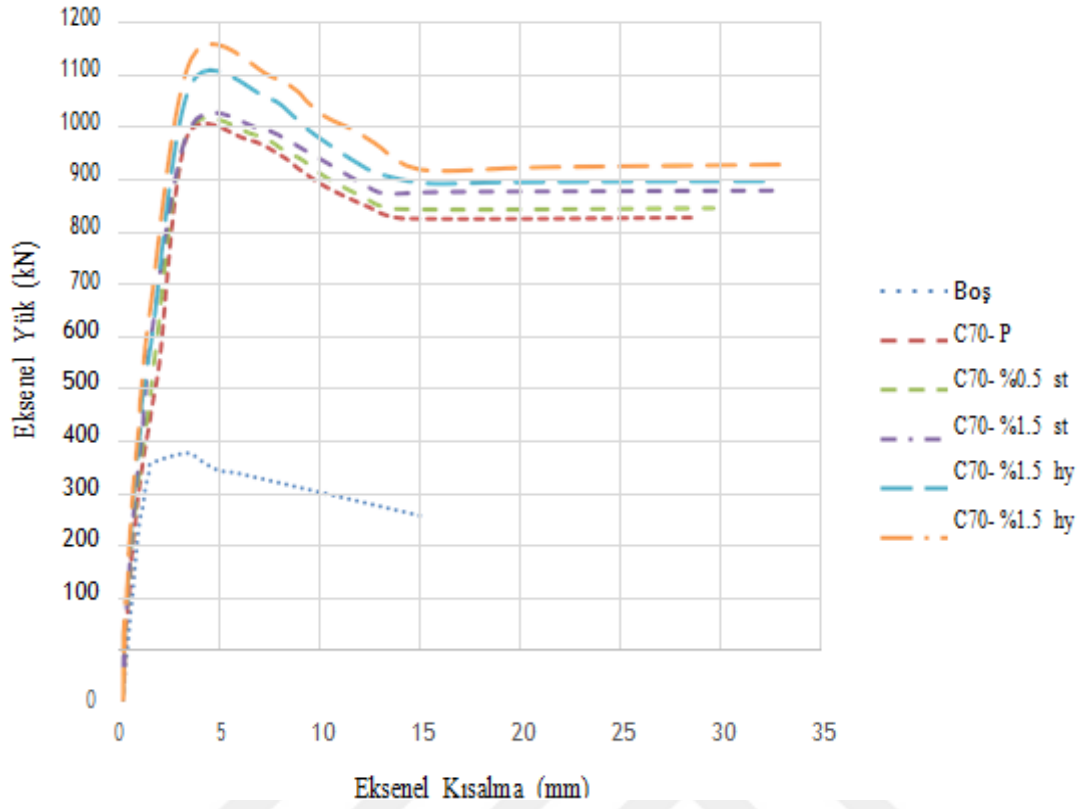


a.

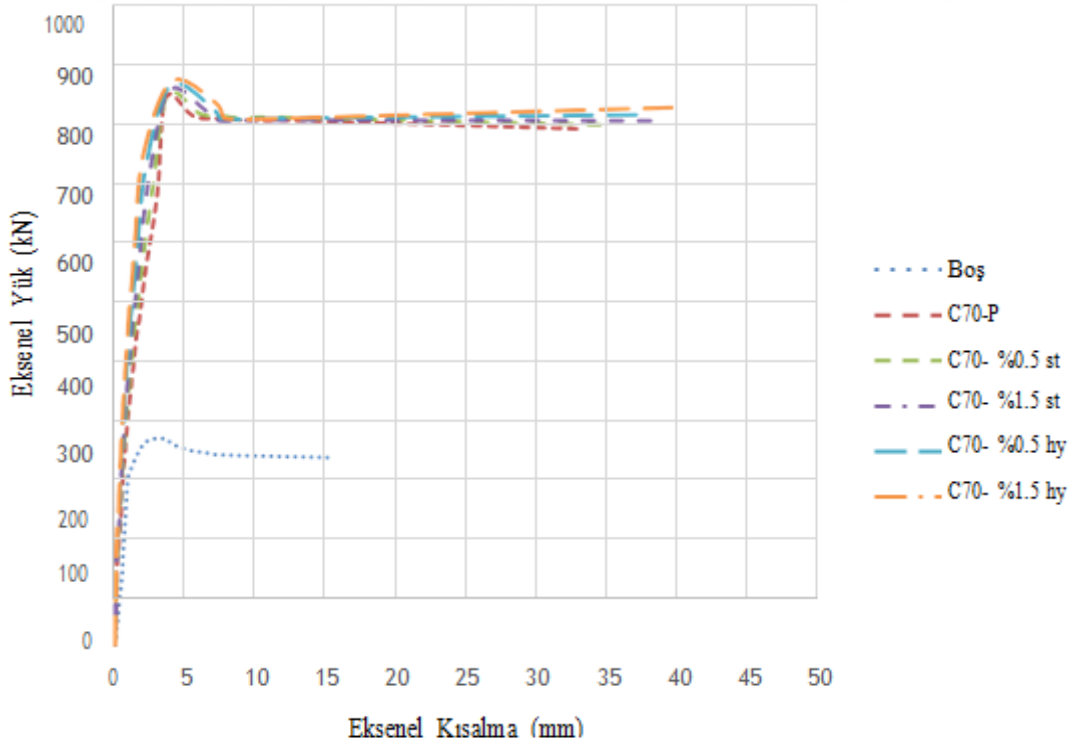


b.

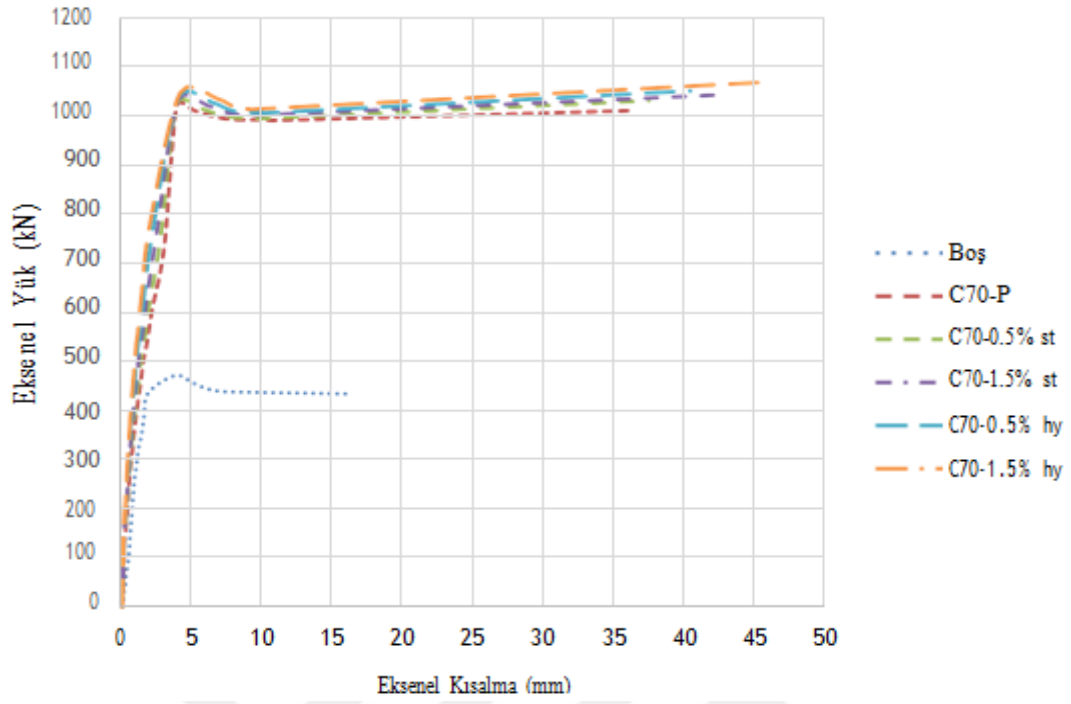
Şekil 4.12. CS-C70 kolonlarına ait eksenel yük- eksenel kısılma grafikleri a. 2 mm kolonlar, b. 3 mm kolonlar.



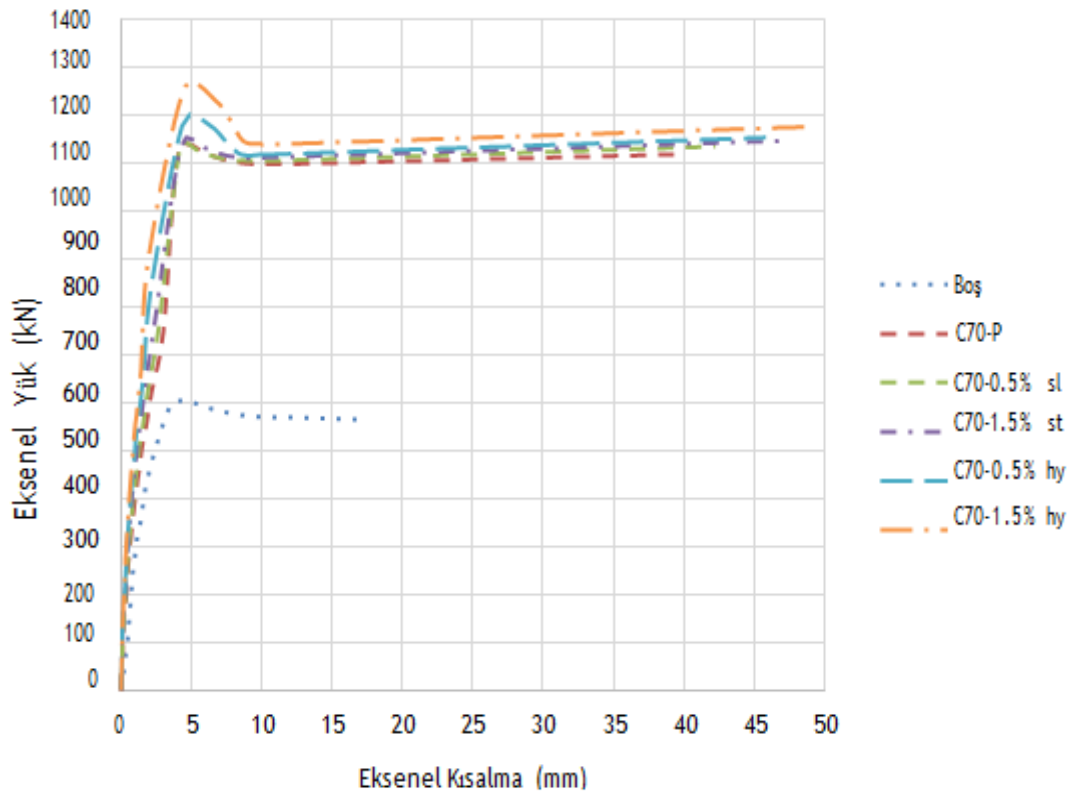
Şekil 4.13. CS-C70-4MM kolonlarına ait eksenel yük- eksenel kısılma grafiği.



Şekil 4.14. SS-C70-2MM kolonlarına ait eksenel yük- eksenel kısılma grafiği.



a.



b.

Şekil 4.15. SS-C70 kolonlarına ait eksenel yük- eksenel kısalma grafikleri a. 3 mm kolonlar, b. 4 mm kolonlar.

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de verilen grafiklere bakıldığında boş AL kolonlara 70 MPa basınç dayanımında beton doldurulmasının kolonların akma kısılması miktarlarını fazla etkilemediği ancak tepe yükü ve kırılma kısılması miktarında önemli artışlara neden olduğu görülmüştür. Sade C30 beton doldurulan AL kolonların tepe yükü miktarı AL-2MM kolonda %499 oranında, AL-3MM kolonda %195 oranında, AL-4MM kolonda %133 oranında artmıştır. Aynı şekilde sade C70 dayanımında beton doldurulması ile boş AL kolonların kırılma kısılma miktarında 2 mm kalınlıktaki kolonda %122 oranında, 3 mm kalınlıktaki kolonda %80 oranında, 4 mm kalınlıkta kolonda %46,5 oranında artış sağlamıştır. AL kolonlara sade beton yerine %0.5 oranında çelik lif katkılı beton doldurulması kırılma kısılması miktarında %17 oranında, %0.5 oranında hibrit lif katkılı beton doldurulması kırılma kısılması miktarında 2 mm kalınlıktaki %35 oranında, 3 mm ve 4 mm kalınlıktaki kolonlarda %14-17 oranında bir artışa neden olmuştur. Lif katkısının %0.5’ten %1.5’e çıkarılması kırılma kısılması miktarında %12-19 oranında bir artış sağlamıştır. Ayrıca betona lif katkısının eklenmesinin AL kolonlarının tepe yükünde %1-2 civarında önemsiz bir artış sağladığı görülmüştür. Yukarıda verilen tüm değerler göz önüne alındığında boş AL kolonlarına C70 dayanımında beton doldurulmasının en çok 2 mm kalınlıktaki kolonların tepe yükü ve kırılma kısılması miktarlarını olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Et kalınlığı 3 ve 4 mm olan AL kolonlarında alüminyumun köşelerinde meydana gelen erken yırtılmalar nedeniyle kolon tam kapasitede çalışmamıştır. Bundan dolayı 2 mm et kalınlığındaki AL kolonlardaki artış yüzdeleri daha yüksek olmuştur.

Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’te verilen grafiklere bakıldığında CS kolonlarının içine C70 dayanımında beton doldurulması tepe yükünde ve kırılma kısılması miktarında önemli oranda artış sağlamıştır. CS-2 mm %195, CS-3 mm kolonda %154, CS-4 mm kolonda %165 oranında tepe yükü artışı olmuştur. Bunun yanı sıra boş CS kolonlarına göre sade C70 dolu kolonlarının kırılma kısılması miktarlarında %85 oranında bir artış görülmüştür. Sade beton yerine lif katkılı beton kullanılması ise tepe yükünü %1-2 oranı gibi düşük bir oranda değiştirmiştir. Sade beton yerine %0.5 oranında çelik lif katkılı beton kullanılması CS kolonlarının kırılma kısılması miktarını %3-7 oranında arttırırken aynı oranda hibrit lif katkılı beton kullanılması ise kırılma kısılması miktarını %12 oranında arttırmıştır. Betondaki lif katkısının arttırılması kolonların kırılma kısılma miktarını %12 oranında arttırmıştır.

Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de verilen grafiklere bakıldığında SS kolonlarının içine C70 dayanımında beton doldurulması tepe yükünde ve kırılma kısalması miktarında önemli oranda artış sağlamıştır. SS-2 mm %165, SS-3 mm kolonda %116, SS-4 mm kolonda %88 oranında tepe yükü artışı olmuştur. Bunun yanı sıra boş SS kolonlarına göre sade C70 doldurulması kolonların kırılma kısalması miktarlarında %122-125 oranında bir artış sağlamıştır. Sade beton yerine lif katkılı beton kullanılması ise tepe yükünü %1-2 oranı gibi düşük bir oranda değiştirmiştir. Sade beton yerine %0.5 oranında çelik lif katkılı beton kullanılması SS kolonlarının kırılma kısalması miktarını %6-8 oranında arttırırken aynı oranda hibrit lif katkılı beton kullanılması ise kırılma kısalması miktarını %12-19 oranında arttırmıştır. Betondaki lif katkısının arttırılması kolonların kırılma kısalma miktarını %8-13 oranında arttırmıştır.

Sonuç olarak yüksek dayanımlı beton kullanılması kolonların aksenal yük taşıma kapasitelerini düşük dayanımlı betona göre önemli oranda arttırmıştır. Beton karışımına liflerin katılması ise kolonların süneklik ve enerji yutma kapasitelerini önemli arttırmıştır. Lif oranının artması ve hibrit liflerin kullanılması daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Lif katkısının en iyi sonuç verdiği kolonlar SS kolonlardır. AL kolonlarında meydana gelen erken kırılmalar nedeniyle lif katkısının tepe yükü sonrası davranışı CS ve SS kolonlarına kıyasla daha azdır.

4.3. Performans İndisleri

Bazı araştırmacılar kompozit kolon numunelerinin süneklik, tokluk ve dayanım gibi özelliklerini daha iyi açıklayabilmek için performans indisleri tanımlamışlardır. Bu indisler; beton katkı indisi (CCR), dayanım artış indisi (SI) ve süneklik indisidir (DI). CCR performans indisine ait denklem, Eş. 4.1’de, SI indisine ait denklem Eş. 4.2’de ve DI indisine ait denklem Eş. 4.3’te verilmiştir. Deney sonuçlarından elde edilen verilerle hesaplanan performans indis değerleri verilmiştir (Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2).

$$CCR = \frac{N_{u,dolu}}{N_{u,boş}} \quad (4.1)$$

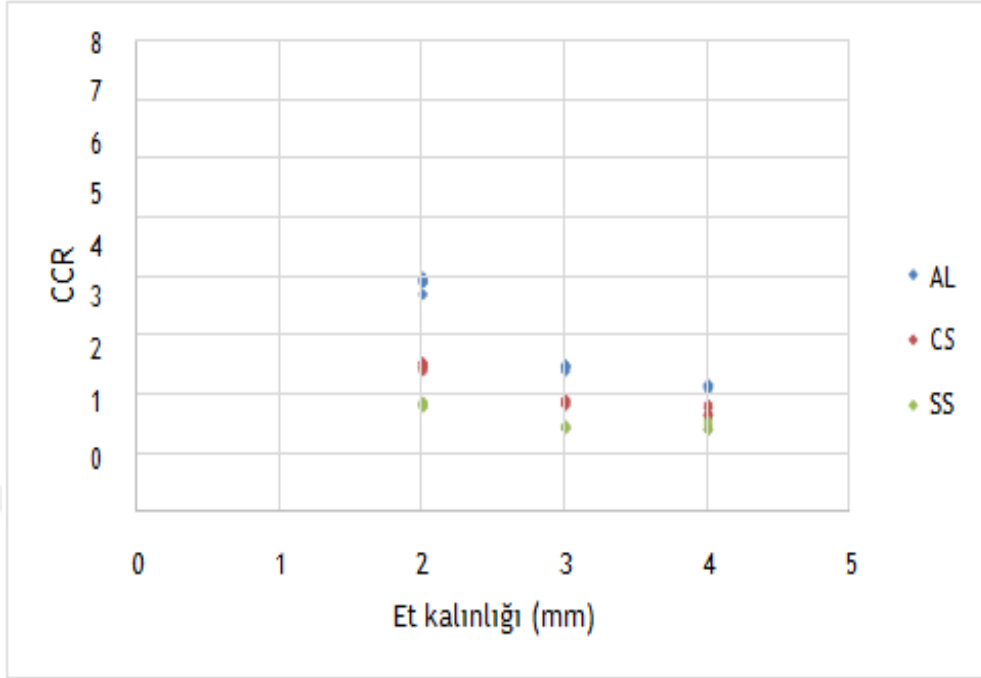
$$SI = \frac{N_{u,dolu}}{A_c f_{ck} + A_s f_y} \quad (4.2)$$

$$DI = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad (4.3)$$

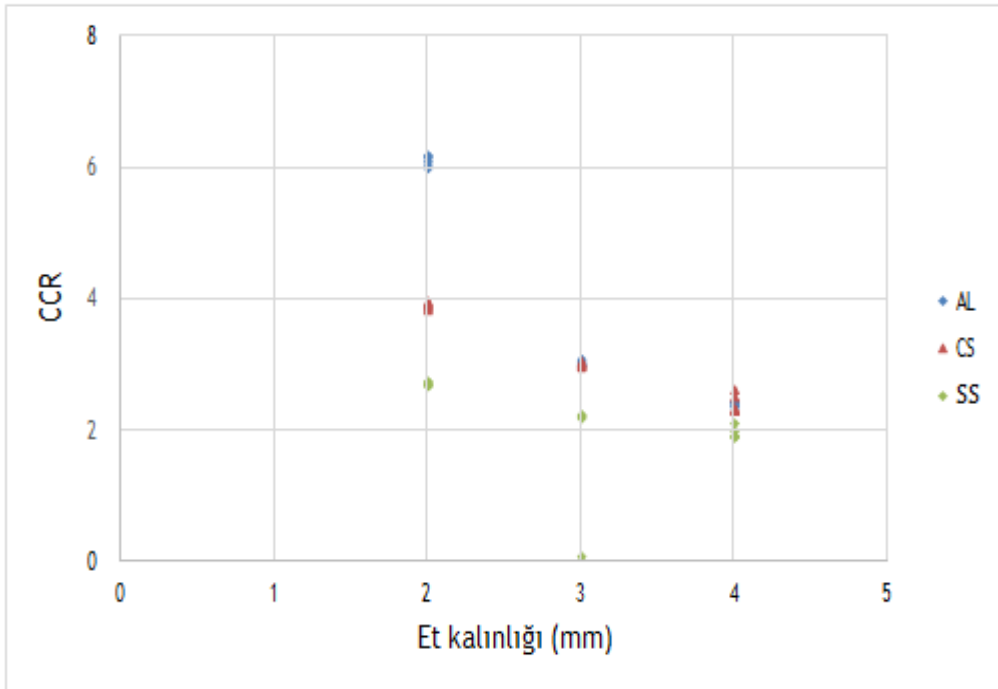
Burada $N_{u, dolu}$ içi beton dolu olan kolonun tepe yükünü, $N_{u, boş}$ içi boş kolonun tepe yükünü göstermektedir. A_c betonunun kesit alanını, A_s çelik ve alüminyum kesit alanını, f_{ck} beton karakteristik dayanımı ve f_y ise çelik akma dayanımını göstermektedir. Ayrıca δ_y akma kısalmasını, δ_u kolon numunesinin kırılma kısalmasını göstermektedir.

4.3.1. CCR İndisi

CCR indisi, içi beton dolu kolonların aksenal yük taşıma kapasitelerinin içi boş kolonların aksenal yük taşıma kapasiteleri oranını gösteren bir parametredir. Çizelge 4.1- Çizelge 4.3 ve Şekil 4.16 daki değerler incelendiğinde aynı et kalınlığına sahip ve içi aynı tür malzeme ile dolu olan kolonlardan en yüksek CCR indisi değeri AL kolonlarda, en düşük CCR değerleri SS kolonlarındadır. AL kolonlarının CCR indis değerlerinin daha yüksek olmasının sebebi; kolon içine beton doldurulması en çok AL kolonlarının aksenal yük taşıma kapasitesini arttırmıştır. Şekil 4.16' daki değerlere bakıldığında aynı özellikteki kolonlardan et kalınlığı düşük olan kolonların CCR indisinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum 2 mm et kalınlığındaki AL kolonlarında daha belirgindir. Çünkü et kalınlığı yüksek olan içi boş ve beton dolu olan kolonların taşıma kapasiteleri arasındaki fark daha azdır. Ek olarak C30 beton dolu kolonlara göre C70 beton dolu kolonların CCR değerleri daha yüksektir. 30 MPa basınç dayanımında beton dolu AL, CS ve SS kolonlarının CCR değerleri sırasıyla 2.08-3.98, 1.62-2.54, 1.38-1.86 aralığında iken 70 MPa basınç dayanımında beton dolu AL, CS ve SS kolonlarının CCR değerleri 2.34-6.18, 2.28-3.95-2.73-1.88 aralığında çıkmıştır. Sade beton dolu kolonlar ile lif katkılı beton dolu kolonlar incelendiğinde lif çeşidi ve lif yüzdesinin CCR indislerinde sınırlı bir artışa neden olduğu görülmüştür. Ancak az da olsa aynı özellikte ve aynı oranda lif katkısına sahip kolonlardan hibrit lif katkılı olan kolonlar, çelik lif katkılı olan kolonlardan daha yüksek CCR indis değerine sahiptir. Lif oranının artması da aynı şekilde az da olsa CCR indis değerini arttırmıştır. Sonuç olarak, CCR indisine etki eden parametreler kolon malzeme türü, kolon et kalınlığı ve kolon içine konulan beton dayanım sınıfına bağlı olduğu görülmüştür. Aynı özellikteki kolonlarda yüksek CCR indisleri AL kolonlarına aittir. Sade beton yerine lif katkılı beton kullanılması AL, CS, SS kolonlarının tepe yükünü önemli oranda arttırmamasından dolayı CCR indisine etkisi az olmuştur.



a.



b.

Şekil 4.16. AL, CS, SS kolonlarına ait CCR indisi grafikleri a. C30 doldurulmuş kolonlar, b.C70 doldurulmuş kolonlar.

Çizelge 4.1. AL kolonlarının deney sonuçları

Kolon Adı	Tepe Yüğü (kN)	Akma Kısalması (δ_y)	Kırılma Kısalması (δ_u)	DI	CCR
AL-BOŞ-2MM	84,22	2,08	4,5	2,16	
AL-C30-P-2MM	310,78	2,15	9,02	4,2	3,69
AL-C30-2MM-St0.5%	326,96	2,19	10,4	4,75	3,88
AL-C30-2MM-St1.5%	329,96	2,27	12,41	5,47	3,92
AL-C30-2MM-Hy0.5%	332,58	2,2	11,62	5,28	3,95
AL-C30-2MM-Hy1.5%	335,58	2,34	13,3	5,68	3,98
AL-BOŞ-3MM	188,94	2,12	7,75	3,66	
AL-C30-P-3MM	450,67	2,28	10,61	4,65	2,39
AL-C30-3MM-St0.5%	462,67	2,3	11,42	4,97	2,45
AL-C30-3MM-St1.5%	459,67	2,39	13,16	5,51	2,43
AL-C30-3MM-Hy0.5%	469,95	2,38	12,38	5,2	2,49
AL-C30-3MM-Hy1.5%	470,93	2,45	14,86	6,07	2,49
AL-BOŞ-4MM	257,5	2,27	9,45	4,16	
AL-C30-P-4MM	535,02	2,3	11,25	4,89	2,08
AL-C30-4MM-St0.5%	551,57	2,39	12,94	5,41	2,14
AL-C30-4MM-St1.5%	545,74	2,58	14,77	5,72	2,12
AL-C30-4MM-Hy0.5%	553,14	2,47	13,33	5,4	2,15
AL-C30-4MM-Hy1.5%	555,14	2,71	15,27	5,63	2,16
AL-BOŞ-2MM	84,22	2,08	4,5	2,16	
AL-C70-P-2MM	503,65	2,58	10,02	3,88	5,98
AL-C70-2MM-St0.5%	508,54	2,67	12,19	4,57	6,04
AL-C70-2MM-St1.5%	513,574	2,81	14,53	5,17	6,1
AL-C70-2MM-Hy0.5%	518,54	2,73	13,48	4,94	6,16
AL-C70-2MM-Hy1.5%	520,41	2,89	15,73	5,44	6,18
AL-BOŞ-3MM	188,94	2,12	7,75	3,66	
AL-C70-P-3MM	558,41	2,31	12,05	5,22	2,96
AL-C70-3MM-St0.5%	562,41	2,38	13,95	5,86	2,98
AL-C70-3MM-St1.5%	566,17	2,48	15,67	6,32	3
AL-C70-3MM-Hy0.5%	571,23	2,41	14,15	5,87	3,02
AL-C70-3MM-Hy1.5%	579,37	2,51	16,97	6,76	3,07
AL-BOŞ-4MM	257,5	2,27	9,45	4,16	
AL-C70-P-4MM	601,41	2,38	13,85	5,82	2,34
AL-C70-4MM-St0.5%	608,74	2,41	14,29	5,93	2,36
AL-C70-4MM-St1.5%	612,96	2,59	16,26	6,28	2,38
AL-C70-4MM-Hy0.5%	620,22	2,52	15,94	6,33	2,41
AL-C70-4MM-Hy1.5%	623,63	2,63	17,55	6,67	2,42

Çizelge 4.2. CS kolonlarının deney sonuçları

Kolon Adı	Tepe Yüğü (kN)	Akma Kısalması (δ_y)	Kırılma Kısalması (δ_u)	DI	CCR
CS-BOŞ-2MM	209,41	2,94	12,01	4,09	
CS-C30-P-2MM	500,28	3,01	18,12	6,02	2,39
CS-C30-2MM-St0.5%	510,44	3,12	19,74	6,37	2,44
CS-C30-2MM-St1.5%	517,65	3,1	21,54	6,9	2,47
CS-C30-2MM-Hy0.5%	524,94	3,17	23,15	7,3	2,51
CS-C30-2MM-Hy1.5%	531,3	3,19	25,56	8,01	2,54
CS-BOŞ-3MM	305,41	2,99	13,22	4,42	
CS-C30-P-3MM	552,45	3,1	20,41	6,58	1,81
CS-C30-3MM-St0.5%	561,7	3,13	22,12	7,07	1,84
CS-C30-3MM-St1.5%	569,01	3,27	25,45	7,78	1,86
CS-C30-3MM-Hy0.5%	575,4	3,21	23,52	7,33	1,88
CS-C30-3MM-Hy1.5%	582,87	3,29	27,17	8,26	1,91
CS-BOŞ-4MM	395,2	3,07	15,15	4,93	
CS-C30-P-4MM	712,7	3,14	23,17	7,38	1,62
CS-C30-4MM-St0.5%	719,01	3,18	24,41	7,68	1,64
CS-C30-4MM-St1.5%	725,24	3,21	26,41	8,23	1,65
CS-C30-4MM-Hy0.5%	772,07	3,19	25,45	7,98	1,76
CS-C30-4MM-Hy1.5%	799,19	3,23	27,36	8,47	1,82
CS-BOŞ-2MM	209,41	2,94	12,01	4,09	
CS-C70-P-2MM	800,65	3,08	22,12	7,18	3,82
CS-C70-2MM-St0.5%	808,98	3,09	23,13	7,49	3,86
CS-C70-2MM-St1.5%	815,34	3,1	26,9	8,68	3,89
CS-C70-2MM-Hy0.5%	821,72	3,09	25,52	8,26	3,92
CS-C70-2MM-Hy1.5%	827,13	3,13	27,11	8,66	3,95
CS-BOŞ-3MM	305,41	2,99	13,22	4,42	
CS-C70-P-3MM	900,8	3,1	24,44	7,88	2,95
CS-C70-3MM-St0.5%	907,17	3,11	26,12	8,4	2,97
CS-C70-3MM-St1.5%	914,57	3,2	29,1	9,09	2,99
CS-C70-3MM-Hy0.5%	919	3,17	28,2	8,9	3,01
CS-C70-3MM-Hy1.5%	924,45	3,22	31,19	9,69	3,03
CS-BOŞ-4MM	395,2	3,07	15,15	4,93	
CS-C70-P-4MM	1003,01	3,18	28,41	8,93	2,28
CS-C70-4MM-St0.5%	1010,93	3,21	29,22	9,1	2,3
CS-C70-4MM-St1.5%	1018,89	3,36	32,75	9,75	2,32
CS-C70-4MM-Hy0.5%	1094,89	3,33	31,89	9,58	2,49
CS-C70-4MM-Hy1.5%	1141,95	3,4	33,15	9,75	2,6

Çizelge 4.3. SS kolonlarının deney sonuçları

Kolon Adı	Tepe Yüğü (kN)	Akma Kısalması (δ_y)	Kırılma Kısalması (δ_u)	DI	CCR
SS-BOŞ-2MM	332,96	3,54	15,25	4,31	
SS-C30-P-2MM	591,63	3,71	28,3	7,63	1,78
SS-C30-2MM-St0.5%	598,94	3,81	29,97	7,87	1,8
SS-C30-2MM-St1.5%	605,33	4	32,56	8,14	1,82
SS-C30-2MM-Hy0.5%	611,79	3,93	31,07	7,91	1,84
SS-C30-2MM-Hy1.5%	619,33	4,09	34,89	8,53	1,86
SS-BOŞ-3MM	471,98	3,74	16,38	4,38	
SS-C30-P-3MM	662,6	3,79	30,3	7,99	1,4
SS-C30-3MM-St0.5%	669,74	3,82	31,47	8,24	1,42
SS-C30-3MM-St1.5%	674,04	4,09	36,37	8,89	1,43
SS-C30-3MM-Hy0.5%	681,52	3,94	33,52	8,51	1,44
SS-C30-3MM-Hy1.5%	690,17	4,15	38,03	9,16	1,46
SS-BOŞ-4MM	590,94	3,85	17,41	4,52	
SS-C30-P-4MM	834,22	3,92	33,3	8,49	1,38
SS-C30-4MM-St0.5%	839,06	4,07	35,27	8,67	1,39
SS-C30-4MM-St1.5%	845,12	4,28	39,64	9,26	1,4
SS-C30-4MM-Hy0.5%	882,4	4,17	37,04	8,88	1,46
SS-C30-4MM-Hy1.5%	929,9	4,32	41,97	9,72	1,54
SS-BOŞ-2MM	332,96	3,54	15,25	4,31	
SS-C70-P-2MM	884,26	3,61	33,3	9,22	2,66
SS-C70-2MM-St0.5%	889,18	3,73	35,47	9,51	2,67
SS-C70-2MM-St1.5%	895,41	3,92	38,37	9,79	2,69
SS-C70-2MM-Hy0.5%	902,93	3,83	37,52	9,8	2,71
SS-C70-2MM-Hy1.5%	909,77	4,03	40,03	9,93	2,73
SS-BOŞ-3MM	471,98	3,74	16,38	4,38	
SS-C70-P-3MM	1023,74	3,89	36,3	9,33	2,17
SS-C70-3MM-St0.5%	1028,05	3,9	37,47	9,61	2,18
SS-C70-3MM-St1.5%	1034,52	4,02	42,18	10,49	2,19
SS-C70-3MM-Hy0.5%	1040,17	3,97	40,42	10,18	2,2
SS-C70-3MM-Hy1.5%	1047,99	4,12	45,76	11,11	2,22
SS-BOŞ-4MM	590,94	3,85	17,41	4,52	
SS-C70-P-4MM	1131,82	4,12	39,3	9,54	1,88
SS-C70-4MM-St0.5%	1138,66	4,22	42,27	10,02	1,89
SS-C70-4MM-St1.5%	1145,75	4,48	47,06	10,5	1,9
SS-C70-4MM-Hy0.5%	1192,09	4,31	45,84	10,64	1,98
SS-C70-4MM-Hy1.5%	1260,54	4,53	49,05	10,83	2,09

4.3.2. SI İndisi

Basınç deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan dayanım artış indisi (SI) değerleri aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.4- Çizelge 4.6).

Çizelge 4.4. AL kolonlarının SI değerleri

Numune Adı	H x B (mm x mm)	t (mm)	f_{ck} (MPa)	f_y (MPa)	Ac	As	Axial load (N)	SI
AL-BOŞ-2MM	100,14	2,02	-	168	10028	400	84220	
AL-C30-P-2MM	100,14	2,02	30,0	168	10028	400	310780	0,84
AL-C30-2MM-St0.5%	100,14	2,02	30,0	168	10028	400	326960	0,89
AL-C30-2MM-St1.5%	100,14	2,02	30,0	168	10028	400	329960	0,90
AL-C30-2MM-Hy0.5%	100,14	2,02	30,0	168	10028	400	332580	0,90
AL-C30-2MM-Hy1.5%	100,14	2,02	30,0	168	10028	400	335580	0,91
AL-BOŞ-3MM	100,12	3,04	-	156	10024	599	188940	
AL-C30-P-3MM	100,12	3,04	30,0	156	10024	599	450670	1,14
AL-C30-3MM-St0.5%	100,12	3,04	30,0	156	10024	599	462670	1,17
AL-C30-3MM-St1.5%	100,12	3,04	30,0	156	10024	599	459670	1,17
AL-C30-3MM-Hy0.5%	100,12	3,04	30,0	156	10024	599	469950	1,19
AL-C30-3MM-Hy1.5%	100,12	3,04	30,0	156	10024	599	470930	1,19
AL-BOŞ-4MM	100,21	4,03	-	162	10042	791	257500	
AL-C30-P-4MM	100,21	4,03	30,0	162	10042	791	535020	1,25
AL-C30-4MM-St0.5%	100,21	4,03	30,0	162	10042	791	551570	1,28
AL-C30-4MM-St1.5%	100,21	4,03	30,0	162	10042	791	545740	1,27
AL-C30-4MM-Hy0.5%	100,21	4,03	30,0	162	10042	791	553140	1,29
AL-C30-4MM-Hy1.5%	100,21	4,03	30,0	162	10042	791	555140	1,29
AL-BOŞ-2MM	100,14	2,02	-	168	10028	400	84220	
AL-C70-P-2MM	100,14	2,02	70,0	168	10028	400	503650	0,65
AL-C70-2MM-St0.5%	100,14	2,02	70,0	168	10028	400	508540	0,66
AL-C70-2MM-St1.5%	100,14	2,02	70,0	168	10028	400	513574	0,67
AL-C70-2MM-Hy0.5%	100,14	2,02	70,0	168	10028	400	518540	0,67
AL-C70-2MM-Hy1.5%	100,14	2,02	70,0	168	10028	400	520410	0,68
AL-BOŞ-3MM	100,12	3,04	-	156	10024	599	188940	
AL-C70-P-3MM	100,12	3,04	70,0	156	10024	599	558410	0,70
AL-C70-3MM-St0.5%	100,12	3,04	70,0	156	10024	599	562410	0,71
AL-C70-3MM-St1.5%	100,12	3,04	70,0	156	10024	599	566170	0,71
AL-C70-3MM-Hy0.5%	100,12	3,04	70,0	156	10024	599	571230	0,72
AL-C70-3MM-Hy1.5%	100,12	3,04	70,0	156	10024	599	579370	0,73
AL-BOŞ-4MM	100,21	4,03	-	162	10042	791	257950	
AL-C70-P-4MM	100,21	4,03	70,0	162	10042	791	601410	0,72
AL-C70-4MM-St0.5%	100,21	4,03	70,0	162	10042	791	608740	0,73
AL-C70-4MM-St1.5%	100,21	4,03	70,0	162	10042	791	612960	0,74
AL-C70-4MM-Hy0.5%	100,21	4,03	70,0	162	10042	791	620220	0,75
AL-C70-4MM-Hy1.5%	100,21	4,03	70,0	162	10042	791	623630	0,75

Çizelge 4.5. CS kolonlarının SI değerleri

Numune Adı	H x B (mm x mm)	t (mm)	f _{ck} (MPa)	f _y (MPa)	Ac	As	Axial load (N)	SI
CS-BOŞ-2MM	100,06	2,05	-	230	10012	406	209410	
CS-C30-P-2MM	100,06	2,05	30,0	230	10012	406	500280	1,27
CS-C30-2MM-St0.5%	100,06	2,05	30,0	230	10012	406	510440	1,30
CS-C30-2MM-St1.5%	100,06	2,05	30,0	230	10012	406	517650	1,31
CS-C30-2MM-Hy0.5%	100,06	2,05	30,0	230	10012	406	524940	1,33
CS-C30-2MM-Hy1.5%	100,06	2,05	30,0	230	10012	406	531300	1,35
CS-BOŞ-3MM	100,11	3,04	-	227	10022	599	305410	
CS-C30-P-3MM	100,11	3,04	30,0	227	10022	599	552450	1,26
CS-C30-3MM-St0.5%	100,11	3,04	30,0	227	10022	599	561700	1,29
CS-C30-3MM-St1.5%	100,11	3,04	30,0	227	10022	599	569010	1,30
CS-C30-3MM-Hy0.5%	100,11	3,04	30,0	227	10022	599	575400	1,32
CS-C30-3MM-Hy1.5%	100,11	3,04	30,0	227	10022	599	582870	1,33
CS-BOŞ-4MM	100,18	4,06	-	234	10036	797	439200	
CS-C30-P-4MM	100,18	4,06	30,0	234	10036	797	712700	1,46
CS-C30-4MM-St0.5%	100,18	4,06	30,0	234	10036	797	719010	1,47
CS-C30-4MM-St1.5%	100,18	4,06	30,0	234	10036	797	725240	1,49
CS-C30-4MM-Hy0.5%	100,18	4,06	30,0	234	10036	797	772070	1,58
CS-C30-4MM-Hy1.5%	100,18	4,06	30,0	234	10036	797	799190	1,64
CS-BOŞ-2MM	100,06	2,05	-	230	10012	406	209410	
CS-C70-P-2MM	100,06	2,05	70,0	230	10012	406	800650	1,01
CS-C70-2MM-St0.5%	100,06	2,05	70,0	230	10012	406	808980	1,02
CS-C70-2MM-St1.5%	100,06	2,05	70,0	230	10012	406	815340	1,03
CS-C70-2MM-Hy0.5%	100,06	2,05	70,0	230	10012	406	821720	1,03
CS-C70-2MM-Hy1.5%	100,06	2,05	70,0	230	10012	406	827130	1,04
CS-BOŞ-3MM	100,11	3,04	-	227	10022	599	305410	
CS-C70-P-3MM	100,11	3,04	70,0	227	10022	599	900800	1,08
CS-C70-3MM-St0.5%	100,11	3,04	70,0	227	10022	599	907170	1,08
CS-C70-3MM-St1.5%	100,11	3,04	70,0	227	10022	599	914570	1,09
CS-C70-3MM-Hy0.5%	100,11	3,04	70,0	227	10022	599	919000	1,10
CS-C70-3MM-Hy1.5%	100,11	3,04	70,0	227	10022	599	924450	1,10
CS-BOŞ-4MM	100,18	4,06	-	234	10036	797	439200	
CS-C70-P-4MM	100,18	4,06	70,0	234	10036	797	1003010	1,13
CS-C70-4MM-St0.5%	100,18	4,06	70,0	234	10036	797	1010930	1,14
CS-C70-4MM-St1.5%	100,18	4,06	70,0	234	10036	797	1018890	1,15
CS-C70-4MM-Hy0.5%	100,18	4,06	70,0	234	10036	797	1094890	1,23
CS-C70-4MM-Hy1.5%	100,18	4,06	70,0	234	10036	797	1141950	1,28

Çizelge 4.6. CS kolonlarının SI değerleri

Numune Adı	H x B (mm x mm)	t (mm)	f _{ck} (MPa)	f _y (MPa)	Ac	As	Axial load (N)	SI
SS-BOŞ-2MM	100,20	2,03	-	282	10040	403	332960	
SS-C30-P-2MM	100,20	2,03	30,0	282	10040	403	591630	1,43
SS-C30-2MM-St0.5%	100,20	2,03	30,0	282	10040	403	598940	1,44
SS-C30-2MM-St1.5%	100,20	2,03	30,0	282	10040	403	605330	1,46
SS-C30-2MM-Hy0.5%	100,20	2,03	30,0	282	10040	403	611790	1,48
SS-C30-2MM-Hy1.5%	100,20	2,03	30,0	282	10040	403	619330	1,49
SS-BOŞ-3MM	100,05	3,01	-	276	10010	593	471980	
SS-C30-P-3MM	100,05	3,01	30,0	276	10010	593	662600	1,43
SS-C30-3MM-St0.5%	100,05	3,01	30,0	276	10010	593	669740	1,44
SS-C30-3MM-St1.5%	100,05	3,01	30,0	276	10010	593	674040	1,45
SS-C30-3MM-Hy0.5%	100,05	3,01	30,0	276	10010	593	681520	1,47
SS-C30-3MM-Hy1.5%	100,05	3,01	30,0	276	10010	593	690170	1,49
SS-BOŞ-4MM	100,12	4,06	-	290	10024	796	602940	
SS-C30-P-4MM	100,12	4,06	30,0	290	10024	796	834220	1,57
SS-C30-4MM-St0.5%	100,12	4,06	30,0	290	10024	796	839060	1,58
SS-C30-4MM-St1.5%	100,12	4,06	30,0	290	10024	796	845120	1,59
SS-C30-4MM-Hy0.5%	100,12	4,06	30,0	290	10024	796	882400	1,66
SS-C30-4MM-Hy1.5%	100,12	4,06	30,0	290	10024	796	929900	1,75
SS-BOŞ-2MM	100,02	2,03	-	282	10004	402	332960	
SS-C70-P-2MM	100,02	2,03	70,0	282	10004	402	884260	1,09
SS-C70-2MM-St0.5%	100,02	2,03	70,0	282	10004	402	889180	1,09
SS-C70-2MM-St1.5%	100,02	2,03	70,0	282	10004	402	895410	1,10
SS-C70-2MM-Hy0.5%	100,02	2,03	70,0	282	10004	402	902930	1,11
SS-C70-2MM-Hy1.5%	100,02	2,03	70,0	282	10004	402	909770	1,12
SS-BOŞ-3MM	100,05	3,01	-	276	10010	593	471960	
SS-C70-P-3MM	100,05	3,01	70,0	276	10010	593	1023740	1,18
SS-C70-3MM-St0.5%	100,05	3,01	70,0	276	10010	593	1028050	1,19
SS-C70-3MM-St1.5%	100,05	3,01	70,0	276	10010	593	1034520	1,20
SS-C70-3MM-Hy0.5%	100,05	3,01	70,0	276	10010	593	1040170	1,20
SS-C70-3MM-Hy1.5%	100,05	3,01	70,0	276	10010	593	1047990	1,21
SS-BOŞ-4MM	100,12	4,06	-	290	10024	796	602960	
SS-C70-P-4MM	100,12	4,06	70,0	290	10024	796	1131820	1,21
SS-C70-4MM-St0.5%	100,12	4,06	70,0	290	10024	796	1138660	1,22
SS-C70-4MM-St1.5%	100,12	4,06	70,0	290	10024	796	1145750	1,23
SS-C70-4MM-Hy0.5%	100,12	4,06	70,0	290	10024	796	1192090	1,28
SS-C70-4MM-Hy1.5%	100,12	4,06	70,0	290	10024	796	1260540	1,35

Kısa kompozit kolonların özelliklerini belirleyebilmek amacıyla kullanılan bir diğer parametre dayanım artış indisidir (SI). SI indisi, içi beton dolu kolonun taşıdığı maksimum aksenal yükün beton ve çeliğin toplam taşıma kapasitelerine bölümü ile elde edilir.

Çizelge 4.4, Çizelge 4.5, Çizelge 4.6'da verilen değerlere bakıldığında SI indis değerleri en yüksek olan SS kolonlarıdır. En düşük SI değerleri AL kolonlarında çıkmıştır. AL kolonlarının SI indis değerlerinin görece SS ve CS kolonlarından daha düşük çıkmasının ana nedeni AL kolonlarında erken yırtılma olması ve kompozit AL kolonlarının tam kapasitede çalışmamasıdır. İçi C30 beton dolu SS kolonlarda en yüksek SI indis değeri 1.75, CS kolonlarda 1.64 ve AL kolonlarda ise 1.29 olarak görülmüştür. İçi C70 beton dolu SS kolonlarda en yüksek SI indis değeri 1.35, CS kolonlarda 1.28 ve AL kolonlarda ise 0.75 olarak görülmüştür. C70 beton kullanılması kolonların SI değerlerini düşürmüştür. Ayrıca çizelgelerdeki SI değerlerine bakıldığında çelik tüp et kalınlığının artmasının SI indisinde artışa neden olduğu görülmüştür. Çünkü et kalınlığı artan çelik ve alüminyum kolonlar daha yüksek taşıma kapasitelerine sahiptirler ve daha sünek davranış sergilemektedirler. Bunun yanı sıra Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.6'teki değerler incelendiğinde lif katkı türü ve yüzdesinin kolonların SI değerlerine etkisinin sınırlı olduğu görülmektedir. Örneğin, sade C30 beton dolu AL kolonlarda en yüksek SI değeri 1.25 iken %0.5 ile %1.5 çelik lif katkılı kolonlarda 1.28, %0.5 ile %1.5 hibrit lif katkılı kolonlarda 1.29 değerinde olduğu görülmüştür. Sade C30 beton dolu CS kolonlarda en yüksek SI değeri 1.46 iken %0.5 ile %1.5 çelik lif katkılı kolonlarda 1.48 0.5, %0.5 ile %1.5 hibrit lif katkılı kolonlarda 1.58, 1.64 değerinde olduğu görülmüştür. Sade C30 beton dolu SS kolonlarda en yüksek SI değeri 1.57 iken %0.5 ile %1.5 çelik lif katkılı kolonlarda 1.58, %0.5 ile %1.5 hibrit lif katkılı kolonlarda 1.66, 1.75 değerinde olduğu görülmüştür. Bu SI değerleri C30 yerine C70 beton kullanıldığında AL kolonlarında %40, CS kolonlarında %30, SS kolonlarında %22 oranında azaldığı görülmüştür. Yukarıdaki değerlere bakıldığında lif yüzdesi artışının SI değerini az miktarda değiştiği görülmüştür. Sade betona göre çelik lif katkılı numunelerin daha yüksek SI değerlerine sahip oldukları görülmüştür. Hibrit lif katkılı numunelerin SI değerleri de çelik lif katkılı olan kolonlardan daha yüksek çıkmıştır. Lif katkısının kullanılmasının SI değerinde önemli oranda artış sağlamamasının ana sebebi lif katkısının kolonların aksenal yük taşıma kapasitelerine etkisinin sınırlı olmasıdır.

Sonuç olarak dayanım artışı kullanılan lif türüne, lif miktarına ve beton sınıfına bağlı değildir. SI indis değerleri kullanılan kolon malzemesi türüne ve kolon et kalınlığına bağlıdır.

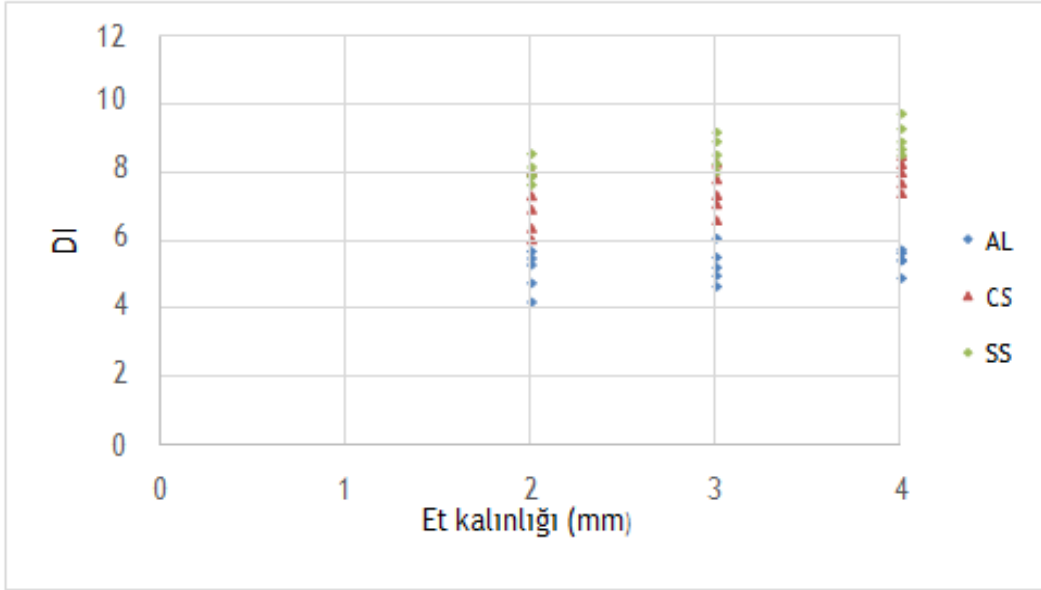
4.3.3. DI İndisi

Süneklik indisi (DI) kolon numunelerinin tepe yükü aşımından sonraki davranışlarını gösteren bir performans indisidir. Eksenel kırılma kısalması miktarının akma kısalması miktarına bölümü ile elde edilir. Deney sonuçları kullanılarak hesaplanan DI indis değerleri verilmiştir (Çizelge 4.1-4.3, Şekil 4.18).

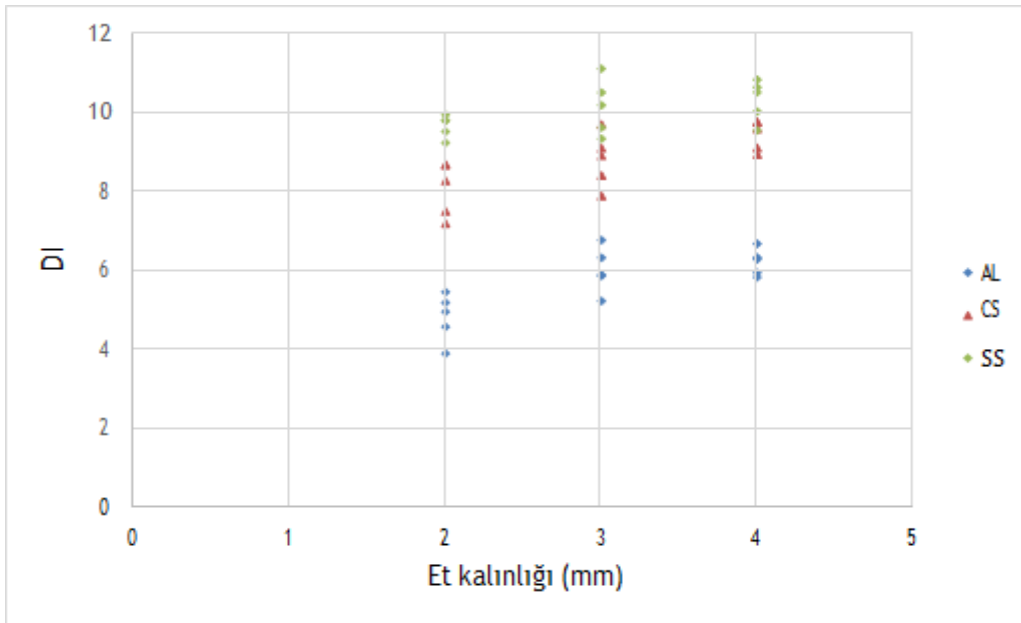
Şekil 4.18’ de verilen DI değerleri incelendiğinde kolon malzeme cinsine göre en yüksek DI indis değerine sahip olan kolonlar SS kolonları, en düşük DI indis değerine sahip olan kolonlar ise AL kolonlarıdır. Bu grafiklerdeki değerlere bakıldığında içi C30 beton dolu SS kolonlarda en yüksek DI indis değeri 9.72, CS kolonlarda 8.47 ve AL kolonlarda ise 5,72 olarak görülmüştür. İçi C70 beton dolu SS kolonlarda en yüksek DI indis değeri 10.83, CS kolonlarda 9.75 ve AL kolonlarda ise 6.67 olarak görülmüştür. C70 beton kullanılması kolonların DI değerlerini %10 civarında bir artış sağlamıştır. AL kolonlarının DI indis değerlerinin düşük olmasının ana nedeni kolonlar tam kapasite çalışmadan tüplerin erken yırtılması ve kopma kısalması miktarının oldukça düşük olmasıdır. Ayrıca yukarıda verilen değerlerden kolon içine yerleştirilen beton dayanımının arttırılması kolonu daha sünek hale getirdiği ve dayanımını arttırdığı açıkça görülmüştür. Buna ek olarak şekil 4.18’de görüldüğü gibi kolon et kalınlığı arttıkça DI değerleri artmaktadır. Çünkü et kalınlığı yüksek olan kolonlar ince et kalınlıklarındaki kolonlardan daha yüksek kırılma kısalması değerlerine sahip olmasından dolayı DI indis değerleri daha yüksektir

Çizelge 4.1 - Çizelge 4.3’deki değerlere bakıldığında lif katkısının AL, CS ve SS kolonlarının DI indislerinde artışa neden olduğu görülmüştür. Sade beton yerine hibrit lif katkılı beton kullanılması en çok AL kolonların DI indislerinde artışa sebep olmuştur. Tepe yükünden sonra AL kolon tüpünün köşelerinde yırtılma olmasından eksenel yük sadece beton tarafından taşınır. Hibrit lif katkısı betondaki kontrolsüz çatlamları önleyerek betonun daha yüksek kısalma yaparak kısalmasını sağladığından sade betona göre hibrit lifli beton kullanılan AL kolondaki DI indisindeki artış daha

fazla olmaktadır. Lif katkı türü ve oranı DI indis üzerinde az da olsa bir artışa neden olmuştur. Bu önemsiz artışın tek sebebi kırılma kısılmalarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Hibrit lif katkıli beton çelik lif katkıli betondan daha yüksek kırılma kısılmasına sahiptir. Yine benzer şekilde lif oranı yüksek olan numune daha fazla kırılma kısılmasına değerlerine sahip olmasından dolayı DI indis değerleri daha yüksektir



a.



b.

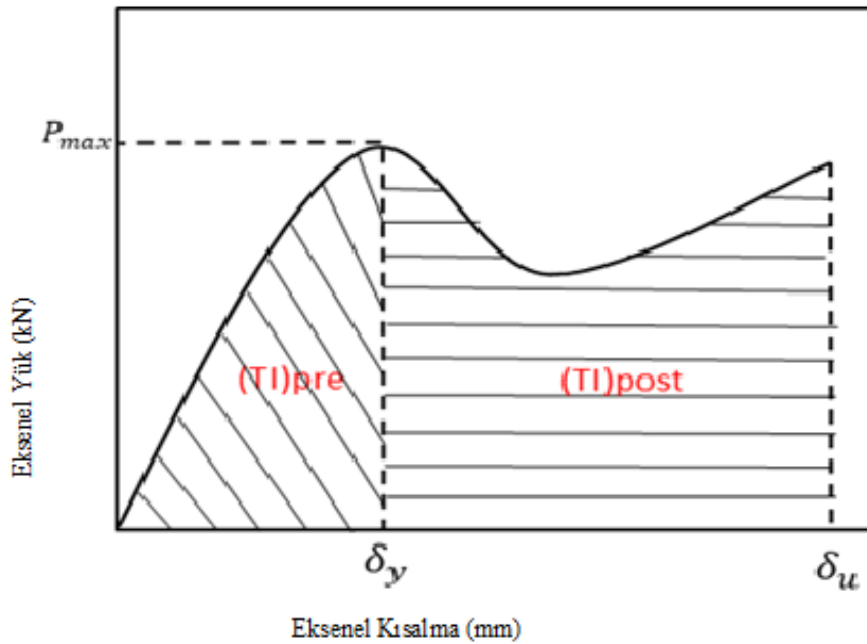
Şekil 4.17. 70 AL, CS, SS kolonlar için DI Performans indisleri a.C30 doldurulmuş kolonlar, b. C70 doldurulmuş kolonlar.

4.4. Tokluk Kapasitesi

Tokluk, tüm kolonların aksenal yük altındaki kırılmalara kadar olan enerji emme kapasitesini ölçen önemli bir parametredir. Bu çalışmada, içi boş, sade, çelik ve hibrit lif katkılı beton dolu CS, SS ve AL kolonlarının tokluk kapasitesi, aksenal yük aksenal kısalma eğrisi altındaki alan kullanılarak belirlenmiştir. İlk olarak, çelik ve hibrit liflerin, kolonların tepe-tepe-tepe-sonrası davranışı üzerindeki etkisini değerlendirmek için kolonların tepe-öncesi ve tepe-sonrası tokluk indis (TI) değerleri ayrı ayrı belirlendi. Tokluk indislerin hesaplanmasında kullanılan denklemler Eş. 4.4 ve Eş. 4.5'te gösterilmiştir. Kolonlara ait tokluk (T) ile tokluk indisleri (TI) ile gösterilmiştir. Tepe yükü öncesi tokluk $(T)_{pre}$, tepe yükü sonrası tokluk $(T)_{post}$ olarak adlandırılmıştır. Aynı şekilde tokluk indisi de tepe yükü öncesi $(TI)_{pre}$ ve tepe yükü sonrası $(TI)_{post}$ olarak adlandırılmıştır. Şekil 4.19'da tokluk hesabında kullanılan tipik aksenal yük-aksenal kısalma eğrisi verilmiştir. Kolonlara ait tokluk ve tokluk indisi değerleri verilmiştir (Çizelge 4.7- Çizelge 4.9).

$$(TI)_{pre} = (T_{DOLU})_{pre} / (T_{BOŞ})_{pre} \quad (4.4)$$

$$(TI)_{post} = (T_{DOLU})_{post} / (T_{BOŞ})_{post} \quad (4.5)$$



Şekil 4.18. Tokluk için tipik aksenal yük-aksenal kısalma eğrisi

Çizelge 4.7. AL kolonlara ait tokluk ve tokluk indisi değerleri

Numune Adı	(T)pre (kN. m)	(TI)pre	(T)post (kN. m)	(TI)post	(T)pre (%)'deki artış	(T)post (%) 'deki artış
AL-BOŞ-2MM	139,27	-	361,22	-	-	-
AL-C30-P-2MM	248,35	1,78	1086,38	3,01	78,32	200,75
AL-C30-2MM-St0.5%	256,46	1,84	1142,61	3,16	84,15	216,32
AL-C30-2MM-St1.5%	261,9	1,88	1185,7	3,28	88,05	228,25
AL-C30-2MM-Hy0.5%	258,74	1,86	1148,13	3,18	85,78	217,85
AL-C30-2MM-Hy1.5%	264,83	1,9	1190,23	3,29	90,16	229,5
AL- BOŞ -3MM	203,89	-	572,04	-	-	-
AL-C30-P-3MM	437,57	2,15	1873,35	3,27	114,61	227,48
AL-C30-3MM-St0.5%	444,97	2,18	1934,58	3,38	118,24	238,19
AL-C30-3MM-St1.5%	459,48	2,25	2036,87	3,56	125,36	256,07
AL-C30-3MM-Hy0.5%	447,27	2,19	1959,14	3,42	119,37	242,48
AL-C30-3MM-Hy1.5%	464,09	2,28	2068,64	3,62	127,62	261,62
AL- BOŞ -4MM	320,69	-	751,31	-	-	-
AL-C30-P-4MM	698,17	2,18	2692,55	3,58	117,72	258,39
AL-C30-4MM-St0.5%	704,38	2,2	2834,26	3,77	119,65	277,25
AL-C30-4MM-St1.5%	719,9	2,24	2981,04	3,97	124,49	296,78
AL-C30-4MM-Hy0.5%	709,67	2,21	2863,82	3,81	121,3	281,18
AL-C30-4MM-Hy1.5%	723,51	2,26	3006,33	4	125,62	300,15
AL- BOŞ -2MM	139,27	-	361,22	-	-	-
AL-C70-P-2MM	405,87	2,91	1285,26	3,56	191,45	255,81
AL-C70-2MM-St0.5%	414,97	2,98	1348,68	3,73	197,98	273,37
AL-C70-2MM-St1.5%	428,7	3,08	1469,65	4,07	207,84	306,86
AL-C70-2MM-Hy0.5%	417,26	3	1399,75	3,88	199,63	287,51
AL-C70-2MM-Hy1.5%	431,99	3,1	1482,74	4,1	210,2	310,48
AL- BOŞ -3MM	203,89	-	572,04	-	-	-
AL-C70-P-3MM	649,56	3,19	2406,36	4,21	218,58	320,66
AL-C70-3MM-St0.5%	661,15	3,24	2508,17	4,38	224,27	338,46
AL-C70-3MM-St1.5%	678,96	3,33	2716,84	4,75	233	374,94
AL-C70-3MM-Hy0.5%	665,19	3,26	2568,61	4,49	226,25	349,03
AL-C70-3MM-Hy1.5%	682,71	3,35	2748,12	4,8	234,84	380,41
AL- BOŞ -4MM	320,69	-	751,31	-	-	-
AL-C70-P-4MM	1133,15	3,53	2942,8	3,92	253,35	291,69
AL-C70-4MM-St0.5%	1168,57	3,64	3112,95	4,14	264,4	314,34
AL-C70-4MM-St1.5%	1188,98	3,71	3339,17	4,44	270,76	344,45
AL-C70-4MM-Hy0.5%	1172,67	3,66	3181,77	4,24	265,67	323,5
AL-C70-4MM-Hy1.5%	1194,21	3,72	3392,11	4,51	272,39	351,5

Çizelge 4.8. CS kolonlara ait tokluk ve tokluk indisi değerleri

Numune Adı	(T)pre (kN. m)	(TI)pre	(T)post (kN. m)	(TI)post	(T)pre (%)'deki artış	(T)post (%) 'deki artış
CS- BOŞ -2MM	446,88	-	1047,91	-	-	-
CS-C30-P-2MM	1343,15	3,01	4527,81	4,32	200,57	332,08
CS-C30-2MM-St0.5%	1386,06	3,1	5048,59	4,82	210,17	381,78
CS-C30-2MM-St1.5%	1454,36	3,25	7775,93	7,42	225,45	642,05
CS-C30-2MM-Hy0.5%	1391,48	3,11	5091,79	4,86	211,38	385,9
CS-C30-2MM-Hy1.5%	1488,16	3,33	8032,6	7,67	233,02	666,54
CS- BOŞ -3MM	620,09	-	1230,85	-	-	-
CS-C30-P-3MM	1952,99	3,15	6285,1	5,11	214,95	410,65
CS-C30-3MM-St0.5%	2017,99	3,25	7456,77	6,06	225,44	505,85
CS-C30-3MM-St1.5%	2107,14	3,4	11823,71	9,61	239,81	860,65
CS-C30-3MM-Hy0.5%	2083,07	3,36	7500,24	6,09	235,93	509,38
CS-C30-3MM-Hy1.5%	2196,4	3,54	12147,82	9,87	254,21	886,99
CS- BOŞ -4MM	1071,61	-	1840,24	-	-	-
CS-C30-P-4MM	3439,72	3,21	10266	5,58	220,99	457,87
CS-C30-4MM-St0.5%	3517,97	3,28	12872,69	7	228,29	599,52
CS-C30-4MM-St1.5%	3608,21	3,37	21039,41	11,43	236,71	1043,3
CS-C30-4MM-Hy0.5%	3528,82	3,29	12917,18	7,02	229,3	601,93
CS-C30-4MM-Hy1.5%	3623,49	3,38	21790,92	11,84	238,14	1084,14
CS-BOŞ-2MM	446,88	-	1047,91	-	-	-
CS- BOŞ -2MM	446,88	-	1047,91	-	-	-
CS-C70-P-2MM	1819,96	4,07	10223,12	9,76	307,27	875,57
CS-C70-2MM-St0.5%	1895,83	4,24	11807,56	11,27	324,25	1026,77
CS-C70-2MM-St1.5%	2042,07	4,57	20307,56	19,38	356,97	1837,91
CS-C70-2MM-Hy0.5%	1925,79	4,31	11908,51	11,36	330,95	1036,41
CS-C70-2MM-Hy1.5%	2068,99	4,63	20998,35	20,04	363	1903,83
CS- BOŞ -3MM	620,09	-	1230,85	-	-	-
CS-C70-P-3MM	2607,11	4,2	15512,07	12,6	320,44	1160,27
CS-C70-3MM-St0.5%	2711,44	4,37	19189,2	15,59	337,27	1459,02
CS-C70-3MM-St1.5%	2796,2	4,51	36425,5	29,59	350,93	2859,38
CS-C70-3MM-Hy0.5%	2723,08	4,39	19237,89	15,63	339,14	1462,98
CS-C70-3MM-Hy1.5%	2811	4,53	36624,38	29,76	353,32	2875,54
CS- BOŞ -4MM	1071,61	-	1840,24	-	-	-
CS-C70-P-4MM	4576,89	4,27	24566,36	13,35	327,11	1234,96
CS-C70-4MM-St0.5%	4656,92	4,35	31695,66	17,22	334,58	1622,37
CS-C70-4MM-St1.5%	4726,38	4,41	68586,35	37,27	341,06	3627,05
CS-C70-4MM-Hy0.5%	4669,17	4,36	31939,85	17,36	335,72	1635,64
CS-C70-4MM-Hy1.5%	4737,49	4,42	68851,48	37,41	342,09	3641,46

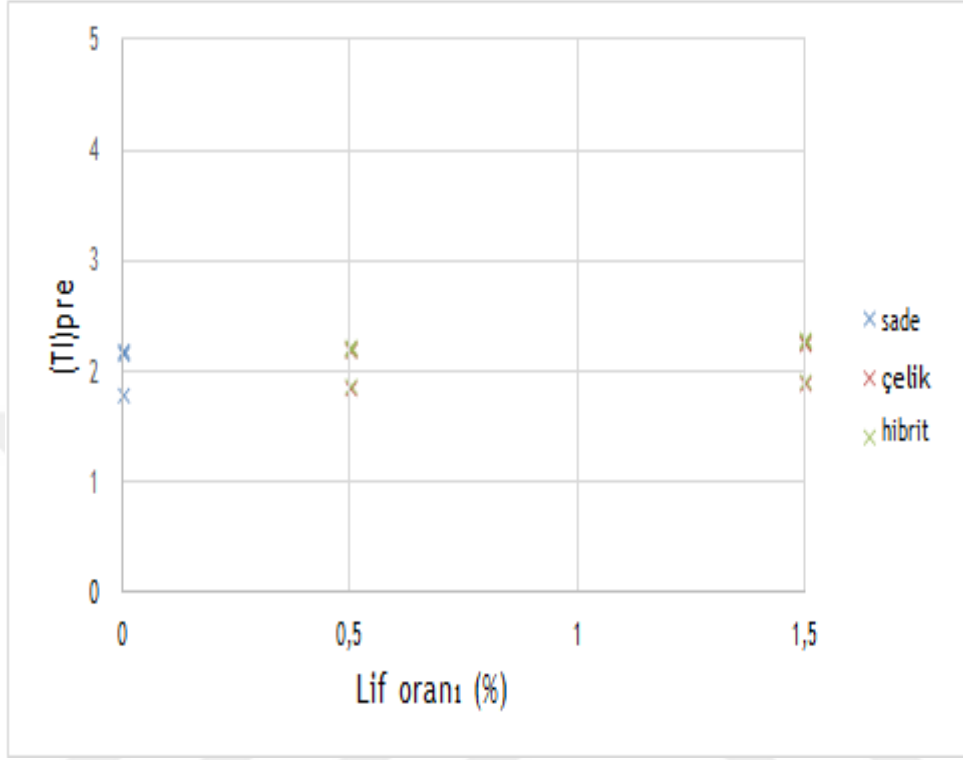
Çizelge 4.9. SS kolonlara ait tokluk ve tokluk indisi değerleri

Numune Adı	(T)pre (kN. m)	(TI)pre	(T)post (kN. m)	(TI)post	(T)pre (%)'deki artış	(T)post (%) 'deki artış
SS- BOŞ -2MM	1239,83	-	1956,73	-	-	-
SS-C30-P-2MM	4070,07	3,28	12424,42	6,35	228,28	534,96
SS-C30-2MM-St0.5%	4110,24	3,32	14622,79	7,47	231,52	647,31
SS-C30-2MM-St1.5%	4182,17	3,37	23182,71	11,85	237,32	1084,77
SS-C30-2MM-Hy0.5%	4123,41	3,33	14735,65	7,53	232,58	653,08
SS-C30-2MM-Hy1.5%	4198,34	3,39	23911,3	12,22	238,62	1122
SS- BOŞ -3MM	1301,48	-	2286,47	-	-	-
SS-C30-P-3MM	4344,12	3,34	15979,74	6,99	233,8	598,89
SS-C30-3MM-St0.5%	4448,34	3,42	19963,73	8,73	241,81	773,13
SS-C30-3MM-St1.5%	4508,39	3,46	32487,87	14,21	246,43	1320,88
SS-C30-3MM-Hy0.5%	4476,26	3,44	20045,4	8,77	243,96	776,7
SS-C30-3MM-Hy1.5%	4521,63	3,47	33265,73	14,55	247,44	1354,9
SS- BOŞ -4MM	1499,1	-	2813,24	-	-	-
SS-C30-P-4MM	5115,43	3,41	22874,93	8,13	241,23	713,12
SS-C30-4MM-St0.5%	5269,19	3,51	30530,89	10,85	251,49	985,26
SS-C30-4MM-St1.5%	5365,21	3,58	51253,71	18,22	257,9	1721,88
SS-C30-4MM-Hy0.5%	5296,27	3,53	30602,42	10,88	253,3	987,8
SS-C30-4MM-Hy1.5%	5403	3,6	52788,04	18,76	260,42	1776,42
SS- BOŞ -2MM	1239,83	-	1956,73	-	-	-
SS-C70-P-2MM	5369,6	4,33	27038,1	13,82	333,1	1281,8
SS-C70-2MM-St0.5%	5511,9	4,45	32926,44	16,83	344,57	1582,73
SS-C70-2MM-St1.5%	5600,46	4,52	60601,09	30,97	351,72	2997,06
SS-C70-2MM-Hy0.5%	5529,93	4,46	33013,08	16,87	346,03	1587,16
SS-C70-2MM-Hy1.5%	5615,92	4,53	60993,23	31,17	352,96	3017,1
SS- BOŞ -3MM	1301,48	-	2286,47	-	-	-
SS-C70-P-3MM	5874,58	4,51	33453,04	14,63	351,38	1363,09
SS-C70-3MM-St0.5%	6015,92	4,62	44187,08	19,33	362,24	1832,55
SS-C70-3MM-St1.5%	6020,11	4,63	92187,89	40,32	362,56	3931,9
SS-C70-3MM-Hy0.5%	6022,25	4,63	44819,45	19,6	362,72	1860,21
SS-C70-3MM-Hy1.5%	6066,65	4,66	93165,12	40,75	366,13	3974,64
SS- BOŞ -4MM	1499,1	-	2813,24	-	-	-
SS-C70-P-4MM	6871,68	4,58	41037,97	14,59	358,39	1358,75
SS-C70-4MM-St0.5%	7033,45	4,69	58616,86	20,84	369,18	1983,61
SS-C70-4MM-St1.5%	7077,46	4,72	130821,6	46,5	372,11	4550,23
SS-C70-4MM-Hy0.5%	7045,67	4,7	58980,52	20,97	369,99	1996,54
SS-C70-4MM-Hy1.5%	7083,38	4,73	132089,6	46,95	372,51	4595,3

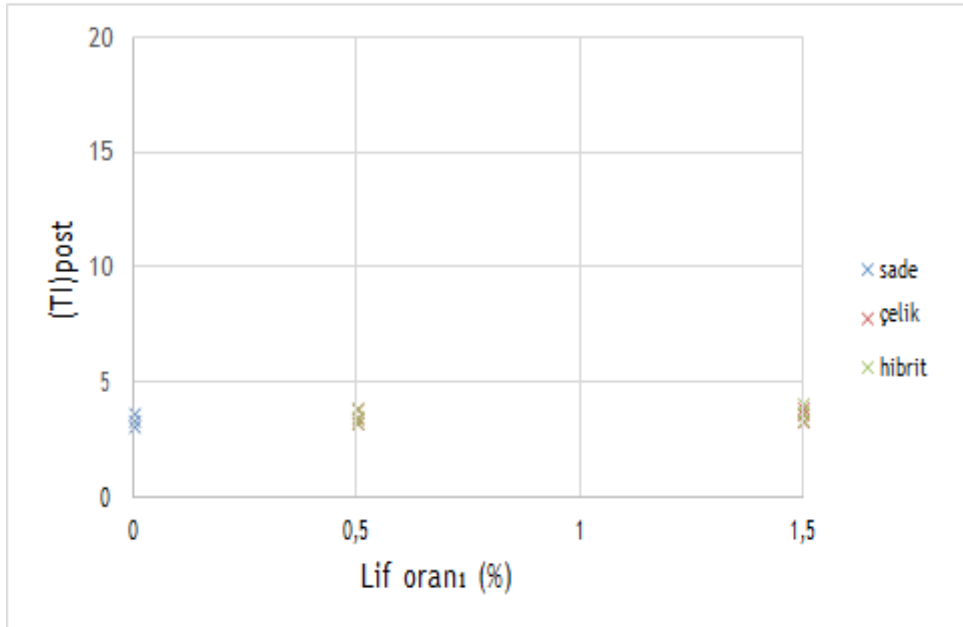
Çizelge 4.7- Çizelge 4.9' daki değerlere bakıldığında tüm kolon numunelerinde kolonlara beton doldurulması kolonların hem (T)pre hem de (T)post değerlerinde önemli oranda artış sağladığı görülmüştür. C30 dayanımında beton doldurulmuş kolonların (T)pre değerlerindeki en yüksek artış AL kolonlarında %125.62 oranında, CS kolonlarında %238.14 oranında ve SS kolonlarında %260.42 oranında olmuştur. Aynı şekildeki kolonların (T)post değerlerindeki en yüksek artış AL kolonlarında %300.15 oranında, CS kolonlarında %1084.14 oranında ve SS kolonlarında %1776.42 oranında olmuştur. Bu sonuçlar boş kolonlara beton doldurulmasının kolonların tokluklarının artmasını ve daha yüksek miktarda enerji absorbe etmesini sağladığını göstermektedir. Kolon tepe yükü öncesi ve sonrasındaki en yüksek tokluk artışı SS kolonlarında en düşük artış ise AL kolonlarında olmuştur. Bu durum SS kolonlarının yüksek dayanımlı ve sünek olması, AL kolonlarının düşük dayanımlı ve gevrek olmasından kaynaklanmaktadır. Bunun yanı sıra deneylerde elde edilen sonuçlara bakıldığında kolonlara yüksek dayanımlı beton doldurulması ile daha yüksek tokluk değerine ulaşılabildiği görülmüştür. C70 dayanımında beton doldurulmuş kolonların (T)pre değerlerindeki en yüksek artış AL kolonlarında %234.84 oranında, CS kolonlarında %342.09 oranında ve SS kolonlarında 372.51 oranında olmuştur. Aynı şekildeki kolonların (T)post değerlerindeki en yüksek artış AL kolonlarında %351.50 oranında, CS kolonlarında %3641.46 oranında ve SS kolonlarında %4595.30 oranında olmuştur. Yukarıda verilen değerler kıyaslandığında yüksek dayanımlı çelik malzeme ve beton kullanılmasının kolonların enerji yutma kapasitelerini önemli oranda arttırdığı görülmektedir.

Çizelge 4.7 te verilen değerlere bakıldığında AL kolonlarının et kalınlığı arttıkça tokluk ve tokluk indis değerleri artmıştır. Et kalınlığı 2mm den 3 mm yükselmesi kolonların (T)pre ve (T)post değerlerinde % 30 civarında bir artışa neden olmuştur. Ancak et kalınlığının 3 mm den 4 mm yükselmesi (T)pre değerlerinde önemli bir artışa sebep olmadığı, (T)post değerlerinde %20 civarında bir artış sağladığı görülmüştür. Bu durumda 3 mm ve 4 mm kolonlarının tepe yükü öncesi davranışlarının birbirine benzer olduğu ancak tepe yükünden sonrası 4mm et kalınlığındaki kolonların daha iyi performans gösterdiği söylenebilir. Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9'daki değerlere bakıldığında CS ve SS kolonlarında ise et kalınlığı artmasının sadece (T)post

değerlerinde önemli oranda artış sağlamıştır. Bunun ana sebebi et kalınlığı yüksek olan CS ve SS kolonların daha sünek olmasıdır.

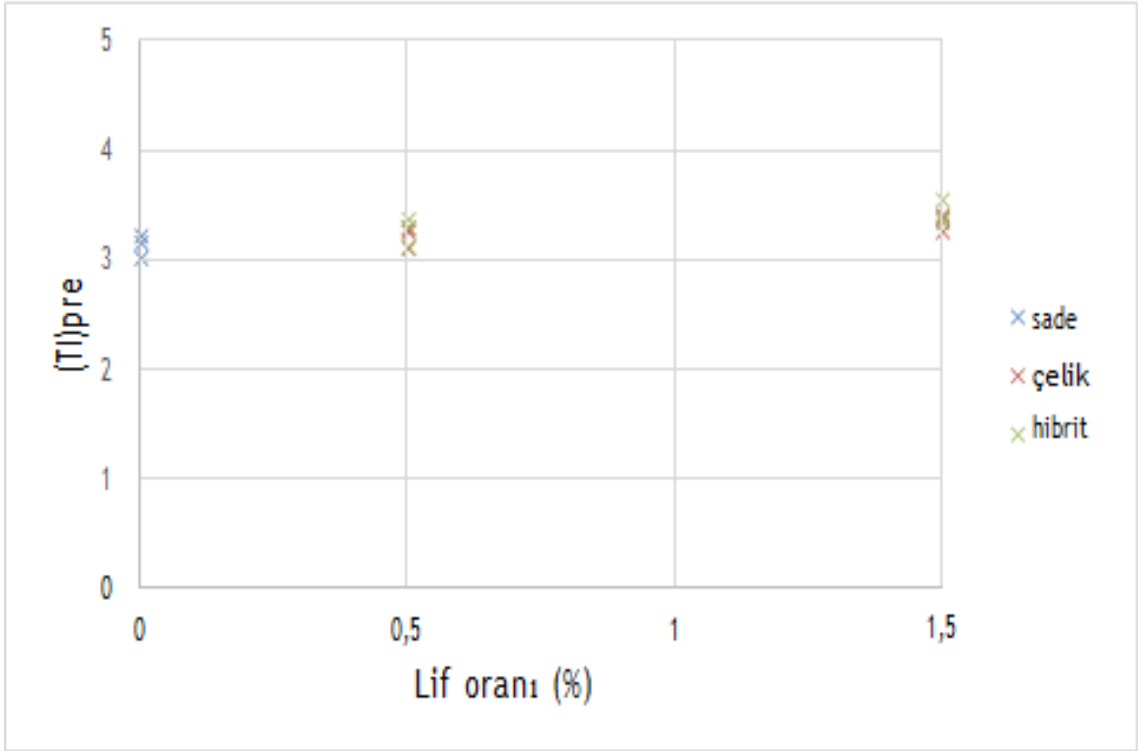


a.

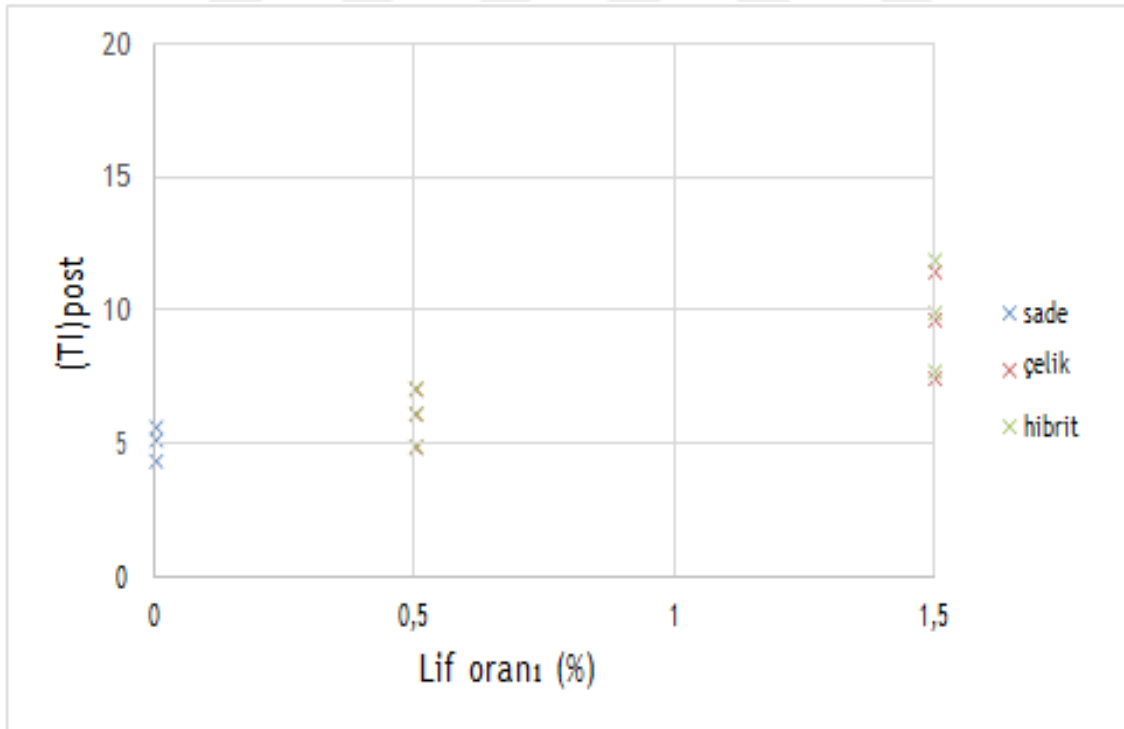


b.

Şekil 4. 19. AL- C30 kolonları için tokluk indisi değerleri a. (TI)pre, b. (TI)post.

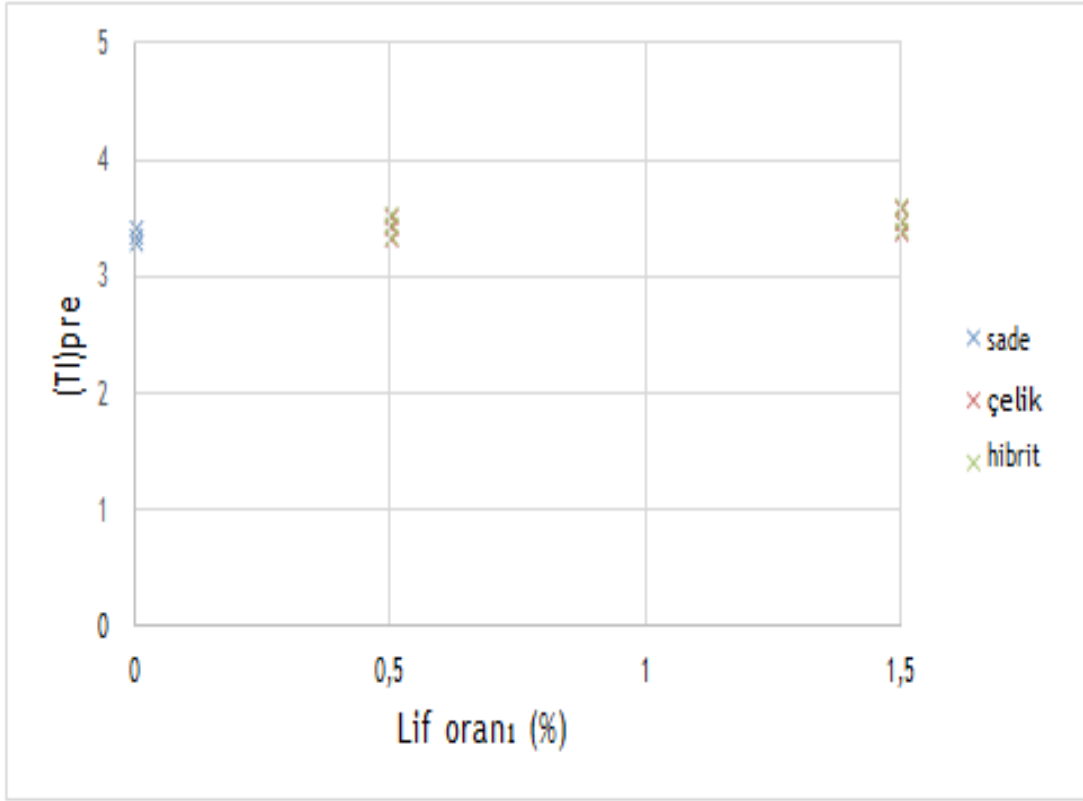


a.

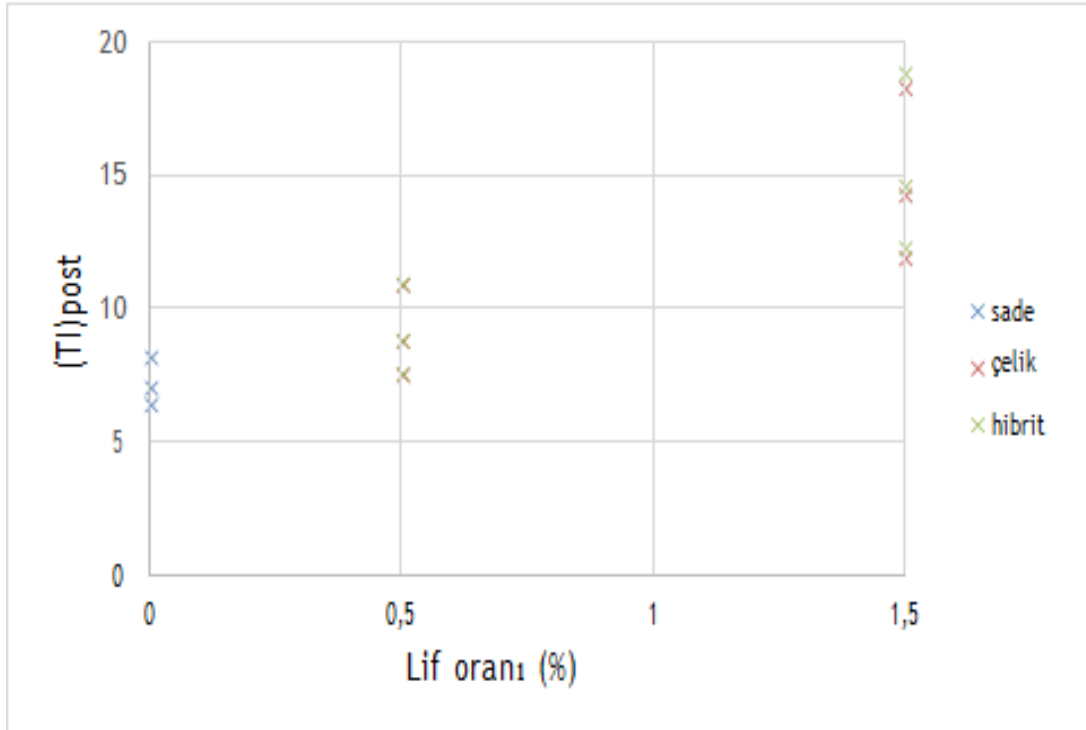


b.

Şekil 4. 20. CS- C30 kolonları için tokluk indisi değerleri a. (TI)pre, b. (TI)post.

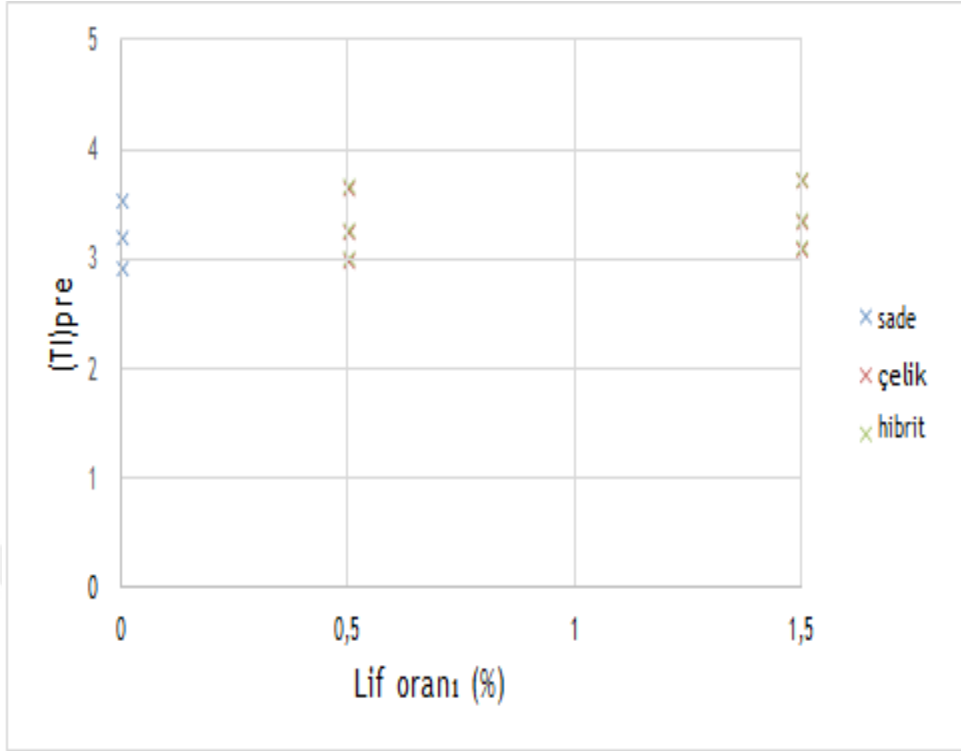


a.

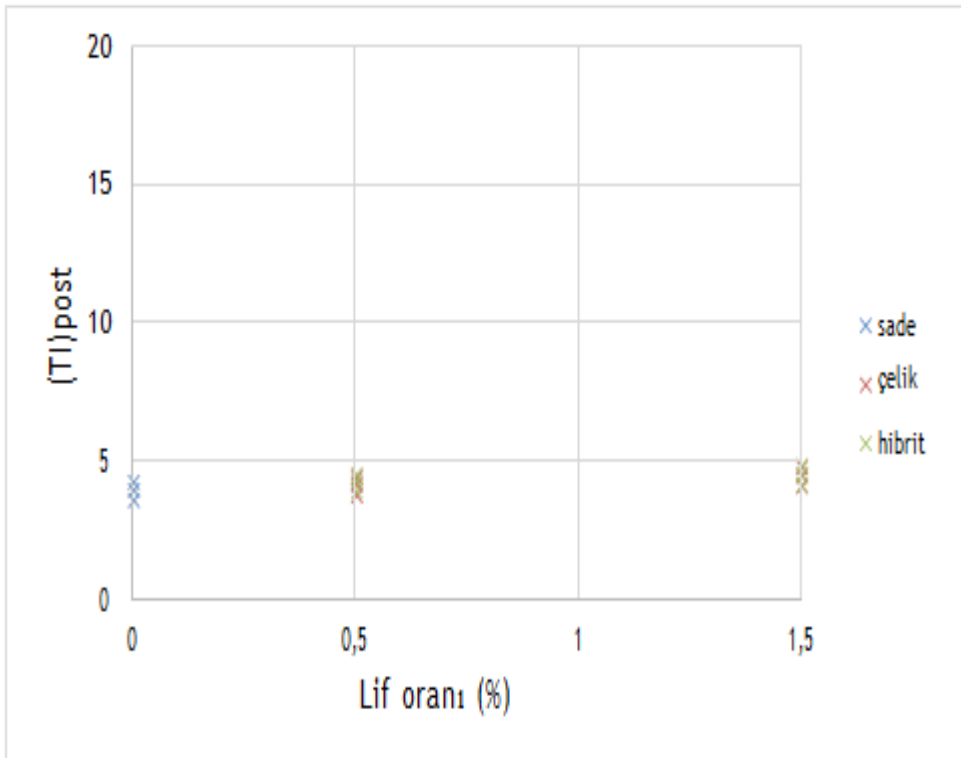


b.

Şekil 4. 21. SS- C30 kolonları için tokluk indisi değerleri a. $(TI)_{pre}$, b. $(TI)_{post}$.

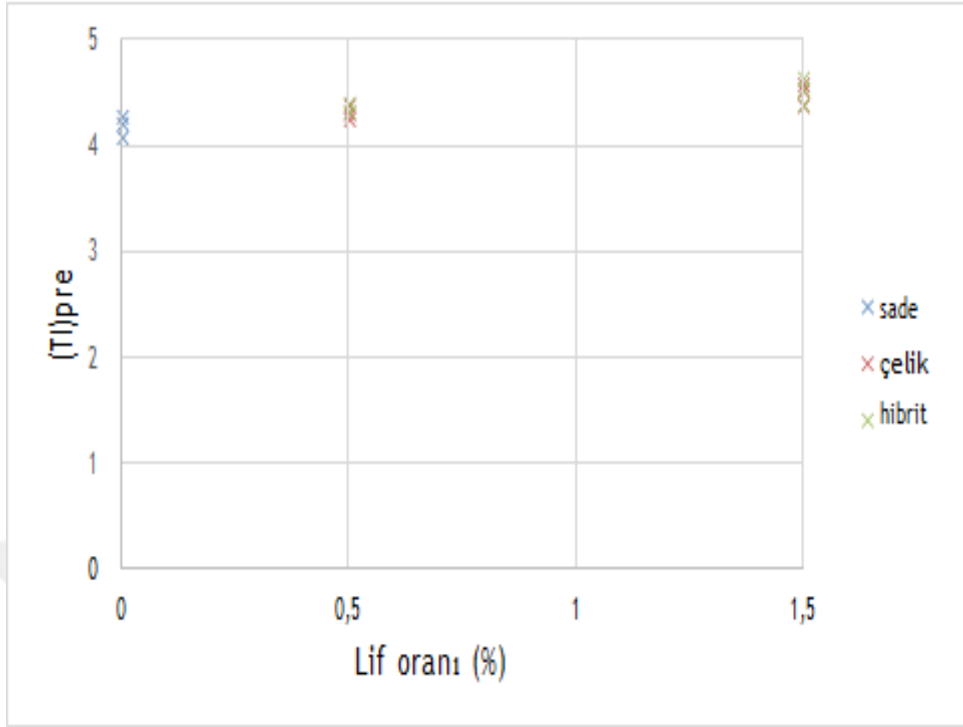


a.

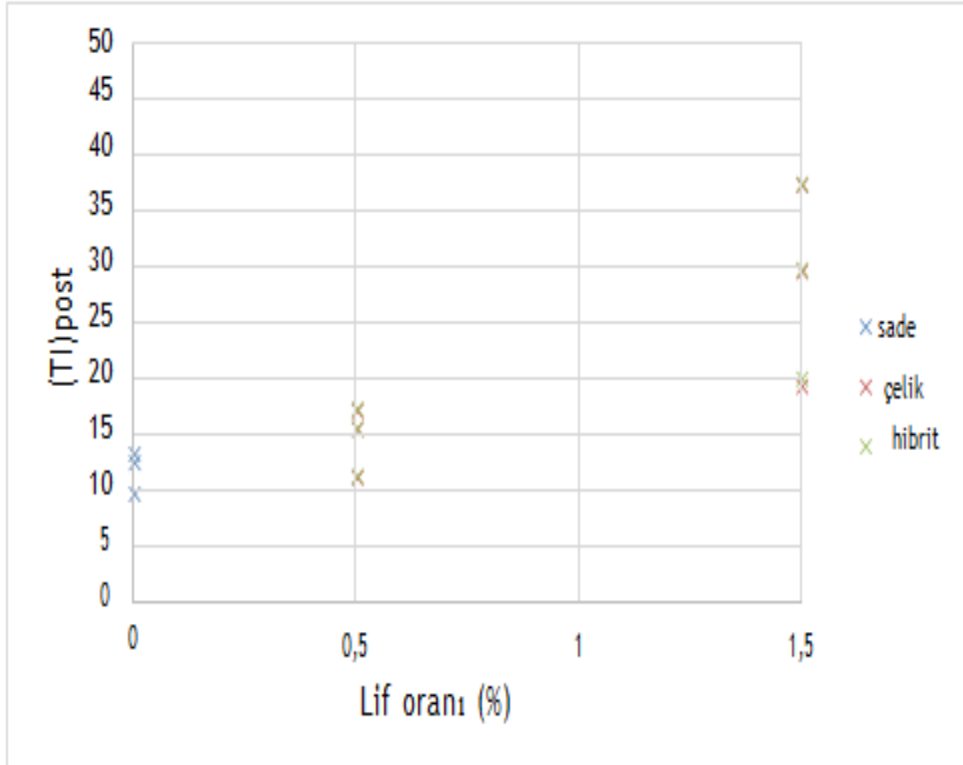


b.

Şekil 4.22. AL- C70 kolonları için tokluk indisi değerleri a. $(TI)_{pre}$, b. $(TI)_{post}$.

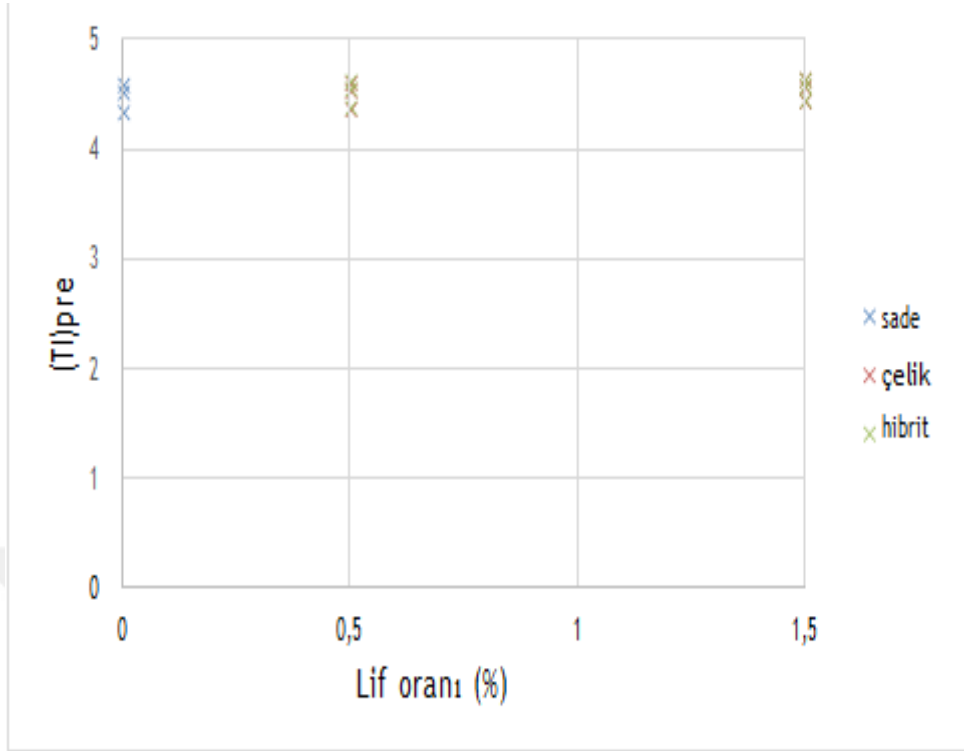


a.

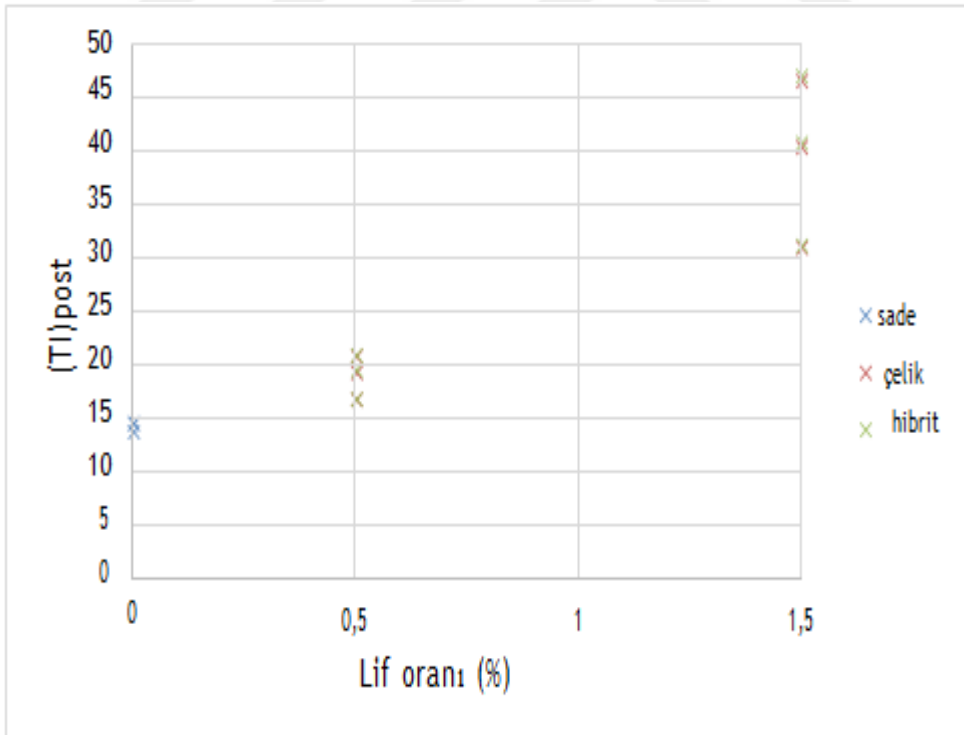


b.

Şekil 4.23. CS- C70 kolonları için tokluk indisi değerleri a. $(TI)_{pre}$, b. $(TI)_{post}$.



a.



b.

Şekil 4.24. SS- C70 kolonları için tokluk indisi değerleri a. (TI)pre, b. (TI)post.

Şekil 4.19- Şekil 4.24'te verilen değerlere bakıldığında aynı çeper kalınlığındaki kolonlarda betonun içine lif katılması, tepe yükü öncesi enerji yutma kapasitelerini önemli oranda değiştirmedeği fakat tepe yükü sonrası enerji yutma kapasitelerinde önemli artışlara neden olduğu görülmüştür. Çünkü beton lif katılması betonun maksimum taşıma kapasitesi olan tepe yükünde artışa neden olmadığından sade beton dolu kolon numuneleri ile içi lif katkılı beton ile dolu olan kolon numunelerinin tepe yükü öncesi davranışları hemen hemen aynıdır. Böylece lif katkısının tepe yükü sonrasında enerji yutma kapasitesini arttırdığı söylenebilir. Ayrıca aynı oranda Hibrit lifli karışı dolu kolonların çelik lifli kolonlardan daha yüksek enerji yutma kapasitesine sahip olduğu ve lif oranının artması da enerji yutma kapasitesini arttırdığı görülmüştür.

Şekil 4.19 ile Şekil 4.22'te verilen aynı et kalınlığına sahip AL-C30 kolonlarının (TI) pre değerlerinin 1.78-2.28, (TI)post değerlerinin 3.01-4.0 olduğu görülmüştür. AL-C70 kolonlarında ise (TI) pre değerlerinin 2.90-3.72, (TI)post değerlerinin 3.56-4.51 olduğu görülmüştür. Lif katkısı türünün ve oranının TI indisi üzerinde etkisinin az olduğu görülmüştür.

Şekil 4.20 ve Şekil 4.23 incelendiğinde aynı et kalınlığına sahip CS-C30 kolonlarının (TI) pre değerlerinin 3.01-3.38, (TI)post değerlerinin 4.3-11.84 olduğu görülmüştür. CS-C70 kolonlarında ise (TI) pre değerlerinin 4.07-4.42, (TI)post değerlerinin 9.76-37.41 olduğu görülmüştür. Yukarıda verilen değerlerden CS kolonlarında hibrit lifli beton kullanılmasının ve lif oranının %0 dan %1.5 e yükseltilmesinin (TI) pre değerlerinde önemsiz artışlara sebep olurken, (TI)post değerlerinde C30 için %275 oranında, C70 için %400 oranında artış sağlamıştır.

Şekil 4.21 ve Şekil 4.24 incelendiğinde aynı et kalınlığına sahip SS-C30 kolonlarının (TI) pre değerlerinin 3.28-3.60, (TI)post değerlerinin 6.35-18.76 olduğu görülmüştür. SS-C70 kolonlarında ise (TI) pre değerlerinin 4.33-4.73, (TI)post değerlerinin 13.82-46.95 olduğu görülmüştür. Bu sonuçlardan lif katkısının (TI)pre değerlerine etkisinin SS kolonlarında sınırlı olduğunu fakat (TI)post değerlerinin C30 beton için %295 oranında, C70 için %350 oranında arttığı görülmüştür. Yukarıda verilen tüm sonuçlar kıyaslandığında lif katkılı beton kullanılması CS ve SS kolonlarının enerji yutma kapasitesini önemli oranda arttırdığı görülmüştür. Bunun yanında hibrit lif kullanılması ve lif oranının %1.5'e yükseltilmesi ile SS ve CS kolonlarının tokluk kapasiteleri daha da arttığı görülmüştür. Ancak aynı durum AL

kolonlarında geçerli değildir. C30 yerine C70 beton kullanılması kolonların enerji yutma kapasitelerini önemli oranda arttırmıştır.

Sonuç olarak yapılan deneylerden elde edilen verilerden yüksek dayanımlı malzeme ile üretilen kompozit kolonların aksenal yük altında daha fazla miktarda enerji yuttuğu görülmüştür. Numunelerin içi beton ile doldurmak boş numunenin hem tepe yükü öncesi hem de tepe yükü sonrası davranışına önemli oranda olumlu etkisi olduğu dayanımı ve enerji yutma kapasitesini arttırdığı görülmüştür. Betona lif katılması tepe yükü öncesindeki kolon mekanik davranışına etkisinin sınırlı olduğu fakat tepe yükü sonrasındaki davranışını iyileştirdiği görülmüştür. Ayrıca lif türü hibrit olan kolonların çelik lif katkılı olan kolonlardan daha yüksek toklukta oldukları görülmüştür. Lif oranının 0.5'ten 1.5 oranına yükseltilmesi de kolonların tokluk kapasitelerini önemli oranda arttırmıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında kare en kesitli 2 mm, 3 mm, 4 mm et kalınlığında ve eşit boyda olan AL, CS ve SS malzemedен oluşturulan boş ve kompozit kolonlar üzerinde deneysel çalışmalar yapılarak kolonların aksel yük altındaki davranışları incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda kolon numunelerine ait aksel yük-aksel kısılma grafikleri ve performans indislerine ait sonuçları elde edilmiştir. Deney sonuçlarından elde edilen veriler yardımıyla kompozit kolonların birbirleriyle karşılaştırması yapılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

İçi boş kolonlara beton yerleştirilmesi Tüm AL, CS ve SS kolonların süneklik, aksel yük taşıma ve enerji yutma kapasitelerini önemli oranda arttırdığı görülmüştür. Boş kolonlara sade 30 MPa beton doldurulması AL kolonlarının aksel yük taşıma kapasitelerinde %200-400 oranında artışa neden olurken, CS kolonlarında %160-240 oranında artışa ve SS kolonlarında ise %140-180 oranında artışa neden olmuştur. Aksel yük taşıma kapasitelerindeki artış 70 MPa dayanımında sade beton doldurulan AL kolonlarında %230-600, CS kolonlarında 228-380, SS kolonlarında %190-270 oranındadır. Daha yüksek basınç dayanımındaki beton kullanılarak oluşturulan kolonların düşük dayanımlı beton kullanılan kolonlardan %50-100 oranında daha fazla kırılma kısılması yaptıkları görülmüştür. Kolon et kalınlığı düşük olan kolonlardaki dayanım artış oranları et kalınlığı yüksek olan kolonlara göre daha fazla olmuştur.

AL kompozit kolonları ile CS ve SS kompozit kolonları kıyaslandığında, AL kompozit kolonlarının CCR indislerindeki artış daha yüksektir, çünkü kolonlara beton doldurulması boş AL tüplerin erken yırtılmasını ve yerel burkulmaları geciktirir. Böylece daha fazla aksel yük taşıma kapasitesi sağlar. Bu durum 2 mm kalınlığındaki AL kolonlarında daha da belirgindir. SS kolonlarının CCR değerleri ise en düşük değerlerdir. Bu da boş SS kolonlarının dayanımının oldukça yüksek olmasından kaynaklanmıştır.

Betona lif ilave edilmesi tüm kolonların tepe yüklerinde %5 civarında artışa neden olmuştur. Bunun yanında %0.5 oranında çelik lifli beton kullanılmasının kolonların kırılma kısılması miktarını %10-15 oranında arttırdığı ve %0.5 oranında hibrit lifli beton kullanılmasının ise kırılma kısılması miktarını %15-25 oranında arttırdığı tespit

edilmiştir. Ayrıca lif katkısı oranının 0.5 ten 1.5'e yükseltilmesi kırılma kısılması miktarını daha da arttırmıştır. Sade ve lif katkılı beton doldurulmuş kolon numuneleri karşılaştırıldığında lif katkısının tüm AL, CS ve SS kolonlarının CCR değerlerinde sınırlı bir artışa neden olduğu görülmüştür. Çünkü betona lif katılması kolonların tepe yükünü çok az miktarda arttırmıştır. Ancak lifli beton kullanılması DI indis değerlerinde önemli oranda artışa neden olmuştur.

SI indis değerleri kolon profil malzemesine ve kullanılan beton sınıfına göre değişmektedir. En yüksek SI değerleri SS kolonlarının en düşük SI değerleri AL kolonlarında görülmüştür. C30 yerine C70 kullanılması SI değerlerini düşürmüştür. Lif katkı türü hibrit lif olan numuneler çelik lif katkılı numunelerden daha yüksek SI değerine sahip oldukları görülmüştür. Sade beton yerine lif katkılı beton kullanılması ise SI değerlerinde artış sağladığı görülmüştür. En yüksek SI değerleri SS -C30- 4-Hy%1.5 mm kolonuna ait olduğu görülmüştür.

Sade ve lif katkılı beton doldurulmuş kolon numuneleri karşılaştırıldığında betona çelik ve sentetik lif katılması CS ve SS kolon numunelerinin DI değerlerinde AL kolon numunelerinden daha yüksek miktarda bir artışa neden olduğu görülmüştür. Bu sonuç bize çelik ve sentetik liflerin CS ve SS kolon numunelerinde kırılma yüküne kadar tam kapasite çalıştığını göstermektedir.

SS ve CS kolonlarının AL kolonlarından daha yüksek enerji yutma kapasitesinde olduğu görülmüştür. AL kolonlarının daha düşük enerji yutma kapasitesine sahip olmasının nedeni AL kolonlarında meydana gelen erken yırtılmalardır. Ayrıca kolon et kalınlığının ve betonun basınç dayanımının artmasının enerji yutma kapasitesini önemli oranda arttırmıştır.

Betona çelik veya hibrit lif katılması kolonların tepe yükü öncesi davranışına etkisi sınırlıdır. Her ne kadar lif katkılı beton kullanılması ile kolonların tepe yükü öncesi davranışına etkisi sınırlı olsa da lif katkısı özellikle CS ve SS kolon numunelerinin tepe yükün sonraki enerji yutma kapasitelerini %275-400 oranında arttırmıştır. Sadece çelik lif kullanımı yerine çelik ve sentetik liflerin karma olarak kullanılması kolonların enerji yutma kapasitelerinde önemli oranda arttırdığı gözlenmiştir. Bu sonuçlar sentetik liflerin gelecekte, farklı yapısal uygulamalarda kullanılan betonun kırılma davranışını iyileştirmek için çelik liflere iyi bir alternatif olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Afshan, S., Gardner, L., 2013. Experimental study of cold-formed ferritic stainless steel Sections, *Journal of Structural Engineering*, **139** (5): 717-728.
- Deng, J., Zheng, Y., Wang, Y., Liu, T., Li, H., 2017. Study on axial compressive capacity of FRP-confined concrete-filled steel tubes and its comparisons with other composite structural systems, *Hindawi International Journal of Polymer Science*, Article ID 6272754.
- Ellobody, E., Ghazy, M.F., 2012. Experimental investigation of eccentrically loaded fiber reinforced concrete-filled stainless steel tubular columns, *J. Constr. Steel Research*, **76**(5): 167–176.
- Furlong, R. W., 1967. Strength of steel-encased concrete beam columns, *Journal of the Structural Division*, **93**(5): 113-124.
- Furlong, R. W., 1968. Design of steel-encased concrete beam columns, *Journal of the Structural Division, ASCE*, **9**(1): 267-281.
- Gardner, L., Lam, D., Burdett, M., 2010. Behavior of axially loaded concrete filled stainless steel elliptical stub columns, *Advances in Structural Engineering*, **13**(3): 493-500.
- Güler, S., Lale, E., Aydoğan, M., 2013. Behavior of SFRC filled steel tube columns under axial load, *Journal of Advanced Steel Construction*, **9**: 14-25.
- Güler, S., Copur, A., Aydoğan, M., 2014. A comparative study on square and circular high strength concrete-filled steel tube columns, *Journal of Advanced Steel Construction*, **10**: 234-247.
- Hassanein, P., 2000. Compression strength of aluminum columns-experimental and numerical studies, *Proc., 3rd Int. Conf. Coupled Instabilities of Metal Structures*, (CIMS' 2000), ICP, London, 241–248.
- Hassanein, M.F., Kharoob, O.F., Liang, Q.Q., 2013. Behavior of circular concrete-filled lean duplex stainless steel tubular short columns, *Thin Walled Structures*, **68**: 113-123.
- Ho, P.H.K., 2007. Economics planning of super tall buildings in Asia Pacific Cities, *International Federation of Surveyors, The XXXFIG General Assembly and Working Week*, 13–17.05.2007, Hong Kong.
- Kim, D. K., 2005. *A Database for Composite Columns* (Yüksek lisans tezi, basılmamış). School of Civil & Environmental Engineering Georgia Institute of Technology, Georgia.
- Lam, D., Giakoumelis, G., 2004. Axial Capacity of Circular Concrete-Filled Tube Columns, *Journal of Constructional Steel Research*, **60**(7): 1049-1068.
- Langseth, M., Hopperstad, O.S., 1997. Local buckling of square thin walled aluminum extrusions. *Thin-Walled Structures*, **27**(1): 117–126.
- Lavanya, J., Elangovan, R., 2017. The structural behavior of concrete filled steel tubular columns, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, **4**(6): 142.
- Liew, J.Y.R., 2004. Buildable design of multi-storey and large span steel structures, *Journal of Steel Structures*, **4**(2): 53–70.
- Yu, Q., Tao, Z., Wu, Y.X. 2008. Experimental Behavior of High Performance Concrete-Filled Steel Tubular Columns, *Thin-Walled Structures*, **46**(4): 362–370.

- Lu, Y., Li, N., Li, S., Liang, H., 2015. Behavior of steel fiber reinforced concrete-filled steel tube columns under axial compression, *Construction and Building Materials*, **95**: 74-85.
- Mazzolani, F.M., Piluso, V., Rizzano, G., 2001. Experimental analysis of aluminum alloy channels subjected to local buckling under uniform compression, *In: Proc, C.T.A., Italian Conference on Steel Construction, ACS*, Milano, Italy, 1–10.
- Patel, V., Liang, Q., Hadi, M. N. S., 2014. Nonlinear analysis of axially loaded circular concrete-filled stainless steel tubular short columns, *Journal of Constructional Steel Research*, **101**(1): 9-18.
- Portoles, J.M., Serra, E., Romero, M.L., 2013. Influence of ultra-high strength infill in slender concrete-filled steel tubular columns, *J. Constr. Steel Res.*, **86**: 107–114.
- Richard, L., Xiong, D.X., 2012. Ultra-high strength concrete filled composite columns for multi-storey building construction, *Advances in Structural Engineering*, **15**(9): 100-105.
- Sakino, K., Tomii, M., Watanbe, K., 1985. Sustaining load capacity of plain concrete stub columns confined by circular steel stub, *Proc Int. Specially Confined Concrete Filled Steel Tubular Struct*, 112-118.
- Schneider, S.P., 1998. Axially loaded concrete-filled steel tubes, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **124**(10): 1125-1138.
- Sevim, B., Altunışık, A.C., 2016. Kompozit kolon elemanların modal davranışlarının belirlenmesi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, **8** (1): 13-14.
- Shanmugam, N.E., Lakshmi, B., 2001. State of the art report on steel–concrete composite columns, *Journal of Constructional Steel Research*, **57**: 1041–1080.
- Su, M., Young, B., Gardner, L., 2014. Testing and design of aluminum alloy cross sections in compression, *Journal of Structural Engineering*, **140** (9): 500.
- Susantha, K.A.S., Ge, H., Usami, T., 2001. Uniaxial stress–strain relationship of concrete confined by various shaped steel tubes, *Engineering Structures*, **23**: 1331–1347.
- Tomii, M., Sakino, K., 1979. Experimental studies on the ultimate moment of concrete filled square steel tubular beam columns, *Transactions Japan Concrete Institute*, no.275.
- Uy, B., Patil S. B., 1996. Concrete filled high strength steel box columns for tall buildings: behavior and design, *The Structural Design of Tall Buildings*, **5**: 75-94
- Xiong, D.X., Richard Liew, J.Y. 2012. Ultra-High Strength Concrete Filled Composite Columns for Multi-Storey Building Construction, *Advances in Structural Engineering*, **15**(9): 425-500.
- Wang Y.C., Moore D.B., 1997. A design method for concrete-filled section composite columns, *The Structured Engineer*, **75**(21): 368–372.
- Wise, C.M., Bridges, H.W., Walsh, S.R., Smith, C.J., Cross, P.T. and Bailey, P.A., 1996, *The new Commerzbank headquarters, Frankfurt, Germany, the Structural Engineer, J. Inst. Struct. Engrs, UK*, **74**(7): 111–122.
- Young, B., Ellobody, E., 2006. Experimental investigation of concrete-filled cold-formed high strength stainless steel tube columns, *Journal of Constructional Steel Research*, **62**(5): 434-448.
- Zhou, F., Young, B., (2008). Tests of concrete-filled aluminum stub columns, *Thin-Walled Structures*, **46**(6): 573-583.

ÖZ GEÇMİŞ

1989 yılında Muş ili Demirkapı Köyünde doğdu. İlk, orta öğrenimini Muş'ta ve lise öğrenimini Ankara'da tamamladı. 2014 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2016 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında tezli yüksek lisans eğitimine başladı.



T.C 68
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 16/05/2019

Tez Başlığı / Konusu: Çelik Tüp İçine Lif Katkılı Beton Doldurulmuş Kısa Kompozit Kolonların Davranışlarının İncelenmesi

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 66 sayfalık kısmına ilişkin, 16/05/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından İthenticate intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 2 (yüzde iki) dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.


16.05.2019

Adı Soyadı: Muhammet Aydın

Öğrenci No: 159101178

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı:

Statüsü: Y. Lisans


Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR



(Doç.Dr.Soner Güler)

ENSTİTÜ ONAYI
UYGUNDUR


Prof.Dr.Suat ŞENSOY
Enstitü Müdürü

(Unvan, Ad Soyad, İmza)