

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETONARME KOLON PERFORMANSINA
ÇELİK LİF ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Zehra DANDİN**

**Tezi Yöneten
Doç. Dr. Fatih ALTUN**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Eylül 2009
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETONARME KOLON PERFORMANSINA
ÇELİK LİF ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Zehra DANDİN**

**Tezi Yöneten
Doç. Dr. Fatih ALTUN**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Eylül 2009
KAYSERİ**

Doç. Dr. Fatih ALTUN danışmanlığında Zehra DANDİN tarafından hazırlanan “**Farklı Çelik Lif Oranlarıyla Betonarme Kolonların Performanslarının Değerlendirilmesi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

15.09.2009

JÜRİ:

Başkan : Doç. Dr. Fatih ALTUN 

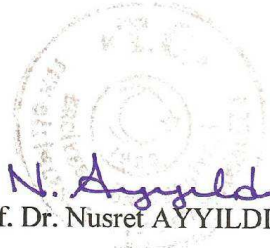
Üye : Prof. Dr. Cengiz Duran Altın 

Üye : Prof. Dr. Tefaruk Haktanır 

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 09/10/2009 tarih ve 2009/34-08 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

09/10/2009



 Prof. Dr. Nusret AYYILDIZ
 Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

“Betonarme Kolon Performansına Çelik Lif Etkisinin İncelenmesi” konulu tez çalışmamın seçiminde, yürütülmesinde ve sonuçların değerlendirilmesinde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, büyük anlayış ve sabır gösteren değerli hocam Sayın Doç. Dr. Fatih Altun’a teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarımda Sümer Deprem Araştırma laboratuvarlarının imkânlarını kullanmama izin vererek desteğini esirgemeyen Erciyes İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR’a ayrıca çok teşekkür ederim.

Yorucu deneysel çalışmalarımın yürütülmesinde her türlü destek ve emeklerini esirgemeyen sevgili ve saygıdeğer dostlarım İnş. Yük. Müh. Oğuz DÜĞENCİ’ye, ve İnş. Yük. Müh. Tamer DİRİKLİGİL’e yardımlarından dolayı minnettarım. Çalışmalarda bütün gayretleriyle emek veren ve özverili bir şekilde çalışan Malzeme Laboratuvarı stajyer öğrencilerine, isimlerini teker teker yazamamanın burukluğunu yaşayarak en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Bilimsel çalışmalara verdikleri önemin bir kanıtı olarak büyük gönüllülükle deneysel çalışmalarımda kullandığım kaynakların temin edilmesinde yardımcı olan Kayseri Çimsa Hazır Beton A.Ş. Genel Müdürü Mehmet ERDİNÇ’e destekleri için minnettarım.

Ayrıca lisans döneminde tanıdığım her zaman her türlü desteğini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Ali S. ERDOĞAN’a ayrıca çok teşekkür ederim.

FBY-08-474 no’ lu bu yüksek lisans tezi kapsamında gerçekleştirilen külfetli çalışmalarda gerekli maddi desteğin kolaylıkla sağlanabilmesi için tüm imkânlarını kullanımımıza sunan Erciyes Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimi’ ne teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, hayatımın her aşamasında sonsuz desteklerini gördüğüm Annem, Babam ve Kardeşlerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

BETONARME KOLON PERFORMANSINA ÇELİK LİF ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Zehra DANDİN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Eylül 2009

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Fatih ALTUN

ÖZET

Bu çalışmada, C20 beton kalitesindeki betona çelik lif 30 kg/m^3 ve 60 kg/m^3 oranlarında ilave edilerek çelik lif katkısız olarak 3 adet betonarme kolon numunesi hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 28 gün sonunda yatay yük etkisi altında kırılarak taşıma gücü özellikleri ve performansları incelenmiştir.

Artan çelik lif oranı betonarme kolon davranışlarında pozitif bir katkı sağlamıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda taşıma gücü değişimi için çok önemli artış olmamıştır fakat enerji tüketimlerinde artış olmuştur. Bu artış çelik lif katkısız referans numuneye göre artan lif oranı ile birlikte %11 ve %19 olarak gerçekleşmiştir. Sünekliliğin bir ölçüsü olan bu değer, özellikle depremlerde betonarme kolonlara lif katkısının önemli performans sağladığının sonucudur.

Çelik lif katkılı numunelerde, çatlak gelişimi daha sık ve çok sayıda meydana gelmiş olmamıştır, ayrıca çatlak boyutları küçük mertebelerde kalmıştır. Bunun sonucunda rijitlik azalması artan çelik lif oranı ile birlikte çelik lif katkılı kolonlarda daha az olmuştur. Özellikle mafsallık oluşan düğüm noktası bölgesinde beton ufalanmaları çelik lif katkısı ile azalmıştır.

Sonuç olarak, çelik lif katkısı deneysel veriler değerlendirildiğinde süneklik ve rijitlik değişimlerinde etkili olmuştur. Özellikle çelik lif katkılı numunelerde çatlak gelişiminin azalması ve çatlak açıklıklarının düşük kalması betonarme davranış için önemlidir. Betonarme numune performanslarının çelik lifli elemanlarda artması, betonarme taşıma gücü hesaplarında çelik lifin etkisinin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Çelik lifli beton, betonarmede performans, statik itme analizi, plastik mafsallık, süneklik.

PERFORMANCE ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS WITH DIFFERENT STEEL FIBER QUANTITY

Zehra DANDİN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, September 2009

Thesis Supervisor: Doç. Dr. Fatih ALTUN

ABSTRACT

In this study, three RC columns , which are C20 quality , added RN 80/60 steel fiber are produced. Steel fiber 's quantities are about 0 kg/m³, 30 kg/m³ and 60 kg/m³.after samples completed solidification in 28 day period, they had broken under horizontal load and examined their performance.

Increasing steel fiber quantity contributes RC column behavior positively.The results of experiments that made, bearing capacity doesn't change significantly but energy consumption increases. This increasement with steel fiber becomes 11% and 19% according to sample without steel fiber. This value which is measurement of ductility contributes the performance of RC column with addition steel fiber especially at earthquakes.

In the samples with steel fiber, progress of crack doesn't become more frequent and in large quantity and also crack dimensions stay minor extent. As a result of this, decreasing of rigidity with increasing steel fiber quantity become less than samples with steel fiber. Especially, at nodal point zone consists of hinge, concrete disintegration reduces with steel fiber addition.

To sum up, the addition of steel fiber, while considering the experiment results, affects the changing at rigidity and ductility. Above all, to reduce crack progress and to remain crack span at lower degree is very important for RC behavior. Increasing the performance of RC sample with steel fiber, considering the effect of steel fiber is necessary for calculating bearing capacity.

Keywords: Concrete with steel fiber, reinforced concrete performance, pushover analysis, plastic hinge, ductile.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
KISALTMALAR VE SİMGELER.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix

1. BÖLÜM.....	1
GİRİŞ.....	1
1.1.TDY2007’de Doğrusal Olmayan Davranış.....	3
1.2.Yapı Değerlendirme Yöntemleri	4

2. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER.....	6
2.1.Çelik Lifli Betonlar.....	6
2.1.1.Liflerin (Fiber) Tanımı.....	6
2.1.2.Çelik Liflerin Beton İçerisindeki Davranışı.....	7
2.2.Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Betonun Yük Altındaki Davranışı.....	8
2.3.Çelik Liflerin Betona Kazandırdığı Nitelikler.....	9
2.4.Çelik Lifle Güçlendirilmiş Betonun Kullanım Alanları.....	12
2.4.1. Endüstriyel Döşemeler (Fabrika Döşemeleri, Ambar Ve Hangar Zeminleri, İskele Ve Rıhtım Kaplamaları, vs.)	12
2.4.2. Havaalanı Kaplamaları.....	13
2.4.3. Liman Kaplamaları.....	13
2.4.4. Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Beton Yapılar.....	13
2.4.5.Önyapımlı Beton Elemanlar.....	14
2.4.6.Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Püskürtme Beton (Shotcrete) Uygulamaları.....	14
2.4.7.Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Betonun Su Yapılarında Kullanılması.....	15
2.5.Betonlarda Kullanılan Çelik Lif Tipleri.....	16

3. BÖLÜM

DENEY NUMUNELERİNİN ÜRETİLMESİ.....	17
3.1.Beton.....	17
3.1.1.Bileşimin Saptanmasında Esaslar.....	18
3.1.2.Betonun Elastisite Modülü.....	19
3.2.Beton Dayanımı	21
3.3.Betonun Deprem Etkisinde Davranışı	21
3.4.Çelik Donatı Özellikleri.....	23
3.4.1. Donatı	23
3.4.2.Betonarme Çeliğinin Mekanik Özellikleri.....	23
3.4.3.Deneyde Kullanılan Donatının Çekme Deneyi Sonuçları.....	24
3.5.Kullanılan Betonarme Kolon Numunelerin Özellikleri.....	25
 4. BÖLÜM	
DENEYLERİN YAPILMASI.....	28
4.1.Deney Düzenineğinin Tanıtımı.....	31
4.2. Numunelerin Kırılması.....	31
4.2.1.Bir Nolu Numune Kırımı	32
4.2.2. İki Nolu Numune Kırımı.....	35
4.2.3.Üç Nolu Numune Kırımı.....	38
 5. BÖLÜM	
ANALİTİK ÇALIŞMALAR.....	42
5.1.Doğrusal Olmayan Analiz.....	42
5.1.1. Kapasite Spektrumu Yöntemi.....	43
5.1.2. Deplasman Katsayıları Yöntemi.....	44
5.1.3. Lineer Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi.....	46
5.1.4. Lineer Olmayan Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi.....	46
5.1.5. Kapasite Spektrum Yöntemi (Push-Over).....	47
5.2.Sap2000 İle Nonlineer Analiz.....	47
5.3.Bulguların Değerlendirilmesi.....	48
 6. SONUÇ.....	58
KAYNAKLAR.....	
EKLER.....	
ÖZGEÇMİŞ.....	

KISALTMALAR VE SİMGELER

σ	: Gerilme, MPa (N/mm ²).
ε	: Birim Deformasyon
E	: Elastisite Modülü, MPa (N/mm ²).
f_c	: Basınç Dayanımı, MPa (N/mm ²).
D	: En Büyük Agregat Boyutu
kg.	: Kilogram
I	: Bina Önem Katsayısı
R _a	: Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı

TABLolar LİSTESİ

Tablo:2.1. Lif Takviyeli Betonların Bazı Özelliklerinde Matris Malzemesinin
Özelliklerine Oranla Görülen Artışın Yaklaşık Değeri

Tablo 3.1. Hazır Beton Karışım Oranları

Tablo.3.2. Çekme Dayanımı Deneyi Sonuçları

Tablo 4.1. Bir Nolu Numunenin Çevrim Tablosu

Tablo 4.2. İki Nolu Numunenin Çevrim Tablosu

Tablo.4.3. Nolu Numunenin Çevrim Tablosu

ŞEKİLLER LİSTESİ

- Sekil 1.1. Eleman İçin Kuvvet-Deformasyon Eğrisi
- Şekil 2.1. Yük – Sehim Eğrisi
- Şekil 3.1. Granülometri Cetveli
- Şekil 3.2. Betonarme Numune Detayları
- Şekil 3.3 Betonarme Numune Karot Sonuçları
- Şekil 3.4. Kolon Numune Üretimi
- Şekil 3.5. Üretimi Tamamlanmış Numuneler
- Şekil 4.1. Yükleme Ünitesi ve Numune Görünümü
- Şekil 4.2. Temele Yerleştirilmiş LVDT
- Şekil 4.3. Kolonun Orta Bölgesine Yerleştirilmiş Potansiyometrik Cetvel
- Şekil 4.4. Kolon Düzeneğe Yerleştirilirken
- Şekil 4.5. Numunede Data Alınan Noktalar
- Şekil 4.6. Birinci Numunede oluşan çatlaklar
- Şekil 4.7. Birinci Numunede Kolon Temel Birleşim Bölgesinde Oluşan Mafsallaşma
- Şekil 4.8. Birinci Kolonda Son Döngüde Oluşan Elastik Eğri
- Şekil 4.9. İkinci Numune Kolon Temel Birleşimindeki Deformasyon
- Şekil 4.10. Kolonda Oluşan Belirgin Elastik Eğri ve Çatlak Oluşumu
- Şekil 4.11. Kolon Temel Birleşimindeki Deformasyon
- Şekil 4.12. Kolonda Oluşan Çatlaklar
- Şekil 4.13. Kolon Elastik Eğrisi
- Şekil 5.1. Teorik Verilerden Elde Edilen Taban Kesme-Deplasman Eğrisi
- Şekil 5.2 Tepe Deplasmanı Çevrim Eğrisi
- Şekil 5.3 1 nolu numune yük-deplasman eğrisi
- Şekil 5.4.a 1 nolu numune yük-deplasman eğrisi zarfı (itme)
- Şekil 5.4.b 1 nolu numune yük-deplasman eğrisi zarfı (çekme)
- Şekil 5.5 1 nolu numune rijitlik-çevrim no değişimi eğrisi
- Şekil 5.6 Tepe Deplasmanı Çevrim Eğrisi
- Şekil 5.7 2 nolu numune yük-deplasman eğrisi
- Şekil 5.8.a 2 nolu numune yük-deplasman eğrisi zarfı (itme)
- Şekil 5.8.b 2 nolu numune yük-deplasman eğrisi zarfı (çekme)
- Şekil 5.9 2 nolu numune rijitlik-çevrim no değişimi eğrisi
- Şekil 5.10 Tepe Deplasmanı Çevrim Eğrisi

Şekil 5.11 3 nolu numune yük-deplasman eğrisi

Şekil 5.12.a 3 nolu numune yük-deplasman eğrisi zarfı (itme)

Şekil 5.12.b 3 nolu numune yük-deplasman eğrisi zarfı (itme)

Şekil 5.13 3 nolu numune rijitlik-çevrim no değişimi eğrisi

Şekil 5.14 Bütün numunelerde rijitlik-çevrim no değişiminin bir arada verilmesi

Şekil 5.15 Bütün numunelere ait yük-deplasman eğrisi zarfları (itme)

Şekil 5.16 Bütün numunelere ait Enerji tüketim-çevrim eğrisi

1. BÖLÜM

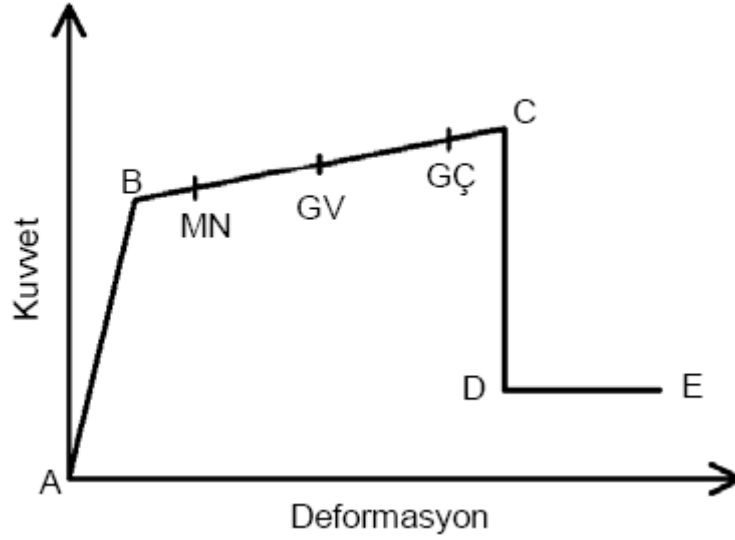
GİRİŞ

Aktif deprem kuşaklarından biri üzerinde bulunan ülkemizde, riskli bölgelerdeki önemli yapılardan başlamak üzere tüm yapıların deprem performanslarının tespit edilmesi gerekmektedir. Bir yapının deprem performansı, yapının talep edilen sismik yer hareketini karşılayabilme kapasitesi olarak tanımlanabilir. Bu anlamda *Afet Yönetmeliği (ABYYHY-1998)* içinde yer alan depreme dayanıklı yapı tasarım kuralları deprem afetine daha fazla vurgu yaparak *Deprem Yönetmeliği (DBYBHY-2007)* adı altında yenilenmiştir. Yönetmeliğe “Mevcut Yapıların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi” adı altında ilk defa olarak mevcut yapılarla ilgili değerlendirme ve güçlendirme hükümleri içeren bir bölüm eklenmiştir. Belirtilen bu bölümde yapıların deprem etkisi altında doğrusal ötesi davranışının yansıtılması için, deprem mühendisliğinde dünyada yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi olarak “Artımsal İtme Analizi” (pushover analiz) önerilmektedir.

Bugünkü tasarım yönetmeliklerinde sözü edilen performansa dayalı tasarım, depreme maruz kalan herhangi bir yapıda meydana gelen hasarların belirlenen performans seviyeleriyle karşılanması şeklinde açıklanan daha genel bir tasarım felsefesidir. Bu felsefeye göre, geleneksel kuvvete dayalı tasarımın yerini alması için performansa dayalı tasarım ve değerlendirme ile ilgili çalışmalar önem kazanmıştır. Meydana gelen gelişmeler çerçevesinde giderek daha yaygın olarak benimsenen bu yaklaşım, mevcut yapıların deprem performanslarının belirlenmesinde ve yeni yapıların deprem tasarımında, şekil değiştirmeye göre tasarım ilkesinin esas alınmasını öngörmektedir.

Betonarme yapı elemanlarının ve sistemlerinin doğrusal olmayan davranışını dikkate alarak yapılacak çözümlemeler, statik ve dinamik doğrusal olmayan çözümlemeler

olmak üzere ikiye ayrılır. Her ikisinde de kesitin doğrusal olmayan davranışını ifade etmek üzere Şekil 1.1'deki yük-deplasman eğrileri kullanılmaktadır. Yük deplasman eğrisinin karakteristik köşeleri olan A-B-C-D-E noktalarının tanımı kesitin geometrik özellikleri, malzeme özellikleri ve yükleme koşullarına göre değişmektedir [1].



Şekil 1.1. Eleman için Kuvvet-Deformasyon Eğrisi;

- MN** : “*Minimum Güvenlik Sınırı*”: Kritik kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcı,
GV : “*Güvenlik Sınırı*”: Kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranış sınırını,
GC : “*Göçme Sınırı*”: Kesitin göçme öncesi davranış sınırını göstermektedir.

Kolonlar yapının deprem sırasında davranışında çok önemli bir role sahip elemanlardır. Bu açıdan kolonlarda oluşan deformasyonlar mümkün olduğu kadar küçük değerlerde kalmalıdır. Hiperstatik taşıyıcı sistem olarak teşkil edilen betonarme yapılarda, betonarme kiriş hasarları yerel göçmelere neden olurken betonarme kolon hasarları, istenmeyen gevrek yapı göçmesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sonuç yüksek can kaybının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. [2].

1.1. TDY 2007’de Doğrusal Olmayan Davranış

Deprem Yönetmeliği, yeni yapılacak binaların depreme dayanıklı tasarımında kuvvete dayalı yöntemler öngörmektedir. Yapılarda deprem etkisinden ortaya çıkan iç kuvvetlerin kesitler tarafından karşılanması söz konusudur. Mevcut binaların değerlendirmesi ve güçlendirilmesinde ise, genel olarak bu kural çerçevesinde kalınarak yeni binalara göre daha ayrıntılı ve farklı bir yaklaşım öngörülmüştür. Bu farklı yaklaşımının yakın bir gelecekte yeni binaların tasarımında da esas alınması muhtemeldir [1].

Deprem Yönetmeliği’nde verilen bütün kayıtları aşağıdaki gibi üç ana bölümde toplamak mümkündür [3],

- 1) Yönetmelik binanın kullanım amacına ve bulunduğu deprem bölgesine, binanın taşıyıcı sisteminin özelliğine ve taşıyıcı sistemin statik ve dinamik parametrelerine bağlı olarak bir deprem etkisi tanımlar. Bu etki *Tasarım Depremi* olarak adlandırılır. Tasarım Depremi, orta şiddetteki bir deprem olarak ve *Bina Önem Katsayısı* $I = 1$ olan binalar için, ilgili bölgede bu depreminin 50 yıllık bir süre içinde asılma olasılığı %10 olacak şekilde belirlenir. Burada 50 yıl binanın ömrü ile ilgili olmayıp, sadece kabul edilen bir ölçüdür. Tasarımda deprem etkisi taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışını öngörerek bulunan deprem etkisi R_a , Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı ile azaltır. Deprem etkisi altında taşıyıcı sistemde oluşacak yükler ve kesit etkilerini hesap eder. Bu etkileri karşılayacak şekilde kesit tasarımı yapılır.
- 2) Yönetmelik, taşıyıcı elemanların hasarı yanında taşıyıcı olmayan elemanların da hasarının azaltılmamış deprem yükü altında yatay yer değiştirmelerin sınırlandırılmasını öngörür. Bu sınırlandırma ikinci mertebe etkilerin sınırlandırılması olarak kabul edilebileceği gibi, belirli ölçüde daha az etki meydana getirecek olan “*hafif şiddetteki deprem*”lerde binalardaki yapısal olmayan sistem elemanlarındaki hasarın minimuma indirilmesi olarak da kabul edilebilir.
- 3) Yönetmelik daha küçük olasılıkla daha büyük deprem etkilerinin ortaya çıkabileceğini uyarır. Ekonomik olmaması sebebiyle daha büyük deprem

etkilerine göre tasarımın yapılması beklenmez ve böyle bir depremde yapısal hasarın sınırlandırılarak can kaybının en aza indirilmesi amaçlanır. Yönetmelik bunun için, gevrek güç tükenmesi biçimlerini önlemeyi hedefler ve kapasite tasarımını öne çıkarır. [3]

1.2. Yapı Değerlendirme Yöntemleri

Deprem Yönetmeliği'nde mevcut binaların performansa dayalı değerlendirilmesinin, yakın bir gelecekte performansa dayalı tasarım olarak yeni binalarda da genişletileceği beklenilmektedir. Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan sınır durumlar ile bina performans seviyesi tanımlanır. Performans seviyesi, depremden sonra meydana gelecek hasar seviyesi ile ölçülür. Binanın deprem performansı, taşıyıcı sistem elemanlarının deprem hasar seviyesinin bir bütünü olarak ifade edilir. Kesitin hasar durumunun belirlenmesi, çözüm neticesinde elde edilecek, iç kuvvetler veya şekil değiştirmelerin, yönetmelikte tanımlanan sınır değerlerle karşılaştırılmasıyla yapılır. Bir taşıyıcı sistem elemanının hasar durumu, bu elemanın en çok zorlandığı kabul edilen ve doğrusal olmayan şekil değiştirmenin ortaya çıkması beklenen kesitlerin hasar durumları değerlendirilerek tanımlanır. [1]

Çalışmamıza konu olan çelik tel katkılı betonlar son yıllarda, tünel inşaatlarında, şev stabilitesi çalışmalarında, onarım ve güçlendirme işlerinde, baraj inşaatlarında, liman yapılarının onarım ve güçlendirilmesinde, beton büz borularda ve betonarme çerçevelerde, beton dayanımına olan olumlu etkileri ve enerji yutma kapasitelerinin yüksek olması nedeniyle, yaygın olarak uygulama alanı bulmaktadır[6]

Bu tez çalışmasında, numune kendi ağırlığından oluşan aksenal yük altında ve eğilme etkisi altında, çelik tel katkılı ve katkısız C20 beton sınıfında üretilmiş betonarme kolonların davranışları incelenmek istenilmiştir. Çalışmada deneysel olarak verilerin elde edilmesi yanında analitik olarak da numunenin analizi yapılacaktır. Analitik çalışmamızda deprem yönetmeliği'nde verilmiş olan nonlinear analiz yöntemi uygulanacaktır.

Çalışmada, betonarme kolonlar sabit beton sınıfında ve farklı çelik tel oranlarında üretilerek performanslarına olan etkileri ortaya konulmak istenmiştir. Bu amaçla deneysel çalışmada, sabit beton dayanımında betonarme kolona tek tip çelik tel farklı oranlarda katılarak davranışına olan etkileri araştırılmıştır. Betonarme kolonlarda tel oranı olarak 30 kg/m^3 ve 60 kg/m^3 değerleri seçilerek 3 adet betonarme kolon üretimi yapılmıştır. Deneylerde ise eğilmeye neden olacak yatay kuvvet betonarme elemana uygulanarak, göçme moduna ulaşana kadar hasara maruz bırakılmıştır. Yatay yükün uygulamasında itme ve çekme şeklinde çevrimli yükleme gerçekleştirilmiştir.

Analitik çözümler, doğrusal olmayan çözüm yöntemi ile yapılmıştır. Doğrusal olmayan çözüm yöntemi pushover analizi ile gerçekleştirilmiştir. Analitik ve deneysel olarak elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirilerek çelik telin betonarme kolonların davranışına etkileri ortaya konulmuştur. Özellikle enerji tüketimi değişimleri ile rijitlik azalması değişimleri de çalışmada verilmiştir.

Tez çalışması sonucunda, yapılan deneyler ile kolonların performansları irdelenmiş ve analitik veriler ile kıyaslaması yapılarak, betonarme kolonların deprem etkilerine karşı tasarımları için çelik tel kullanımı konusunda önerilerde bulunulmuştur.

2. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

Bu tez çalışması kapsamında iki farklı çelik lif oranı kullanılarak gerçek ölçekte betonarme kolon üretimi yapılmıştır. Betonarme kolonlar 28 gün sonucunda deneye tabii tutularak, çelik lif katkısının betonarme kolon davranışına etkileri incelenmiştir. Deneylerde kullanılan çelik tel özellikleri ve uygulama alanları aşağıda verilmiştir.

2.1. Çelik Lifli Betonlar

2.1.1. Liflerin (Fiber) Tanımı

Betonun özelliklerini değiştirerek iyileştirmek amacıyla betonun içerisine değişik miktarlarda katılan lifler çelik malzemesinden farklı tip ve boyutlarda üretilmiştir. Çalışmamıza konu olan çelik lifler birbirinden farklı değişik yöntemlerle üretilirler. Genellikle,

- Soğukta çekilmiş tellerin kesilmesi yöntemi,
- Çelik plakaların kesilmesi yöntemi,
- Sıcak çekme yöntemi,
- Çelik tellerin öğütülmesi,

yöntemi olarak sıralanabilir.

Lifleri tanımlayan en önemli öge lifin sahip olduğu mekanik özellikler ile onun sayısal bir parametre gibi ifade edilmesini sağlayan biçimsel özellikleridir. Yani,

- Görünüm oranı (lif uzunluğu/lif çapı),
- Geometrik yapı,
- Lifin çekme gerilmesi'dir.

Çelik lifler, düşük karbonlu çelik C1008'den üretilmiştir. En önemli nitelikleri yüksek ve üniform çekme gerilmesine karşılık düşük uzama özellikleridir. Çekme gerilmeleri ortalama olarak 1200 N/mm^2 olup, elastik limitleri %0,2'nin altındadır. Çelik liflerin geometrik şekilleri, çekme gerilmeleri, çap ve uzunlukları arasında belli bir oran vardır. Kullanılan çelik liflerin çapları 0,13 ile 1,0 mm arasında olup, uzunluk/çap oranları 30 ile 150 arasında değişmektedir. Lif hacmi fraksiyonu (V_f) diye tanımlanan ve betonda belirli bir yüzey alandaki lif alanını gösteren lif hacmi de %0,5 ile %3 arasında değişmektedir. Lifler düz, dalgalandırılmış olabileceği gibi uçları bükülmüş de olabilir.

Çelik liflerin beton içerisindeki performansı bu malzemelerin uzunluk/çap oranı, beton içerisindeki konsantrasyon ve liflerin geometrik yapısı ile de yakından ilgili olduğu için piyasada değişik lifler bulunmaktadır. Özellikle çekme ve kesme kuvvetlerine çalışan liflerin beton ile aderansı lifli betonun işlevini olumlu ya da olumsuz yönde etkiler. Dalgalanmış ve uçları bükülmüş liflerin çekme kuvvetleri etkisi ile matrinden ayrılması düz liflere oranla daha zordur. Çelik liflerin yüksek çekme mukavemetleri sayesinde kırılıp kopmaları çok zordur. Fakat bu liflerin yükün belli bir değerinden sonra matrinden sıyrılması lifli beton performansını olumsuz yönde etkileyen en önemli öğedir. [6]

2.1.2. Çelik Liflerin Beton İçerisindeki Davranışı

Çelik liflerin beton içerisindeki işlevi ile betonda kullanılan çeliğin işlevi hiçbir zaman birbiriyle karıştırılmamalıdır. Birçok yapısal uygulamada, donatı ve çelik lif belli bir yere kadar aynı işlevi görebilir. Fakat bunlar arasındaki en önemli fark beton içerisindeki fonksiyonları ve buradaki çatlakların kontrolünü nasıl ve ne zaman yaptıklarıdır. Statik hesaplamalarda, homojen bir malzeme olarak çelik lifler eğilme momentini alan çubuk veya hasır donatı gibi görülmemelidir. Çelik lifleri betonun yapısını değiştiren ve onu plastik davranışa zorlayan bir malzeme olarak görebiliriz. Çelik lifli betonun özelliği, onun arttırılmış elastikiyet ve enerji tutma yeteneğidir. [6]

Çelik lifler en büyük etkiyi, çatlakların ilk oluşum anında, çatlak sonlarındaki gerilmeleri kendi üstlerine ve sağlam alanlara transfer ederek yerine getirirler. Ayrıca içerisine çelik liflerin katılması ile performansında büyük artışlar görülen betonun

İlk çatlama sehim $O'B$ uzunluğuna karşılık gelen sehim (δ) olarak belirlenir.

İlk çatlak sehimine kadar, yük – sehim eğrisinin altındaki alan belirlenir. (Bu alan $O'AB$ üçgeni olup ilk çatlak için geçerli olan enerjidir.)

k çatlak sehiminin 3 katına (3δ) kadar yük – sehim eğrisinin altındaki alan belirlenir. Bu alan $O'ACD$ alanıdır. $O'D$ ilk çatlak sehiminin 3 katına eşittir. Bu alan, ilk çatlağa kadar olan alana bölünür, bulunan sayıya I_5 indisi denir. Böylece, hesaplanan I_5 indisine benzer biçimde diğer indisler (I_{10} , I_{20} ve diğ.) aşağıdaki gibi yazılabilir[7].

2.3. Çelik Liflerin Betona Kazandırdığı Nitelikler

Çelik liflerle güçlendirilmiş beton, deformasyon ve tokluk açısından lifsiz betona göre çok daha iyi performans gösterir. Liflerle güçlendirilmiş betonda, değişik gerilmeler ya da değişik nedenlerle meydana gelmiş çatlaklardan her biri çatlak ucuna yakın bir yerdeki bir lif ile takviye edilmiştir. Beton içerisinde lif bulunmaması durumunda, betona herhangi bir gerilme uygulandığında meydana gelen mikro çatlaklar gerilmenin artması ile birlikte çeşitli yönlerde doğru yayılarak belli bir gerilme değerinde betonun parçalanmasına neden olur[6].

Günümüze kadar lifli betonlar üzerine birçok araştırma yapılmış ve lifli betonun çok olumlu sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Özellikle liflerin betonun eğilme mukavemeti ve enerji yutma kapasitesinde artış sağladığı deneylerle tespit edilmiştir. Ayrıca çekme mukavemetinde de dikkate değer bir artış gözlemlenmiştir.

Craig (1986) betona lif ilave etmekle; Eğer yeterince aderansı sağlayacak lif varsa ani kırılmaların önüne geçileceğini, elemanların kesme kapasitelerini arttıracığını, betonarmede aderansı arttıracığını, oluşan gerilmeleri dağıtarak çatlakları küçülteceği ve kontrol altında tutacağı, ani patlama ve kırılmaların önüne geçeceğini ve betonun darbe dayanımını arttıracığını belirtmektedir. [8].

Lifli taze betonda genel işlenebilirliğin genel lif tipinden bağımsız olduğu saptanmıştır, betonun çengelli liflerle diğer lif tiplerine göre eğilme ve basınç davranışındaki olumlu artışlarda çok daha fazla etkili olduğu gözlenmiştir. Çelik liflerin çekme dayanımının

beton içerisine karıştırıldığında hangi ölçüde kullanılabileceği, lifin geometrik şekline ve lif ile beton matris arasındaki kenetlenme dağılımına bağlıdır. Bu nedenle birçok değişik geometrik formda çelik lif üretilmiş ve kullanılmaktadır. Ancak araştırmalar göstermiştir ki, beton özellikleri üzerindeki en büyük iyileştirmeyi düz çelik lifler ve ucu hafif kıvrımlı lifler sağlamaktadır. Burada bahsedilen çelik liflerin tamamı dairesel kesitlidir. Çelik lifli betonları daha ekonomik hale getirmek için değişik üretim metotları denenmiş ve sonuçta dairesel kesitli olmayan çeşitli tipte lifler de üretilmiştir[2].

Çelik lif takviyeli betonun mekanik özellikleri; lifin boyu, şekli ve beton içerisindeki miktarı, liflerin narinlik oranı, çimento cinsi ve miktarı, numunelerin boyutu, şekli, hazırlanma metotları, su/çimento oranı, kullanılan agregaların cinsi ve tane dağılımı ile yakından ilgilidir. Ayrıca ısıtma işlem uygulamalarının da lifli betonun mekanik özelliklerine etkisi büyüktür. Bu tip etkenler deney sonuçlarını büyük ölçüde etkiler ve normal betonun zayıf olan birçok özelliğini iyileştirerek performansını artırır. Bu iyileştirmeler genel olarak aşağıdaki tabloda görülmektedir[9].

Tablo 2.1. Lif Takviyeli Betonların Bazı Özelliklerinde Matris Malzemesinin Özelliklerine Oranla Görülen Artışın Yaklaşık Değeri; [9]

Betonun Özelliği	Artış (%)
Tokluk	100 – 1200
Darbe Dayanımı	100 – 1200
İlk Çatlak Dayanımı	25 – 150
Çekme Dayanımı	25 – 150
Basınç Dayanımı	± 25
Yorulma Dayanımı	50 – 100
Şekil Değiştirme Oranı	50 – 300
Eğilme Çekme Dayanımı	25 – 200
Kavitasyon – Erozyon Direnci	200 – 300
Elastisite Modülü	± 25

Çelik liflerin, betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisi, çeşitli faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Çelik liflerin basınç dayanımı açısından önemli bir artışa

neden olmadığı söylenebilir. Çelik lifler tarafından sağlanan dayanım artışı % 25 i nadiren geçer[9].

Çelik lif takviyeli betonlar için en önemli özellik eğilme altındaki davranışlarıdır. Çünkü çoğu uygulamalarda elemanlar eğilme yüküne maruz kalır. Lif katılması ile normal betonun eğilme direnci artırılır. Liflerle daha iyi bağ yapan betonlarda eğilme direncinde artış yüksek olur. Bu durumda eğilme dayanımındaki artış, basınç ve yarmada çekme dayanımından daha fazladır. Lif miktarı ve narinliği bu artışta önemli rol oynar. Uzun lifler numune boyunca daha iyi yönelerek daha fazla dayanım artışına neden olurlar. Belli lif tipinde daha yüksek narinlik oranına sahip olan lif, dayanımı daha çok artırır. [9].

Çelik liflerin $30-120 \text{ kg/m}^3$ miktarında ilave edilmesi, beton ve diğer harçların mühendislik özelliklerinin birçoğunda önemli düzeltmeler sağlamaktadır. Örneğin, çarpma dayanımı büyük miktarda artış göstermektedir. Ayrıca betonun eğilme mukavemetini, yorulma mukavemetini, parçalanma ve kırılma dayanımını artırmaktadır. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki çelik lifin bu değerden daha az katılması halinde, normal beton özelliği üzerinde çok büyük bir olumlu gelişme sağlamamaktadır. Daha yüksek oranda katılması durumunda ise normal betonun basınç dayanımından daha düşük bir değer elde edilmektedir. Buna en büyük etken de yüksek oranda katılmış liflerin karışım sırasında daha çok topaklanmasıdır. Buna paralel olarak ta yer yer beton içerisinde zayıf bölgeler ve hava boşlukları oluşmaktadır [10].

Liflerin karışıma düzgün olarak dağılması önemli olmaktadır. Bu durum malzemenin katılması ve karıştırılması safhalarında yapılmalıdır. Su dahil diğer karışım malzemelerinden sonra, lifler karıştırıcıya, karıştırıcı tam hızıyla dönerken belli bir hızda, 45 kg/dk, olacak şekilde ilave edilir ve karıştırılır. Lif ilavesinden sonra karıştırıcı belli bir oranda yavaşlatılır ve uygun bir hızda 40 – 50 devir çevrilir. [11].

Çelik liflerin kolon kiriş birleşim bölgesinde sünekliğin artırılmasında etkili olduğu araştırmalar sonucunda görülmüştür. Kolon–kiriş birleşim bölgeleri, deprem yüklerine maruz kalan yapıların en kritik alanını oluşturur. Ülkemizdeki yapı şartnameleri, bu bölgelerde etriyelerin devamını ve sıklaştırılmasını öngörmesine rağmen, beton

yerleştirme işleminin zorlaşması ve kesit yetersizlikleri nedeniyle, bu kural genelde uygulanmamaktadır. Ülkemizde yapılan araştırmalar, kolon–kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırılması yapılmadan, çelik lif katkısı ile çelik lif kullanılmayan referans betonuna kıyasla 2 kat daha fazla enerji yutulduğu görülmüştür [11].

Bu çalışmada donatıya ilaveten 3 farklı oranda (0 kg/m³, 30 kg/m³, 60 kg/m³) kancalı çelik tel ihtiva eden beton kullanılmıştır. Türkiye de BEKSA tarafından pazarlanan RN 80/60 tipi çelik lif kullanılmıştır. Üretim sırasında bu lif kümeleri su ile karıştırılınca yapıştırıcı kısımların çözülmesi ile tel lif halinde üretimin her tarafına dağılabilmektedir.

2.4. Çelik Lifle Güçlendirilmiş Betonun Kullanım Alanları

Çelik lif içeren betonlar normal betonlara oranla sağladıkları belirgin avantajlarından dolayı oldukça geniş kullanım alanına sahiptirler. Çelik liflerin beton içerisindeki davranışı ve yapısal özellikleri nedeni ile betonun birçok özelliğini güçlendirmesi sonucu çelik liflerle güçlendirilmiş beton, ağır çalışma koşullarına maruz kalan yapılarda, ince kesitlerin ve yüksek dayanım çeliklerinin (çekme, darbe, kavitasyon, erozyon, yorulma, tokluk, vs.) gerektiği yerlerde kullanılmaktadır. Bazı durumlarda ise beton içerisinde donatı ve hasır kullanmamak için ekonomik gerekçelerle de kullanılmaktadır. [6].

2.4.1. Endüstriyel Döşemeler (Fabrika Döşemeleri, Ambar ve hangar zeminleri, İskele ve rıhtım kaplamaları, vs.)

Endüstriyel zeminlerde taban döşemelerinin önemi oldukça fazladır. Bu nedenle, yapının işlevini yitirmeden hizmet görme yeteneğini sürdürmesi olarak tanımlanan servis ömrü kavramı, endüstriyel döşemeler için önemli bir tanımlamadır. Onarım ve yeniden inşa sadece mali bir yük getirmekle kalmaz, endüstriyel faaliyetin kesilmesine de neden olur. Endüstriyel döşemelerde çelik liflerle güçlendirilmiş beton kullanılmasının avantajlarını özetlersek;

- Döşeme kalınlığının azaltılması,

- Geleneksel hasır donatının kaldırılması,
 - Daha düşük bakım ve onarım masrafları,
 - İnşaatın kısa zamanda, basit ve kolay bir şekilde tamamlanması,
 - Çatlak yayılmasının durdurulması,
 - Döşemenin maruz kalacağı dinamik yüklemelere karşı daha da güçlendirilmesi,
 - Liflerin üç boyutlu donatı gibi çalışması sonucu yapısal güvenliğin artması,
- şeklinde sıralanabilir. [6].

2.4.2. Havaalanı Kaplamaları

Havaalanı uygulamalarında kaplama kalınlığının lifli beton ile azaltılması mümkündür. Havaalanlarında beton kalınlık hesabı limit gerilme kriterlerine göre yapılır. Çelik liflerle güçlendirilmiş betonların yüksek eğilme ve yorulma mukavemetleri nedeni ile kaplama kalınlığında azaltmalar yapılabilir. Havaalanı kaplamaları için diğer bir husus da çelik liflerle güçlendirilmiş beton kullanıldığında derz açıklıklarının büyütülebilmesidir. Lifli betonların yüksek çekme mukavemetleri nedeni ile derzler arasındaki mesafeyi büyütme ve derz sayısını azaltmak mümkündür. [6].

2.4.3. Liman Kaplamaları

Liman kaplamaları diğer kaplama çeşitlerinden farklı olarak ağır yol trafiğini karşılayacak şekilde projelendirilir. Liman kaplamalarında çelik lifli betonun kullanılması durumunda kaplama kalınlığının azaltılması ve derz açıklıklarının büyütülmesi mümkündür. [6].

2.4.4. Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Beton Yapılar

Termal ve mekanik şok tehlikesi olan, büyük sıcaklık farklılıkları ile karşı karşıya kalabilecek ve aynı zamanda yük taşıyacak olan yapılar genel uygulama alanlarıdır. Uygulamanın yapıldığı endüstri alanları şunlardır;

- Petrokimya: çatlak tehlikesine karşı,
- Çimento Üretimi: klinker döner fırının astarlanması,
- Çelik Üretimi: fırın kapıları ve kapakları,

- Jet motorları için test duvarı,
- Çelik kolonların yangına karşı astarlanması

Betona liflerin katılması sonucu yüksek sıcaklıkta kırılma eğilimi gösteren betonun kırılma eğilimi önlenerek, betonun termal ve mekanik şok direncinde önemli artışlar kaydedilir. [6].

2.4.5. Önyapımlı Beton Elemanlar

Ön yapımlı beton elemanlarda;

- Çatlak oluşumunun ve yayılmasının önlenmesi,
- Beton elemanın yük altında daha elastik davranabilmesi,
- Beton elemanın dinamik yüklere karşı mukavim davranabilmesi,
- Hasır çeliğin kaldırılarak daha ekonomik bir üretimin sağlanması amacıyla beton borularda, cephe ve bölme panellerinde, süzgeç ve menhol gibi üç boyutlu elemanlarda, kirişlerde kanaletlerde, kullanılır. [6].

2.4.6. Çelik liflerle Güçlendirilmiş Püskürtme Beton (shotcrete) Uygulamaları

Günümüzde, özellikle tünel kaplamalarında ve yamaç stabilitesini sağlamada püskürtme beton kullanılmaktadır. Bu tip inşaat çalışmalarında zemin kalitesi göz önüne alındığında çoğu zaman püskürtme beton kaplamanın takviye edilmesi zorunluluğu ortaya çıkar. Bu takviye püskürtme beton içerisinde çelik hasır kullanılarak gerçekleştirilir. Çelik liflerle güçlendirilmiş beton, teknik özellikleri itibari ile püskürtme beton içerisinde kullanılan donatının işlevini görebilir. Çelik liflerle güçlendirilmiş beton; donatının işlevini yüksek tokluğu, çatlak oluşumu direnci ve elastik davranabilme yetenekleri sayesinde üstlenir. Genel olarak, çelik liflerle güçlendirilmiş püskürtme beton yaygın olarak;

- Tünel, maden ocağı gibi yer altı kazılarında destek olarak,
- Yamaç-şev stabilitesi ve kazılan temellerin desteklenmesi amacıyla kaya ve zemin ankraj sistemleri ile birlikte,
- Çeşitli nedenlerle tahrip olmuş kanal kaplamalarının tamirinde,
- Köprü mesnetlerinin korunmasında,
- Bozulan deniz yapılarının onarımında,

kullanılır. [6].

Kuru ve ıslak sistem olarak her iki sistemde de püskürtme beton uygulaması yapılabilir. Fakat daha çok kuru sistem tercih edilir. Kuru sistemdeki karışımlarda basit olarak şu oranlar gözetilir; çimento %20 (diğer puzzolanik, silika tozu gibi malzemeler de dahil), iri agrega %15-20 ve toplam agreganın %50-65'i ölçüsünde de kum kullanılır.

2.4.7. Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Betonun Su Yapılarında Kullanılması

Su yapılarında, kritik yapılar olarak tanımlanan dolusavak, dolusavak boşaltım kanalı, dolusavak saptırıcıları, sıçratma eşiği, dipsavak, enerji kırıcı havuz gibi yapılar yapım sırasında gerekli kalite kontrolün yapılmaması, kavitasyon oluşturabilecek akım koşullarının varlığına rağmen projede yapısal önlemlerin ihmal edilmesi ve projedeki bazı olumsuzluklar nedeniyle potansiyel olarak kavitasyon hasarları tehlikesiyle karşı karşıyadır. [6].

Kavitasyon, oluşum mekanizması açısından dinamik bir etkidir. Bu nedenle kavitasyona maruz kalacak malzemenin dinamik etkiler ve tekrarlı yükler altında yüksek emme kapasitesine (tokluğuna) sahip olması gereklidir. Çelik liflerle güçlendirilmiş beton yukarıda anılan performansını, çekme deneyinde yük-deformasyon eğrisi altında kalan alanın büyüklüğü ile gösterir. Bu durumdaki betonu kırmak zordur. Bu amaçla Amerikan Beton Enstitüsü'nün (ACI) yaptığı çalışmalarda belirttiği üzere, çelik liflerle güçlendirilmiş betonlar su yapılarında kavitasyon hasarlarına karşı ya da bu tip hasarların onarımında kullanılmak üzere çelik lifli betonu uygun görmüştür. Bu çalışmalarda çelik lifli betonun dayanıklılığının diğer aynı bileşime sahip yüksek dayanımlı betona göre üç kat olduğu görülmüştür. [6].

2.5. Betonlarda Kullanılan Çelik Lif Tipleri

Betonlarda Kullanılan Çelik Lif Tipleri TS 10513 (1992)' e göre aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

A: Düz, pürüzsüz yüzeyli lifler

B: Bitüm uzunluğunca deforme olmuş lifler,

1. Üzeride girintiler (çentikler) açılmış lifler,
2. Uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) lifler,
3. Ay biçimi dalgalı lifler.

C: Sonu kancalı lifler

1. İki ucu kıvrımlı lifler,
2. Bir ucu kıvrımlı lifler.

Çelik lif takviyeli betonda, genellikle özel olarak bükülmüş kanca uçlu lifler kullanılır. Lif uçlarındaki bükülmeler, betona olan ankrajı kuvvetlendirir. Çelik lifler betonarme elemanları her doğrultuda takviye etmektedir. Özel tutkal ile yapıştırılmış demetler halinde bulunan lifler, beton karıştırma makinelerinde basit ve hızlı bir şekilde dağılmaktadır [12].

3. BÖLÜM

DENEY NUMUNELERİNİN ÜRETİLMESİ

Tez çalışması kapsamında iki farklı çelik lif oranı kullanılarak gerçek ölçekte 3 adet betonarme kolon üretimi yapılmıştır. Betonarme kolon üretimi ve detayları aşağıda verilmiştir.

3.1.Beton

Ülkemizde yapılan yapıların büyük bir bölümü betonarme taşıyıcı sistem ile tasarlanmıştır. Betonarme elemanlar, beton ve çelik donatının birleşimi olarak tarif edilmektedir. Beton ise, agrega çimento ve su karışımından oluşan yapay bir malzemedir. Gerçek bir beton ise, mukavemeti yüksek dış etkilere karşı dayanıklı, boşluksuz ve geçirgenliği olmayan bir malzeme olmalıdır. Betonda aranan diğer bir özellikte, servis ömrü boyunca beklenen davranışı sergilemesidir. Betonun servis ömrü ise durabilitesi ile orantılı olmaktadır. Yapıda betonun kalitesini belirleyen aşamalar şu şekilde özetlenebilir; tasarım, üretim, taşıma, yerleştirme ve küredür. Durabilitesi ve mukavemeti yüksek bir beton elde etmek; beton boşluk yapısına, hidratasyon gelişimine, çimento özellikleri ve çimento oranına bağlıdır.

Son sekiz yıl içerisinde yaşanan depremler ve felaketler ülkemizde beton kalitesinin önemini gündeme getirmiştir. Düşey yükler altında yeterli gibi görünen bir kalitesiz betonun, yatay yüklerin etkimesi ile birlikte ufalandığı, toz gibi dağıldığı ve çelik donatıyı saramadığı diğer bir deyişle aderansı sağlayamadığı gözlenmektedir.

Taze betondan beklenen ana nitelikler: i)işlenebilme, ii)sıcaklığın denetimi iii) agreganın en büyük boyutunun yeterli işlenebilirlik için uygun olmasıdır. Lif donatılı betonların işlenebilirliği başta olmak üzere bu konuda önemli gelişmeler vardır. Bilindiği gibi, beton çekmede zayıf ve gerekli olan süneklikten yoksundur. Basınç etkisi altında gösterdiği performansı, eğilme ve çekme etkisi altında gösterememektedir. Araştırmacılar, betonun bu mekanik özellikleri iyileştirebilmek için uzun yıllardan beri çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmalar doğrultusunda farklı malzemelerle beton ve elemanlarının donatılması uygulamaları yapılmıştır. Çelik lif katkılı betonlar da bu çalışmalardan biridir.

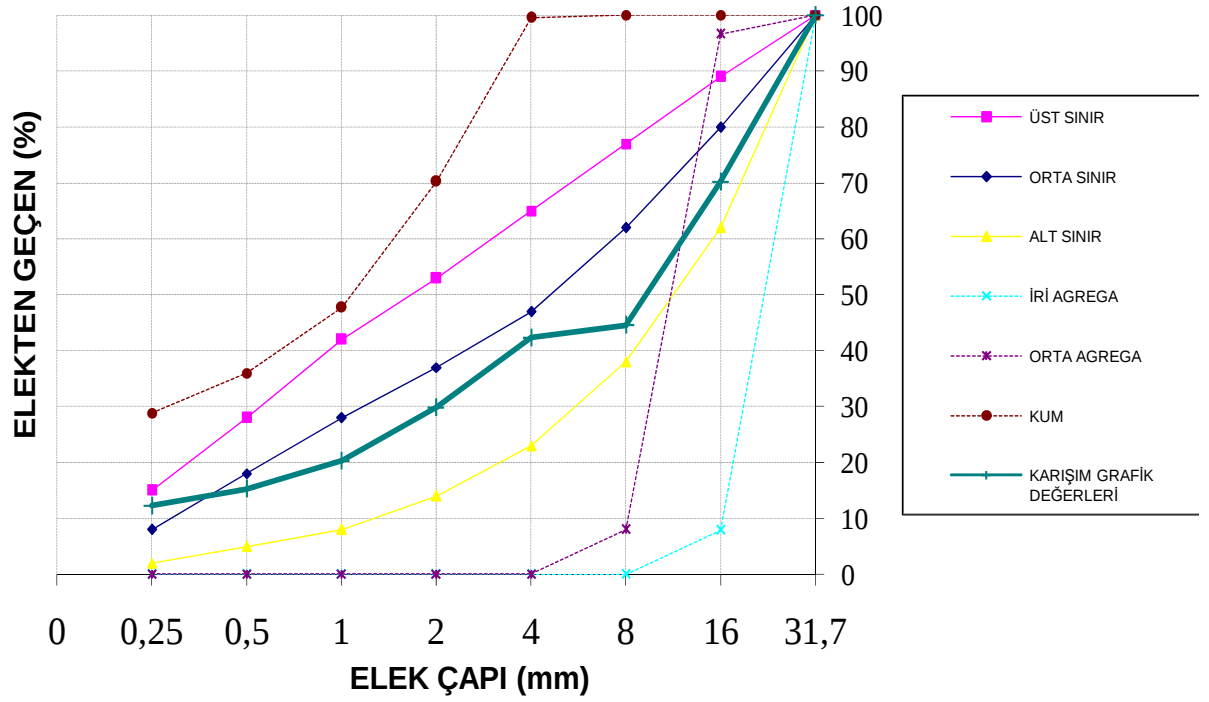
Betonda en çok aranan özellik basınç mukavemetinin yüksek bir değer alması veya bu karakteristiğin belli bir değer üzerinde olmasıdır. Zira betonun sahip olduğu mukavemetlerden değer itibarıyla en yüksek olanı basınç mukavemetidir. Bundan dolayı yapılarda beton daima basınç etkisi altında bırakılmakla bu malzemeden en iyi şekilde istifade edinilmeye çalışılmaktadır. Diğer taraftan basınç mukavemeti betonun kalitesini gösteren bir karakteristiktir. Basınç mukavemetinin büyük olması demek betondaki boşluk miktarının az olması, çimentonun hidratasyon olayının normal bir seyir izlemiş olması demektir. Bir betonun basınç mukavemeti fazla ise, o betonun eğilme veya çekme mukavemeti, yorulma mukavemeti düşük olsa bile yüksek değerler almaktadır. Böyle bir beton aynı zamanda zararlı ortamların etkisine karşı yeterli dayanıklılığa sahiptir.

3.1.1. Bileşimin Saptanmasında Esaslar

Beton malzemesinin aşağıda verilen şartları yerine getirmesi gerekmektedir.

- Betonda kullanılan yoğurma suyu çimento oranı TS500 (2000) de belirtildiği gibi olmalıdır,
- Betonun kompasitesi yüksek olmalıdır,
- Beton istenilen derecede işlenebilme özelliğine sahip olmalıdır.

Çalışmamızda yukarıda beton için verilen özellikler göz önüne alınarak agrega için elek analizi yapılmıştır. Analiz sonucu karışım belirlenerek sonuçları Şekil 3.1.'de ki grafikten incelenebilir.



Şekil 3.1.Granülometri Cetveli

İhtiyacımız olan beton dayanımı dikkate alınarak granülometri eğrisine göre beton karışım hesabı yapılmıştır. Beton karışım hesabı mutlak hacim yönteminde yapılmıştır. Hesap sonucu karışım için elde edilen oranlar Tablo 3.1.'de tabloda verilmiştir.

Tablo 3.1 Hazır Beton Karışım Oranları

BETON			BAĞLAYICI(Kg)				Su (lt)	S/Ç	Katkı	
Sınıfı	Kıvam	Dane Boyut	PÇ 42,5	K. Kum	7-15 mm	15-25 mm			Katkı (%)	Katkı (Kg/m ³)
C20	S3	22,4	270	940	470	540	162	0,6	1,10	2,97

3.1.2.Betonun Elastisite Modülü:

Beton malzemesi elastisite modülü, (σ - ϵ) eğrisinin eğimine eşit olduğuna göre gerilme mertebesine göre değişecektir. Literatürde betonun elastisite modülü için çeşitli tanımlar yapılmıştır. Bunlardan en yaygın olan tanımı aşağıda verilmiştir.

1. Başlangıç elastisite modülü, (σ - ϵ) eğrisinin başlangıç noktasına çizilen teğetin eğimi olarak tanımlanabilir. Bu modül, dinamik modül olarak da adlandırılmıştır. Beton çok düşük gerilmelere maruz ise başlangıç modülü kullanarak gerçekçi sonuçlar alınabilir.
2. Teğet modülü, (σ - ϵ) eğrisine herhangi bir noktada çizilen teğetin eğimidir.
3. Sekant modülü, orijinden geçen (σ - ϵ) eğrisindeki herhangi bir noktaya çizilen sekantın eğimi olarak tanımlanır. Servis (kullanım) yükleri altındaki bir yapı elemanında bu modül iyi sonuçlar verir. Genelde sekant modülü ($0,5f_c$) gerilme düzeyine göre hesaplanır. [4]

Pratikte bu üç elastisite modülünden hangisi kullanılacağı, söz konusu olan probleme bağlıdır. Elastisite modülü yükleme hızına göre değişir. Bunun nedeni, betonun zamana bağlı deformasyon gösteren bir malzeme oluşudur. Yapılan deneyler, kalıcı yükler altında betondaki deformasyonun büyük ölçüde arttığını göstermiştir. [4]

Kısa vadeli deformasyona ek olarak, sünme nedeni ile oluşan deformasyonu hesaplayabilmek için elastisite modülü azaltmak gerekir. Azaltılmış elastisite modülü, bir hesap değeridir, fiziksel bir anlam taşımaz. Hesapta kullanılacak bu elastisite modülünün değeri, kalıcı yükün büyüklüğüne bağlı olup, ilk değer yarısına veya üçte birine kadar inebilir. [4]

Betonun basınç dayanımını ve (σ - ϵ) ilişkisini etkileyen bütün değişkenler, elastisite modülünü de etkiler. Bu nedenle beton malzemesinin elastisite modülünü doğru ve kesin olarak tanımlamak imkânsızdır. Hesap için önerilecek elastisite modülünü, bütün değişkenleri dikkate alarak tanımlamak da elbette pratik olmayacaktır. Bugün çeşitli ülkelerde yürürlükte olan yönetmeliklerde elastisite modülü, beton basınç değerinin bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. Bazı yönetmeliklerde verilen bağıntıda hafif betonda işin içine katıldığında, beton ağırlığı da dikkate alınmaktadır. Aşağıda TS-500/2000 yönetmeliğinde elastisite modülünün hesap için öngörülen bağıntısı verilmiştir. Kalıcı yük durumunda bu değerler zamanla yarıya ve hatta üçte birine inecektir. Aşağıdaki denklemler (SI) birimleri cinsinden yazılmış, metrik eşdeğeri parantez içinde verilmiştir: [4]

$$E_{cj} = 3250 \sqrt{f_{cj}} + 14000 \quad (\text{metrik, } 10270 \sqrt{f_{cj}} + 140000)$$

E_{cj} : j günlük betonun elastisite modülü

f_{cj} : j günlük betonun silindir basınç dayanımı

Genelde elatisite modülü denince, 28 günlük betonun ani yükleme altındaki elastisite modülü anlaşılır. E_{c28} yönetmeliklerdeki değerler, “sekant” elastisite modülleridir.

3.2. Beton Dayanımı

Beton, basınç dayanımı yüksek çekme dayanımı düşük bir malzemedir. Betonun çok düşük olan çekme dayanımı hesaplarda genellikle dikkate alınmadığından, üzerinde durulan en önemli özelliği, basınç dayanımıdır. Betonun standard basınç dayanımı, suda saklanmış 28 günlük, çapı 150 mm, boyu 300 mm olan silindir numunelerin, eksenel basınç altındaki dayanımı olarak tanımlanır. Gerilme cinsinden ifade edilen dayanım, kırılma yükünün, silindirin alanına bölünmesiyle elde edilir.

Beton zamanla dayanım kazanan bir malzemedir. İlk 7 günde çok hızlı olan dayanım kazanımı, yavaşlayarak devam eder. Bu nedenle standard dayanımın belirlediği beton yaşı ile ifade edilmesi zorunlu olmuştur. Bugün tüm uluslararası ve ulusal yönetmeliklerde 28 günlük dayanım, standard dayanım kabul edilmiştir. Betonarmede kullanılan normal dayanımlı betonun 28 günlük basınç dayanımı, genelde 16 ile 50 MPa arasında değişmektedir.

3.3. Betonun Deprem Etkisinde Davranışı

Basınç dayanımına bağlı olarak sınıflandırılan betonun bu değerine bağlı olarak çekme dayanımı ve basınç elastisite modülü veren ifadeler mevcuttur. Betonda en büyük gerilme, dayanımına bağlı olmaksızın yaklaşık olarak 0.002 kısalma oranında meydana gelir. Dayanım yükseldikçe güç tükenmesi durumundaki kısalma azalır, dolayısıyla daha küçük şekil değiştirmelerle güç tükenmesi ortaya çıkar. Sonuç olarak, dayanımı yüksek olan betonun düşük olana göre biraz daha az sünek olduğu görülür. Beton malzemesi, donatıya göre çok gevrek davranış sergiler. Bu nedenle betonarme

elemanların güç tükenmesinde betonun basınç dayanımı yerine donatının etkili olması ve bu suretle sünek bir davranışın elde edilmesi önemlidir.

Çelik liflerin beton içerisinde destekleyici bir rolü vardır. Statik hesaplar yapılırken çelik lifler eğilme momentini alan çubuk veya hasır donatı gibi görülmemelidir. Çelik lifleri betonun yapısını değiştiren ve onu sünek davranışa zorlayan bir malzeme olarak görebiliriz. Çelik lifli betonun özelliği onun artırılmış elastikiyet ve enerji yutma yeteneğidir. Yani normal betonların yük-deformasyon eğrisinde maksimum yükten sonra yükün azalma hızı çok yüksek ve yapabileceği deformasyonun çok düşük olmasına karşılık, çelik lifli betonlarda çelik lifler yük altında sünek bir davranış gösterdiklerinden maksimum yükten sonra da belli deformasyona kadar yük taşıyabilirler. Bu nedenle çelik lifli betonlarda maksimum yükten sonra artan deformasyon neticesinde yükün azalma hızı çok düşük olup, yük-deformasyon eğrisinde maksimum yükten sonra azalan bir kuyruk kısmı oluşmaktadır. Dolayısıyla liflerin betondan ayrılması ve böylece betonun göçmesi için gereken enerji de oldukça büyüktür. [14]

Betonun çekme mukavemeti, basınç mukavemetine göre oldukça küçüktür. Betona belirli oranda çelik lif ilave edilmesiyle betonun başta çekme mukavemeti olmak üzere birçok teknik özelliklerinde gözle görülebilir bir iyileşme sağlanmaktadır. Çelik lifli beton, basınç düktilitesi gösterir. Yani beton taşıma gücüne eriştiği halde yük taşıma özelliği vardır. Yapılan çalışmalar ayrıca çelik lifli betonlarda kesme, burulma ve yorulmaya karşı dayanıklılığın fazla, çatlamların, dökülmelerin, parçalanmaların ve dağılmaların az olduğunu göstermişlerdir.

Betonun çekme ve basınç mukavemetinin yanında kırılma enerjisi de oldukça önemli bir malzeme parametresidir. Çelik lifli beton, özellikle maksimum yükten sonra oldukça yüksek bir düktilite gösterir. Bu nedenle lif oranı arttıkça kırılma enerjisi de artış göstermektedir. Çelik lifli betonların bu tür özelliklerini ortaya koymak üzere literatürde bir çok amprik tanımlama yapılmıştır. Bunlardan en önemlisi Barr'ın geliştirdiği tokluk indeksi tanımlamasıdır. Lifli betonun gerilme-birim boy değişimi eğrisinin ilk kırılma yüküne kadar olan kısmının altında kalan alanın, eğri altındaki toplam alana oranı tokluk indeksi olarak tanımlanmıştır. [14]

Barr ve Noor (1983), su/çimento oranını (0.46) sabit tutarak lif miktarının (hacimce %0.03, 0.15, 0.3, 0.6, ve 0.9) çelik lifli betonların tokluk indeksi (betonun enerji emme kapasitesi) üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada betonun yük-deformasyon eğrisi altındaki alandan hesap edilen tokluğun çelik lifli betonların en önemli özelliklerinden birisi olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan deneylerde lif miktarının artmasıyla tokluğun arttığı belirlenmiştir. [15]

3.4. Çelik Donatı Özellikleri

3.4.1. Donatı

Betonun çekme dayanımı çok düşük olduğundan, çekme bölgesindeki gerilmeleri karşılamak üzere çelik çubuklar yerleştirilir. Betonarmede donatı olarak genelde yuvarlak çubuklar kullanılır. Betonarmede kullanılan çubuklar düz yüzeyli veya nervürlü olabilir. Nervürlü donatı yüzeyinde imalat sırasında yapılan çıkıntılar, beton ve donatının birbirine daha iyi kenetlenmesini sağlar. [14]

Betonarme donatısı olarak kullanılan çelikler, imalat biçimine göre iki sınıfa ayrılır; (a) sıcakta haddelenmiş çelik ki buna doğal sertlikte çelik denir ve (b) Soğukta işlem görmüş çelik. Sıcakta haddelenmiş çeliklerin kimyasal birleşimindeki karbon, nikel, silisyum, manganez, krom ve vanadyum oranları ayarlanarak istenilen kalitede donatı elde edilir. Soğukta işlem görmüş çelikler, göreceli olarak düşük sıcaklıkta çekilip burularak imal edilir. Bu işlem sırasında moleküler yapı, dolayısıyla çeliğin özellikleri değişir. Genellikle soğukta işlem gören çeliğin dayanımı artarken, deformasyon kapasitesi azalır. [14]

3.4.2. Betonarme Çeliğinin Mekanik Özellikleri

Çelik, çekme ve basınç altında benzer özellikler gösteren bir malzemedir. Çeliğin gerilme-birim deformasyon özellikleri, genellikle çekme deneylerinden elde edilir. Doğal sertlikteki çeliklerin belirli akma sınırı vardır. Bu sınıra ulaşıncaya kadar gerilme

ve birim uzama arasındaki ilişki doğrusaldır. Akma sınırına ulaşıldıktan sonra gerilme sabit kalırken, birim uzama artar.

Doğal sertlikteki çeliğin (σ - ϵ) eğrisi akma sınırına kadar doğrusaldır. Bu bölgede yük boşaltılacak olursa, dönüş eğrisi çıkış eğri ile çakışır ve yük sıfırlandığında deformasyonda sıfır olur. Tanımlanan bu davranış, mekanikte elastik davranış olarak adlandırılır. (σ - ϵ) eğrisinin doğrusal-elastik olan bölümünün eğimi de çeliğin elastisite modülüdür. Çeliğin elastisite modülü $1,9 \cdot 10^5$ ile $2,1 \cdot 10^5$ arasında değişebilir. [14]

3.4.3. Deneyde Kullanılan Donatının Çekme Deneyi Sonuçları

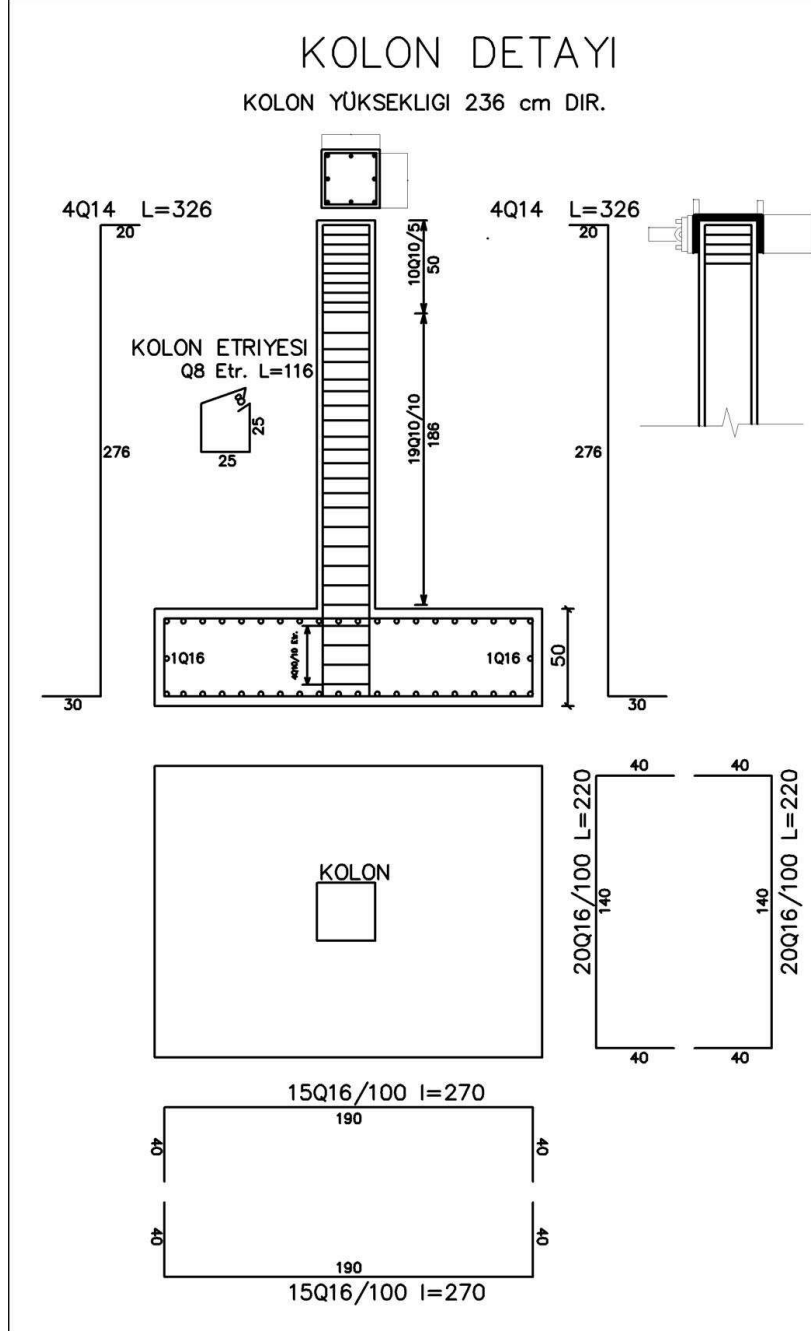
Modellerde iki farklı çapta çelik donatı kullanılmıştır. Kolonlarda $\phi 14$ ve $\phi 10$ olarak kullanılan donatıların tamamı BÇIIIa kalitesinde nervürlü yapı çeliğidir. Çelik donatı çubuklarından da numuneler alınarak, çekme deneyi ile dayanım değerleri tespit edilmiştir. Çekme deneyleri sonucunda donatı için elde edilen değerler Tablo 3.2. de verilmiştir.

Tablo.3.2 Çekme Dayanımı Deneyi Sonuçları

Çap	Ağırlık G	Boy L	Hesaplanan Çap	Kopma Uzaması	Akma Yükü	Kopma Yükü	Kütle	Akma Dayanı mı	Kopma Dayanımı
mm	kg	m	$12,74\sqrt{G/l}$	%	N	N	kg/m	N/mm ²	N/mm ²
10	0,378	0,613	10,00	16,5	31631	51136	0,617	402,7	651,1
10	0,38	0,618	9,99	14,6	32263	51949	0,615	410,8	661,4
14	0,741	0,603	14,12	10,8	75879	83974	1,229	492,9	545,5
14	0,745	0,603	14,16	14,3	74445	86681	1,235	483,6	563,1

3.5. Kullanılan Betonarme Kolon Numunelerin Özellikleri

Bu çalışmada, C20 beton kalitesinde farklı lif oranlarında 3 adet 300x300 mm ebatlarında betonarme kolon 150.200.60 ebatlarında temelle beraber üretilmiştir. Bu kolonlarda, 8ø14 boy donatısı ve ø10/100 mm arayla etriye kullanılmıştır.(Şekil 3.2)



Şekil 3.2 Betonarme Numune Detayları

Numunelerde kullanılan betonun tamamı hazır beton tesisinden temin edilmiş ve mikser yardımıyla karıştırılmıştır. Bütün kalıplar laboratuvarda hazırlanmıştır ve plywood kalıp kullanılmıştır. Betonarmede kullanılan donatılar ise, önceden yapılan analizle belirlenen çap ve aralıkta laboratuvarda bükülerek yerleştirilmiştir. Çelik lifler laboratuvar ortamında, lifsiz, 30 kg/m³, 60 kg/m³ oranlarını sağlayacak şekilde betona ilave edilmiştir. Kolonlar 150.200.60 ebatlarında temelle bir bütün olarak dökülmüştür.

NUMUNE NO	LİF ORANI	NUMUNE BOYUT		KIRILMA YÜKÜ (kN)
		ÇAP(mm)	YÜKSEKLİK(mm)	
1 nolu numune	0 lif	94	99	147,83
1 nolu numune	0 lif	94	97	151,62
2 nolu numune	30kg/m ³ lif	94	99	141,39
2 nolu numune	30kg/m ³ lif	94	96	140,27
3 nolu numune	60kg/m ³ lif	94	97	137,53
3 nolu numune	60kg/m ³ lif	94	96	138,77

Şekil 3.3 Betonarme Numune Karot Sonuçları

Deney elemanlarında günümüzde pratikte kullanılan nervürlü donatı kullanılmıştır. Etriyelerin uçları deprem yönetmeliğine uygun olarak 135⁰ lik kanca yapılmıştır. Enine donatılar, temel seviyesinden itibaren tüm yüksekliğin 4/5 inde iki çiroz olmak üzere 100 mm arayla yerleştirilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.4 Kolon Numunesi Üretimi

Kolon tepesinde kalan 1/5'lik kısımda enine donatı adım aralıkları 50 mm'ye indirilerek sıkılaştırma yapılmıştır, böylece yatay yükleme yapılacak bu bölgede gerilme yoğunluğundan kaynaklanan istenmeyen hasarların oluşması engellenmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.5. Üretimi Tamamlanmış Numuneler

4. BÖLÜM

DENEYLERİN YAPILMASI

Tez çalışması kapsamında iki farklı çelik lif oranı kullanılarak gerçek ölçekte 3 adet betonarme kolon üretimi yapılmıştır. Betonarme kolon deney aşamaları aşağıda verilmiştir.

4.1. Deney Düzenəğinin Tanıtımı

Deneyler esnasında modellere etki eden yatay yük değerklerinin okunması için Şekil 4.1.'de görülen 30 ton basma/çekme kapasiteli yük hücresi kullanılmıştır. Ayrıca deney esnasında yeterli yükü ve deplasmanı alabilmek için 2 adet 25 cm deplasman kabiliyeti olan 30 tonluk krika kullanılmıştır.



Şekil 4.1 Yükleme Ünitesi ve numune görünümü

Bilgisayarda deney sırasında deplasman ve yük değerlerini grafik olarak ekrana yansıtabilen ve istenilen yüke karşı gelen deplasmanı görmemizi sağlayan CODA adlı veri toplama sistemi kullanılmıştır. Veri toplama sisteminin yük hücresi, deplasman ölçer gibi elemanlardan okuduğu verilerin bilgisayara aktarılması için sistemle tam uyumludur. CODA yazılımı 6 alt programdan oluşmaktadır.

Deneylerde çeşitli doğrultulardaki deplasman ölçümleri için, 0.0001 mm.ye kadar olan deplasman değişimlerini elektronik olarak ölçebilen ve bunları bir data toplayıcı vasıtasıyla bilgisayara aktarabilen 400 mm'lik LVDT ve doğrusal potansiyometrik cetveller olarak adlandırılan elektronik deplasman ölçme aletleri kullanılmıştır (Şekil 4.2.).



Şekil 4.2 Temele Yerleşirilmiş LVDT

Deplasman ölçümlerinde 3 adet potansiyometrik cetvel ve 4 adet LVDT kullanılmıştır. Numuneye bağlantısı yapılmış olan potansiyometrik cetvel görünümü Şekil 4.3. de verilmiştir.



Şekil 4.3 Kolonun Orta Bölgesine Yerleştirilmiş Potansiyometrik Cetvel

Deplasman ölçerlerin kalibrasyonları çok noktalı kalibrasyonla CODA veri toplama yazılımı ile yapılmıştır. Deplasman ölçümleri kolon boyunca belli noktalardaki deplasman değerlerinin belirlenmesi ve belirli noktalardaki eğrilik değişimlerinin incelenmesi amacıyla alınmıştır.

Deney yapısı rijit döşemeye temelde 4 noktadan bağlanmıştır. Pistonun yapı sistemine sadece yatay yük aktarabilmesi için iki ucunda moment aktarmayan mafsallı bağlantılar yapılmıştır. Tersinir tekrarlanır yatay yük, güçlü duvara bir ucundan mafsalla bağlanan iki krikonun diğer ucu yine mafsalla eleman tepesine sabitlenen çelik başlığa bağlanmıştır. Yeterli mafsallı bağlanması durumunda, yapıya düşey kuvvet ve moment etkileri daha rahat aktarılabilir. Mafsallı sayısı arttıkça pistonun basınca çalıştığı durumda pistonda burkulma oluşabilir. Bu sebeple verin-verin mesnedi ve verin-yapı bağlantıları mafsallı olarak oluşturulmuştur. Verin-verin mesnedi bağlantısı için klasik mafsallı elemanı kullanılmıştır.(Şekil 4.4)

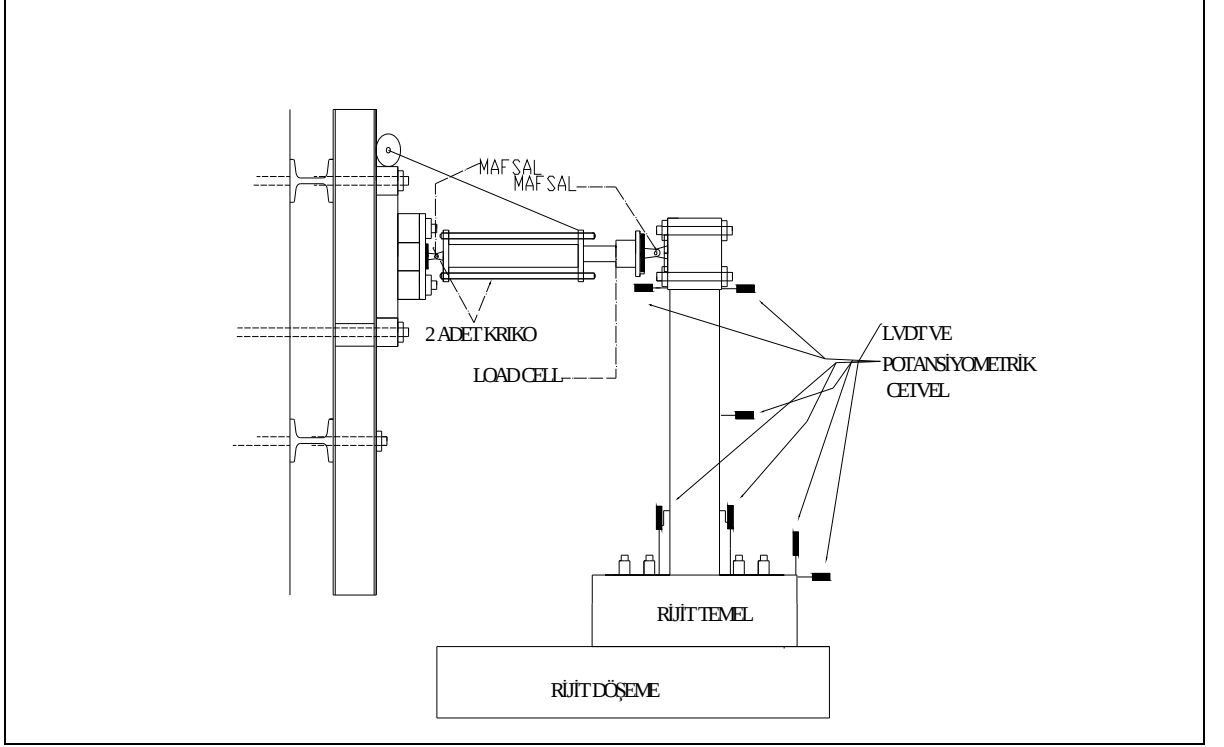


Şekil 4.4 Kolon Düzeneğe Yerleştirilirken

Deneylerde eğrilik okuması için kolonların eğilme aksına göre çekme ve basınç bölgelerinden eleman boyunun belli bir bölümünde uzama/kısalma değerleri okunarak söz konusu bölgedeki eğrilik değişimleri incelenmiştir.

4.2. Numunelerin Kırılması

Bütün deneyler test edilecek elemanlara yatay yükün uygulanması ile başlamıştır. Deneylerde esas olarak sol akstan deplasman verileri toplanmış bu verilerin ve simetrik hareketin kontrolü için sağ akstan da az sayıda kontrol verisi alınmıştır. Bütün kolonlar yük almaya devam ettiği sürece her çevrimde ortalama 200 kg arttırmak suretiyle yük verilmiştir. Daha sonra elemanda mafsallaşma oluşup yük almamaya başladığı çevrimden itibaren deplasman kontrolüne geçilmiştir.



Şekil 4.5 Numunede Data Alınan Noktalar

4.2.1. Bir nolu numune kırımı

İlk numune C20 kalitesinde beton olup çelik lif katkısız olarak imal edilmiştir. Numuneye ait çevrim Tablo 4.1. de verilmiştir. Her bir döngü içinde numune üzerinde detaylı inceleme yapılarak sonuçları verilmiştir. Birinci numune için 17 döngü uygulanmıştır. Numuneye yük itme-çekme şeklinde verilmiştir. On birinci döngüden sonra deplasman kontrolüne geçilmiştir.

Tablo 4.1 Bir Nolu Numunenin Çevrim Tablosu

ÇEVİRİM NO	YÜK (kg)	DEPLASMAN (mm)	DÜŞÜNCELER
1-İTME	200	0,998	Herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir.
1.ÇEKME	-200	-0,364	Herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir.
2-İTME	400	1,899	Herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir.
2.ÇEKME	-400	-1,419	Herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir.
3-İTME	600	2,909	Herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir.
3.ÇEKME	-600	-2,909	Herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir.
4-İTME	800	5,417	Herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir.
4.ÇEKME	-800	-4,716	Herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir.
5-İTME	1000	8,424	Çatlak gelişimi resimdedir.
5.ÇEKME	-1000	-7,287	Çatlak gelişimi resimdedir.
6-İTME	1400	15,486	Çatlak gelişimi resimdedir.
6.ÇEKME	-1400	-11,785	Çatlak gelişimi resimdedir.
7-İTME	1800	21,948	Çatlak gelişimi resimdedir.
7.ÇEKME	-1800	-16,186	Çatlak gelişimi resimdedir.
8-İTME	2200	31,089	Çatlak gelişimi resimdedir.(2.7cm deplasman görülmüştür.)
8.ÇEKME	-2200	-20,829	Çatlak gelişimi resimdedir.(2.7cm deplasman görülmüştür.)
9-İTME	2600	42,812	Mevcut çatlaklarda açılma gözlenmiştir.
9.ÇEKME	-2600	-25,74	Mevcut çatlaklarda açılma gözlenmiştir.
10-İTME	2900	73,548	Mevcut çatlaklarda açılma gözlenmiştir.(7.8cm deplasman gözlemlendi.)
10.ÇEKM E	-3000	-50,133	Mevcut çatlaklarda açılma gözlenmiştir.(5.9cm deplasman gözlemlendi.)
11-İTME	2821	85,21	11 nolu çatlak oluşumu gözlemlendi.
11.ÇEKM E	-3098	-85,148	6 nolu çatlakta genişleme gözlemlendi.(çatlak 2mm genişliğindedir.)
12-İTME	2470	90,103	Mafsallaşma başladı.(Sağ)Kabuk betonda dökülme görüldü.
12.ÇEKM E	-2954	-90,24	Mafsallaşma devam etti.Çatlaklarda genişleme devam etti.
13-İTME	2510	100,089	Sol tarafta mafsallaşma başladı.Çatlak genişliği arttı.(3mm)
13.ÇEKM E	-3028	-100,117	Mafsallaşma yoğunlaştı.(Sağ).Çatlaklarda genişleme devam etti.
14-İTME	2509	110,121	Mafsallaşma yoğunlaştı.(Sağ).Çatlaklarda genişleme devam etti.
14.ÇEKM E	-3037	-110,053	Mafsallaşma yoğunlaştı.(Sağ).Çatlaklarda genişleme devam etti.
15-İTME	2519	130,136	Mafsallaşma yoğunlaştı.(Sağ).Çatlaklarda genişleme devam etti.
15.ÇEKM E	-2988	-130,097	Mafsallaşma yoğunlaştı.(Sağ).Çatlaklarda genişleme devam etti.
16-İTME	2408	160,182	Mafsallaşma yoğunlaştı.(Sol).Donatıda deformasyon tespit edildi.
16.ÇEKM E	-2600	-160,188	Mafsallaşma yoğunlaştı.(Sol).Donatıda deformasyon tespit edildi.
17-İTME	1998	190,07	Deformasyon eğrisinde belirgin değişim gözlenmiştir.

Deney çalışmasında her döngü için gelişen çatlaklar döngü sayısı ile birlikte renkli kalemle çizilmiştir. Birinci numune için ilk çatlak oluşumu 1000 kg yük çevriminde meydana gelmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Birinci Numunede oluşan çatlaklar

Altıncı döngüde oluşan ilk etriye seviyesindeki çatlak 3mm ye kadar genişlemiş ardından kolondaki mafsallaşma mesnet noktasına yakın bölgede meydana gelmiştir. (Şekil 4.6). Mafsallaşma olan bölgede boy donatısının da akmış olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.7 Birinci Numunede Kolon Temel Birleşim Bölgesinde Oluşan Mafsallaşma

1 nolu numune için 5. döngüden sonra ilk elastik çatlak oluşumu gözlenmiştir. 10.döngüde kolonda göçme olmuş ve bu aşamadan sonra deplasman kontrolüne geçilmiştir. Deplasman kontrolü sırasında kabuk betonda dökülme görülmüştür. Bu aşamada da donatıda akma olmuştur. Yatay yönde 16 cm deplasmandan sonra elastik eğri belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır.(Şekil 4.7)



Şekil 4.8 Birinci Kolonda Son Döngüde Oluşan Elastik Eğri

4.2.2. İki nolu numune kırımı

İkinci numune C20 kalitesinde beton olup 30 kg/m^3 çelik lif oranına sahiptir. Numuneye ait çevrim Tablo 4.2 de verilmiştir. Numune için 16 döngü uygulanmıştır. Numuneye yük itme-çekme şeklinde verilmiştir. On birinci döngüden sonra deplasman kontrolüne geçilmiştir.

Tablo 4.2 İki Nolu Numunenin Çevrim Tablosu

ÇEVİRİM NO	YÜK (kg)	DEPLASMAN (mm)	DÜŞÜNCELER
1-İTME	200	0,913	Herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir.
1.ÇEKME	-200	-1,136	Herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir.
2-İTME	400	2,288	Herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir.
2.ÇEKME	-400	-2,100	Herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir.
3-İTME	600	4,260	Herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir.
3.ÇEKME	-600	-3,013	Herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir.
4-İTME	800	7,097	Herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir.
4.ÇEKME	-800	-4,100	Herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir.
5-İTME	1000	9,726	Herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir.
5.ÇEKME	-1000	-6,436	Herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir.
6-İTME	1400	16,579	İlk Elastik Çatlak Oluşumu gözlendi.
6.ÇEKME	-1400	-11,338	Çatlak gelişimi resimdedir.
7-İTME	1800	23,092	Çatlak gelişimi resimdedir.
7.ÇEKME	-1800	-17,562	Çatlak gelişimi resimdedir.
8-İTME	2200	29,811	Çatlak gelişimi resimdedir.
8.ÇEKME	-2200	-22,613	Çatlak gelişimi resimdedir.
9-İTME	2600	39,72	Mevcut çatlaklarda açılma gözlenmiştir.
9.ÇEKME	-2600	-29,369	Mevcut çatlaklarda açılma gözlenmiştir.
10-İTME	2800	47,279	Mevcut çatlaklarda açılma gözlenmiştir.
10.ÇEKME	-2800	40,148	Mevcut çatlaklarda açılma gözlenmiştir.
11-İTME	2935	60	Mevcut çatlaklarda açılma gözlenmiştir.
11.ÇEKME	-2750	-60	Mevcut çatlaklarda açılma gözlenmiştir.
12-İTME	2920	80	Mafsallaşma başladı.(Sağ)Kabuk betonda dökülme görüldü.
12.ÇEKME	-2853	-80	Mafsallaşma devam etti. Çatlaklarda genişleme devam etti.
13-İTME	3000	100	Kabuk Betonda Kırılma görüldü.Liflerin Çalıştığı Döngü.
13.ÇEKME	-2865	-100	Kabuk Betonda Kırılma görüldü.Liflerin Çalıştığı Döngü.
14-İTME	3110	130	Mafsallaşma yoğunlaştı.Çatlaklarda genişleme devam etti.
15-İTME	2995	160	Mafsallaşma yoğunlaştı.Çatlaklarda genişleme devam etti.
15.ÇEKME	-2780	-160	Mafsallaşma yoğunlaştı.Çatlaklarda genişleme devam etti.
16-İTME	2695	190	Deformasyon eğrisinde belirgin değişim gözlenmiştir.
16.ÇEKME	-2710	-190	Deformasyon eğrisinde belirgin değişim gözlenmiştir.

Deney çalışmasında her döngü için gelişen çatlaklar döngü sayısı ile birlikte renkli kalemle çizilmiştir. İkinci numune için ilk çatlak oluşumu 1400 kg yük çevriminde meydana gelmiştir. Altıncı döngüde oluşan ilk etriye seviyesindeki çatlak 3mm ye kadar genişlemiş, ardından kolondaki mafsallaşma mesnet noktasına yakın bölgede meydana gelmiştir. (Şekil 4.6). Mafsallaşma olan bölgede boy donatısının da akmış olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.9 İkinci Numune Kolon Temel Birleşimindeki Deformasyon

İlk numuneye göre yaklaşık 400 kg daha fazla yük alarak çatlak oluşumu görülmüştür.(Şekil 4.10) Böylece çelik lifin ilk deformasyon oluşumunda etkisi gözlenmiştir ve ikinci numunenin daha sünek olduğu anlaşılmıştır. Çatlak sayısında da belirgin artış gözlenmiştir.



Şekil 4.10 Kolonda Oluşan Belirgin Elastik Eğri ve Çatlak Oluşumu

2 nolu numune için 6. Döngüden sonra ilk elastik çatlak oluşumu gözlenmiştir. 12.döngüde kolonda mafsallaşma olmuş ve bu aşamadan sonra deplasman kontrolüne başlanmıştır. Mafsallaşma ilk olarak sağ tarafta başlamıştır. Deplasman kontrolü sırasında kabuk betonda dökülme görülmüştür. Bu aşamada da donatıda akma meydana gelmiştir. 16 cm deplasmandan sonra elastik eğri belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır. Buna rağmen davranışı tam görebilmek için 19 cm deplasmana kadar gidilmiştir. Ayrıca 2 nolu numune 1 nolu numuneye göre liflerden kaynaklanan 100 kg kadar bir yük artışı göstermiştir.

4.2.3. Üç nolu numune kırımı

Üçüncü numune C20 kalitesinde beton olup 60 kg/m^3 çelik lif oranına sahiptir. Numuneye ait çevrim Tablo 4.3. de verilmiştir. Numuneye 21 döngü uygulanmıştır. Numuneye yük itme-çekme şeklinde verilmiştir.

Tablo.4.3 Üç Nolu Numunenin Çevrim Tablosu

ÇEVİRİM NO	YÜK (kg)	DEPLASMAN (mm)	DÜŞÜNCELER
1-İTME	200	1,497	Herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir.
1.ÇEKME	-200	-0,741	Herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir.
2-İTME	400	2,702	Herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir.
2.ÇEKME	-400	-2,297	Herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir.
3-İTME	600	3,761	Herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir.
3.ÇEKME	-600	-3,532	Herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir.
4-İTME	800	5,259	Herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir.
4.ÇEKME	-800	-4,755	Herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir.
5-İTME	1000	7,438	İlk Elastik Çatlak Oluşumu gözlendi.
5.ÇEKME	-1000	-6,076	Çatlak gelişimi resimdedir.
6-İTME	1200	9,897	Çatlak gelişimi resimdedir.
6.ÇEKME	-1200	-8,262	Çatlak gelişimi resimdedir.
7-İTME	1400	13,354	Çatlak gelişimi resimdedir.
7.ÇEKME	-1400	-12,054	Çatlak gelişimi resimdedir.
8-İTME	1600	17,152	Çatlak gelişimi resimdedir.
8.ÇEKME	-1600	-14,845	Çatlak gelişimi resimdedir.
9-İTME	1800	20,779	Mevcut çatlaklarda açılma gözlenmiştir.
9.ÇEKME	-1800	-17,352	Mevcut çatlaklarda açılma gözlenmiştir.
10-İTME	2000	24,699	Mevcut çatlaklarda açılma gözlenmiştir.
10.ÇEKME	-2000	-19,896	Mevcut çatlaklarda açılma gözlenmiştir.
11-İTME	2200	28,241	Mevcut çatlaklarda açılma gözlenmiştir.
11.ÇEKME	-2200	-22,786	Mevcut çatlaklarda açılma gözlenmiştir.
12-İTME	2400	31,698	Mevcut çatlaklarda açılma gözlenmiştir.
12.ÇEKME	-2400	-25,824	Mevcut çatlaklarda açılma gözlenmiştir.

13-İTME	2600	34,997	Mevcut çatlaklarda açılma gözlenmiştir.
13.ÇEKME	-2600	-30,283	Mevcut çatlaklarda açılma gözlenmiştir.
14-İTME	2800	38,405	Mevcut çatlaklarda açılma gözlenmiştir.
14.ÇEKME	-2800	-41,929	Mevcut çatlaklarda açılma gözlenmiştir.
15-İTME	3000	41,789	Mevcut çatlaklarda açılma gözlenmiştir.
15.ÇEKME	-3000	-61,138	İlk mafsallaşma Oluştur.
16-İTME	3200	69,227	Kolon Temel Birleşim Bölgesinde Çatlak oluştu.
16.ÇEKME	-3143	-97,108	Mevcut çatlaklarda açılma gözlenmiştir.
17-İTME	3184	100	Mevcut çatlaklarda açılma gözlenmiştir.
17.ÇEKME	-2666	-100	Mevcut çatlaklarda açılma gözlenmiştir.
18-İTME	3233	130	Kabuk Betonda Kırılma görüldü.
18.ÇEKME	-2732	-130	Kabuk Betonda Kırılma görüldü.
19-İTME	3115	160	Deformasyon eğrisinde belirgin değişim gözlenmiştir.
19.ÇEKME	-2517	-160	Deformasyon eğrisinde belirgin değişim gözlenmiştir.
20-İTME	2757	190	Deformasyon eğrisinde belirgin değişim gözlenmiştir.
20.ÇEKME	-2242	-190	Deformasyon eğrisinde belirgin değişim gözlenmiştir.
21-İTME	2581	220	Deformasyon eğrisinde belirgin değişim gözlenmiştir.
21-.ÇEKME	-1915	-220	Deformasyon eğrisinde belirgin değişim gözlenmiştir.

3 nolu numune için 5.döngüden sonra ilk elastik çatlak oluşumu gözlenmiştir. 15.döngüde kolonda mafsallaşma olmuş ve bu aşamadan sonra deplasman kontrolüne başlanmıştır. Mafsallaşma ilk olarak sağ tarafta başlamıştır.(Şekil 4.11)



Şekil 4.11 Kolon Temel Birleşimindeki Deformasyon

On yedinci döngüden sonra deplasman kontrolüne geçilmiştir. Bu numunede bulunan çelik lif oranından dolayı enerji yutma kapasitesi yükselmiştir. Dolayısıyla çatlak gelişiminde artış gözlemiştir.(Şekil 4.12) Bunu daha belirgin olarak gözlemlemek için döngü sayısı arttırılmıştır.



Şekil.4.12 Kolonda Oluşan Çatlaklar

Deplasman kontrolü sırasında kabuk betonda dökülme görülmüştür. Bu aşamada da Şekil 4.11 görüldüğü gibi donatıda akma görülmüştür.16 cm deplasmandan sonra elastik eğri belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır (Şekil 4.12). Buna rağmen davranışı tam görebilmek için 22 cm deplasmana kadar gidilmiş ve diğer numunelerden farklı olarak 22 cm deplasmanda kolonda diğer etkilere ilaveten burkulma başladığı görülmüştür. Betonarme kolonun yanal yönde deplasmanı sırasında oluşan elastik eğrinin genel görünümü Şekil 4.13 de verilmiştir.



Şekil 4.13 Kolon Elastik Eğrisi

Ayrıca 3 nolu numunede 1 nolu numuneye göre yaklaşık 200 kg kadar çelik lif katkısından dolayı bir dayanım artışı göstermiştir.

5. BÖLÜM

ANALİTİK ÇALIŞMALAR

Tez çalışmasında doğrusal olmayan çözüm yöntemi olan Pushover ile de betonarme kolon numuneleri analiz edilerek analitik çalışma yapılmıştır. Yapılan analitik çalışma detayları aşağıda verilmiştir.

5.1. Doğrusal Olmayan Analiz

Yer değiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı, özellikle son yıllarda Amerika Birleşik Devletlerinin deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenilirliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirilmesi çalışmaları esnasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir. Yapıların deprem davranışlarının belirlenmesinde doğrusal olmayan statik ve dinamik analiz yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Günümüzde doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleri ile yapıların doğrusal olmayan davranışı gerçeğe oldukça yakın belirlenebilmektedir. Ancak bu yöntemler çok karmaşık, zaman alıcı olduğundan çok uygun olmamaktadır. Bu nedenle, daha uygulanabilir olan doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri üzerindeki çalışmalar gelişmiştir. Doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri temel olarak, yapının yatay kuvvet dayanımını temsil eden yatay kuvvet-yer değiştirme ilişkisinin, malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan teoriye göre elde edilmesi ve bunu çeşitli parametrelere göre değerlendirilmesine dayanmaktadır. İtme eğrisi olarak isimlendirilen yatay kuvvet yer değiştirme ilişkisinin elde edilmesi sayesinde, yapının ve elemanların deformasyon talepleri belirlenebilmektedir. Ayrıca, belirli bir deprem seviyesi için

yapıdan istenen performans (deprem güvenliği) hedefinin gerçekleşip gerçekleşmeyeceği kontrol edilebilmektedir.

Betonarme yapıların performansa bağlı analizlerinin gerçekleşmesinde yaygın olarak iki yöntem kullanılır. Bu yöntemler Kapasite spektrumu Yöntemi ve Deplasman Katsayı Yöntemleridir.

5.1.1. Kapasite Spektrumu Yöntemi

Bu yöntem, belirli bir deprem yer hareketi için yapıya yüklenen deplasman talebi ile yapının yatay yük taşıma kapasitesinin birbirine bağımlı olduğu esasına dayanmaktadır. Yapıda deprem yükleri altında elastik olmayan deformasyonlar meydana gelir, bu deformasyonlar yapının sönümünü artırır ve dolayısıyla talebi azaltır. Kapasite spektrumu yönteminde, yapıda meydana gelen elastik olmayan deformasyonlara bağlı olarak elastik talep spektrumu indirgenerek kapasite ve talebin eşit olduğu nokta belirlenmektedir.[6] Kapasite tasarımının adımları,

1. Büyük depremde oluşacak mekanizma durumu seçilir.
2. Plastik mafsalda minimum elastik ötesi dönme ile gerekli yer değiştirme sünekliğinin elde edilmesi amaçlanır.
3. Plastik mafsallık bölgeleri tanımlanır. Bu kesitlerde süneklik sağlanır. Donatı kenetlenmesi ve dönem kapasitesi sağlanır. Bunun için en uygun yöntem sık ve kenetlenmesi tam sargı donatı uygulamasıdır.
4. Donatı düzeni plastik mafsallık bölgelerinde ve diğer bölgelerde farklı olarak düzenlenir.
5. Plastik mafsallık içeren elemanlarda, istenmeyen elastik ötesi şekil değiştirme biçimleri ve bunların dayanımları yüksek tutularak önlenir.
6. Gevrek elemanların veya enerji tükenmeyen elemanların dayanımları, plastik mafsallık kapasitelerin talebinden yüksek tutulur. Bunlar elastik kalacak şekilde tasarlanır.
7. Deprem kuvvetleri ne kadar hassas olarak hesaplanırsa hesaplansın, büyük belirsizlik içerir.

8. Kapasite tasarımında, taşıyıcı sistemin davranışı tasarımcı tarafından belirlenir. Taşıyıcı sistemin istenen mekanizma durumu sağlanırken istenmeyen mekanizma durumu önlenir.

5.1.2. Deplasman Katsayıları Yöntemi

Deplasman katsayıları yöntemi, belli bir deprem yer hareketi için yapıya yüklenen deplasman talebi ile yapının yatay yük taşıma kapasitesinin birbirine bağımlı olduğu esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde deplasman talebi sayısal bir şekilde belirlenebilmektedir. Deplasman katsayısı yönteminde, V_t taban kesme kuvveti ile maksimum tepe noktası deplasmanı (δ_{maks}) arasındaki ilişkiyi belirleyen kapasite eğrisi elde edilir.

Yapıya ait kapasite eğrisi ikinci mertebe elasto-plastik hesap ile belirlenmektedir. Kapasite eğrisinin çizilmesinde, yapının birinci doğal periyoduna ve etkin olan modlara bağlı olarak uygun bir yatay yük dağılımı seçilir. Yapı, sabit düşey yükler ve aralarındaki oran sabit kalarak artan yatay yükler altında, malzeme ve geometri değişimleri bakımından lineer olmayan teoriye göre hesaplanarak limit duruma ulaşıncaya kadar izlenir.

Yapılarda çoğunlukla düşey taşıyıcı elemanlar kolon olarak adlandırılmaktadır. En sık rastlanan eksenel basınç taşıyan eleman kolondur. Düşey taşıyıcı olan kolonların temel işlevi katlara gelen yükleri taşıyıp bunları temele aktarmaktır. Kolonlar deprem ve rüzgâr türü yatay yüklerin karşılanmasında varsa perde duvarlarla birlikte en önemli işlevi yüklenir.

Süneklik genel anlamda “dayanımda önemli bir azalma olmadan, büyük deformasyon yapabilme yeteneği” olarak tanımlanabilir. Beton gevrek, çelik ise sünek bir malzemedir. Betonarmede çelik salt çekme gerilmelerini karşılamak amacıyla kullanılmaz.

Deprem yönetmeliğine göre aşağıdaki özelliklere sahip taşıyıcı sistemler, süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistem olarak kabul edilmektedir.

1. Süneklik düzeyi yüksek kolon, kiriş ve kolon-kiriş birleşim bölgeleri ile ilgili koşullara (deprem yönetmeliği Madde 7.3,7.4 ve 7.5) göre boyutlandırılarak donatılan kolon ve kirişlerin oluşturduğu çerçeve türü sistemler,
2. Süneklik düzeyi yüksek perde duvar koşullarına göre boyutlandırılmış boşluklu ya da boşluksuz duvarlardan oluşan taşıyıcı sistemler,
3. Yukarıdaki iki tür sistemin birleşiminden oluşan perde duvarlı-çerçeve taşıyıcı sistemler,

Deprem Yönetmeliğine göre aşağıdaki özelliklere sahip taşıyıcı sistemler, süneklik düzeyi normal taşıyıcı sistem olarak kabul edilmektedir.

1. Süneklik düzeyi normal kolon, kiriş ve kolon-kiriş birleşim bölgeleri ile ilgili koşullara göre boyutlandırılarak donatılan kolon ve kirişlerin oluşturduğu çerçeve türü taşıyıcı sistemler.
2. Süneklik düzeyi normal perde koşullarına göre boyutlandırılarak donatılmış boşluksuz ya da boşluklu perdelerden oluşan sistemler.
3. Yukarıdaki iki tür sistemin birleşiminden oluşan perdeli- çerçeve taşıyıcı sistemler

Süneklik, bir kesitin veya bir elemanın ya da bir taşıyıcı sistemin, dış yükte önemli bir değişme olmaksızın, elastik sınırın ötesinde şekil değiştirme, dolayısıyla yer değiştirme yapma özelliğinin ölçüsü olarak tanımlanabilir. Deprem mühendisliğinde ise süneklik, elemanın tekrarlanan tersinir yükler altında elastik olmayan şekil değiştirmelerle enerji tüketme yeteneği olarak tanımlanmaktadır[4],

Denge denklemleri ve uygunluk denklemleriyle elde edilen moment ve normal kuvvet değerlerini kullanarak, eksenel yükün moment ile değişimini gösteren bir eğri elde edilebilir. Dikdörtgen bir kesit için çizilen bu eğri “karşılıklı etki diyagramı” olarak adlandırılır. Eğri, taşıma gücü denklemlerinden elde edilmiş olduğundan bir “dayanım

zarfı” niteliğindedir. Bu eğrinin içine düşen herhangi bir M-N birleşimi, söz konusu kesitçe güvenle taşınabilecektir.

Yapıların depreme mukabelesini araştırmak için statik itme (pushover) analizi, dinamik analiz gibi yöntemler mevcuttur. Statik itme analizi son yıllarda gittikçe daha fazla ilgi görmektedir. Bu analizle, yapının; süneklik kapasitesi, dinamik yüklere dayanımı, taşıyıcı elemanların ne zaman ve hangi sıra ile akma ve göçmeye ulaştığı belirlenebilir. Statik itme analizi iki türlü yapılabilir. Birincisi, kuvvet kontrollü itme analizi, ikincisi deplasman kontrollü itme analizidir.

Deplasman kontrollü itme analizinde; yapının, önceden belirlenen bir göçme deplasman profilini oluşturacak yatay kuvvetler hesaplanır. Her adımda deplasmanlar sabit artımlarla artırılarak bu adıma ait yatay kuvvetler bulunur. Göçme için kabul edilecek her deplasman profili için birbirinden farklı kapasite eğrileri elde edilmekte, bu ise kapasiteleri karşılaştırmada güçlük yaratmaktadır. Bu yüzden deplasman kontrollü itme analizi çok tercih edilmemektedir.

5.1.3. Lineer Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

Yapıların zamana bağlı dinamik yükler altındaki davranışını belirlemek için kullanılan bir hesap yöntemidir. Bu analiz metodunda yapının lineer davranış gösterdiği bir başka deyişle yapının kalıcı deformasyonlar yapmadığı ve malzemenin elastik kaldığı kabulü yapılır.

5.1.4. Lineer Olmayan Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

Bu hesap yönteminde de lineer dinamik analiz yönteminde olduğu gibi yapının deprem yükleri altındaki dinamik hareketi incelenir. Yapıya lineer olmayan davranışı yansıtabilmesi için kolon-kiriş birleşim bölgelerine bağlantı elemanları tanımlanır. Bu elemanlar lineer olmayan özellikler taşır.

5.1.5. Kapasite Spektrum Yöntemi (Push-over)

Kapasite spektrum metodu yapının kuvvet-deplasman kapasite eğrisinin grafik gösterimidir. Bu metotla yapının deprem yükleri altında göstereceği davranış ile yapının deplasman kapasitesi karşılaştırılır. [16]

5.2. SAP2000 ile Nonlineer Analiz

Analitik çalışma SAP2000 programı yardımıyla yapılacaktır. SAP2000 hem çelik hem de betonarme yapıların boyutlaması için güçlü ve tümüyle bütünleştirilmiş program modülleri sunmaktadır. Program kullanıcıya, tümü aynı kullanıcı ana birimi içinde olmak üzere yapısal modeller oluşturma, değiştirme, çözümleme ve boyutlama seçenekleri sağlar. Program aynı ana birim içinden başlangıç elemanlarını boyutlama ve optimize etme kabiliyetine sahiptir.

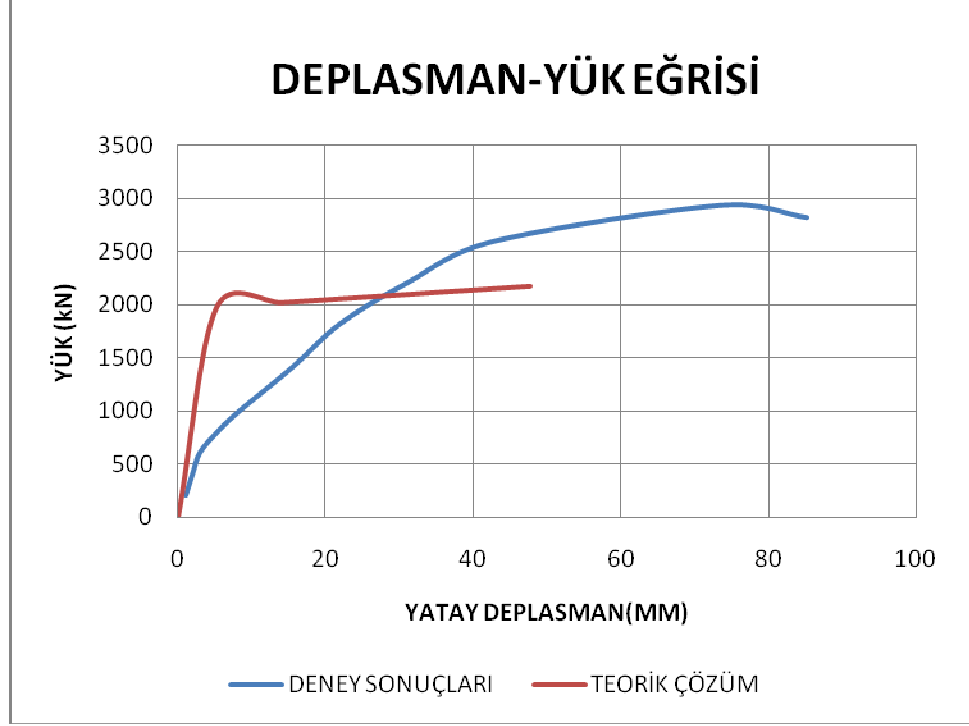
Statik itme analizin yapılma amacı;

- Yapı sisteminin artan yatay yükler altında doğrusal olmayan davranışının ve göçme şeklinin belirlenmesi,
- Oluşan plastik kesitlerin türleri ve yapı içindeki dağılımının belirlenmesi, (hasar dağılımının belirlenmesi)
- Toplam ve göreceli yer değiştirmelerin belirlenmesi,
- Yapı sisteminin süneklik düzeyi hakkında bilgi edinmek,
- Plastik kesitlerdeki şekil değiştirmeleri belirlemek,

Statik itme analizinde izlenen çözüm yolu,

- Hesap modeli oluşturulur,
- Elemanlara varsayılan (default) plastik mafsallık özellikleri atanır,
- Yükler tanımlanır, (G,Q,EX, EY...)
- Yük birleşimleri altında boyutlama yapılır. Boyutlama SAP2000 ile yapılarak gerekli donatı alanları belirlenir,
- Belirlenen donatı alanları esas alınarak mafsallık özellikleri program tarafından belirlenir,
- Statik itme analizi yapılarak kapasite eğrisi elde edilir. [16]

Lifsiz kolon için yapılan çözüm sonucu elde edilen taban kesme kuvveti-deplasman Şekil 5.1. de verilmiştir;



Şekil 5.1 Teorik Verilerden Elde Edilen Taban Kesme-Deplasman Eğrisi

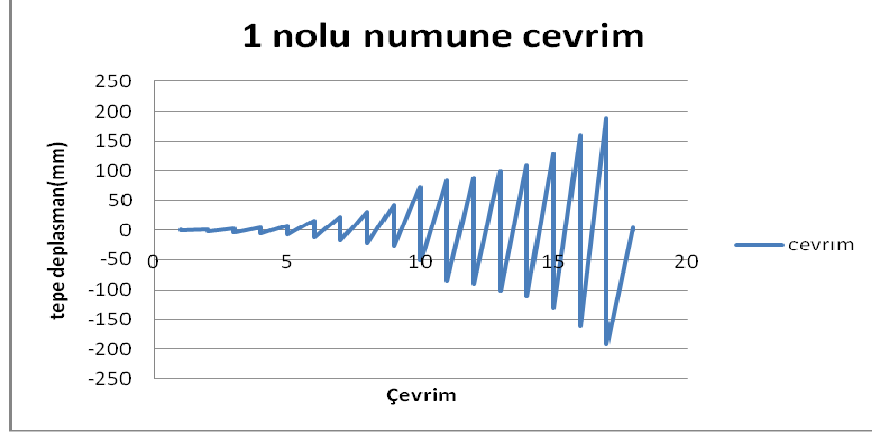
Elde edilen sap 2000 sonuçları 3 numunede de dayanımlar ve dolayısıyla sonuçları etkileyen E Elastisite Modülü çok yakın değerler elde edildiği için burada sadece ilk numuneye ait grafiğe yer verilmiştir.

5.3. Bulguların Değerlendirilmesi

Laboratuarda yapılan deneylerde üç adet kolon üretilmiş ve bu kolonların 28 günlük sonucunda performansları elde edilmiştir. Ayrıca yükleme etkisinde kolon elemanı deplasmanları ölçülerek genel davranış özellikleri belirlenmiştir. Böylece çalışma sonucunda kolonlar arasındaki performans farklarına ulaşılmıştır.

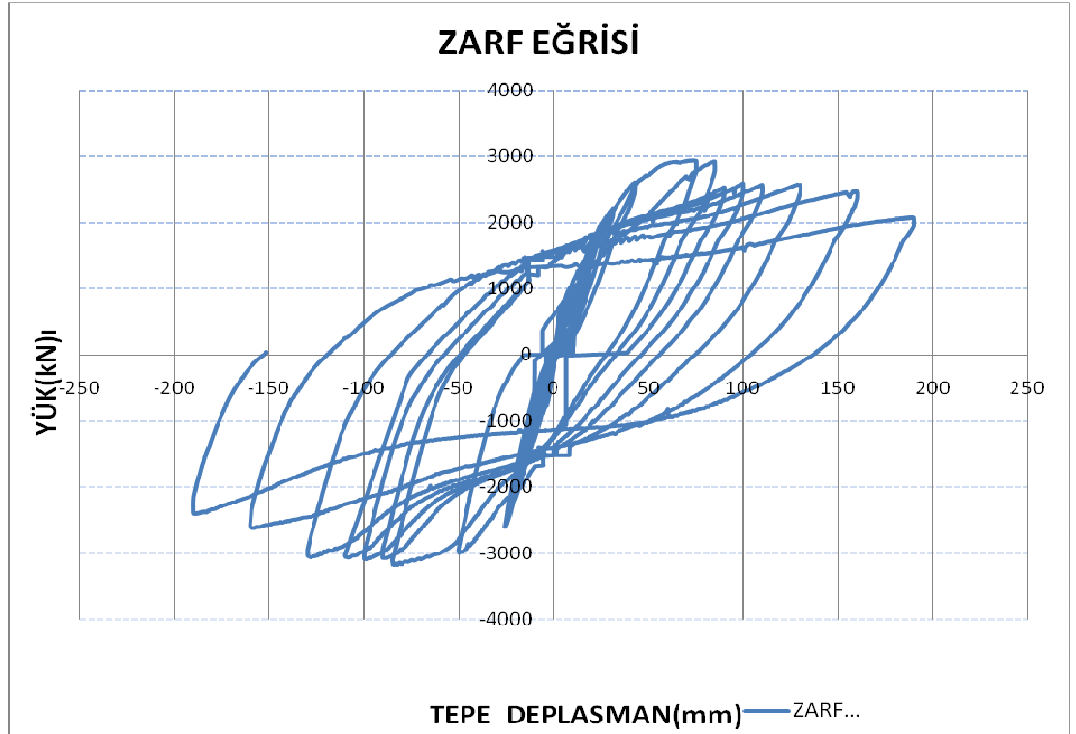
1 nolu numuneye ait tepe deplasmanı çevrim eğrisi Şekil 5.2. de verilmiştir. Eğri yardımıyla düzenli olarak deplasmanların gerek itme ve gerekse çekme durumundaki

yüklemeye artmış olduğu tespit edilmiştir. Bunun sonucunda çok düzgün bir deplasman eğrisi çevrimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.2 Tepe Deplasmanı Çevrim Eğrisi

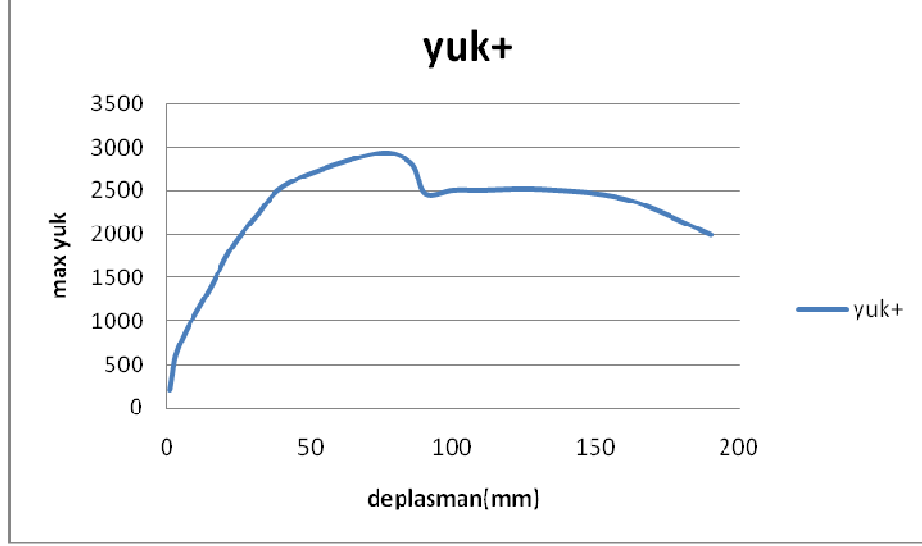
İtme ve çekme durumunda döngüler ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 5.3 de verilmiştir. Gerek itme ve gerekse çekme durumunda davranışın benzer olduğu görülmektedir. Özellikle belirli bir tepe noktasından sonra betonarme davranıştan beklenen önemli bir dayanım azalımı söz konusudur.



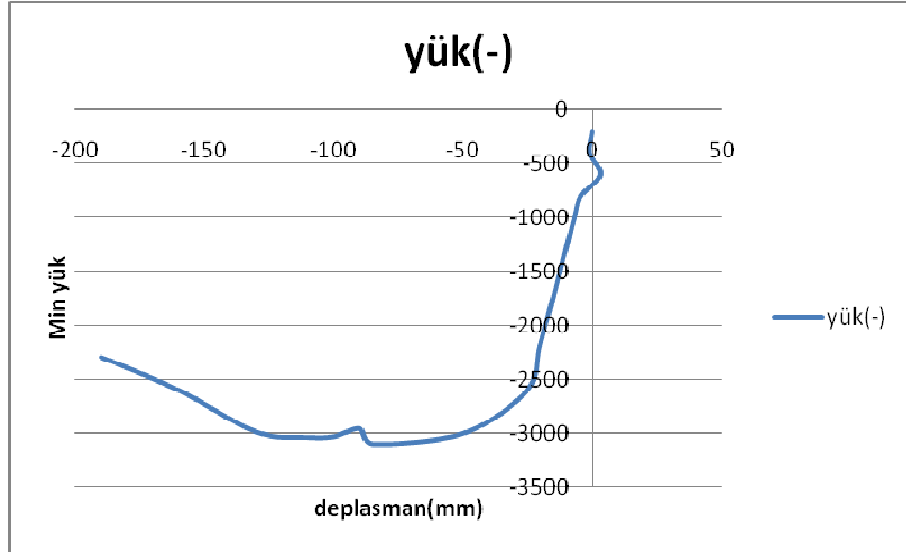
Şekil 5.3 1 nolu numune yük-deplasman eğrisi

Şekil 5.3. de verilmiş olan zarf eğrisinin itme durumundaki tek eğrisi Şekil 5.4 a ve b de verilmiştir. Bu eğri zarf eğrisindeki döngülerin tepe değeri dikkate alınarak çizilmiştir.

Eğri üzerinde yapılan incelemede, betonarme davranışın belirli bir tepe noktasından sonra azalan bir eğri olarak davranışı görülmektedir.

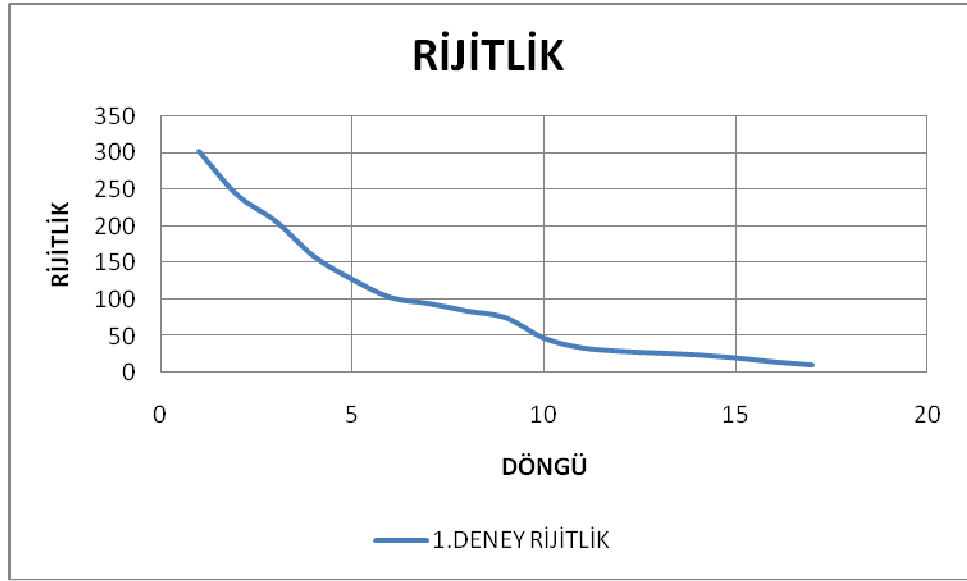


Şekil 5.4.a 1 nolu numune yük-deplasman eğrisi zarfı (itme)



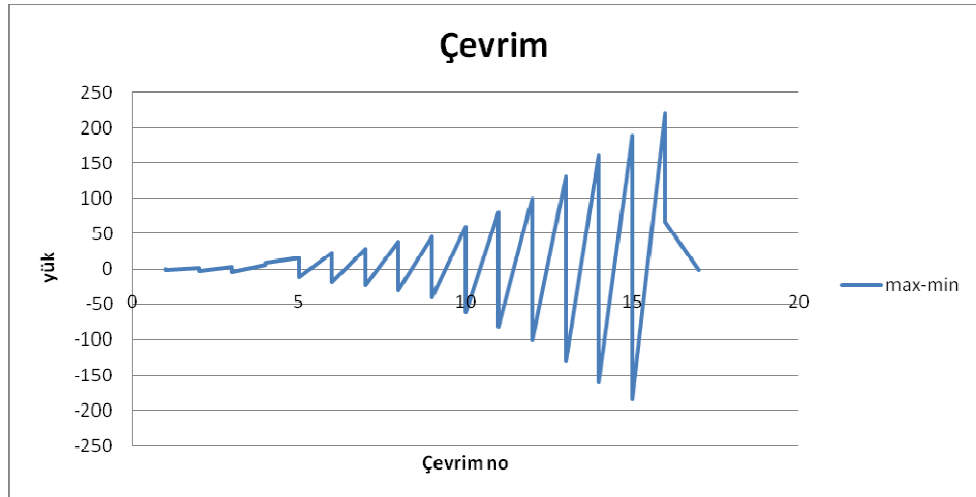
Şekil 5.4.b 1 nolu numune yük-deplasman eğrisi zarfı (çekme)

İlk numune zarf eğrisinden hareketle hesaplanmış olan rijitliğin çevrim ile değişimi Şekil 5.5. de verilmiştir. Yapılan incelemede, rijitliğin düzenli olarak azaldığı ve çevrimler arttıkça gelişen çatlaklar sonucunda, donatının devreye girmesi ile rijitlik azalmasının yavaşlamış olduğu görülmektedir.



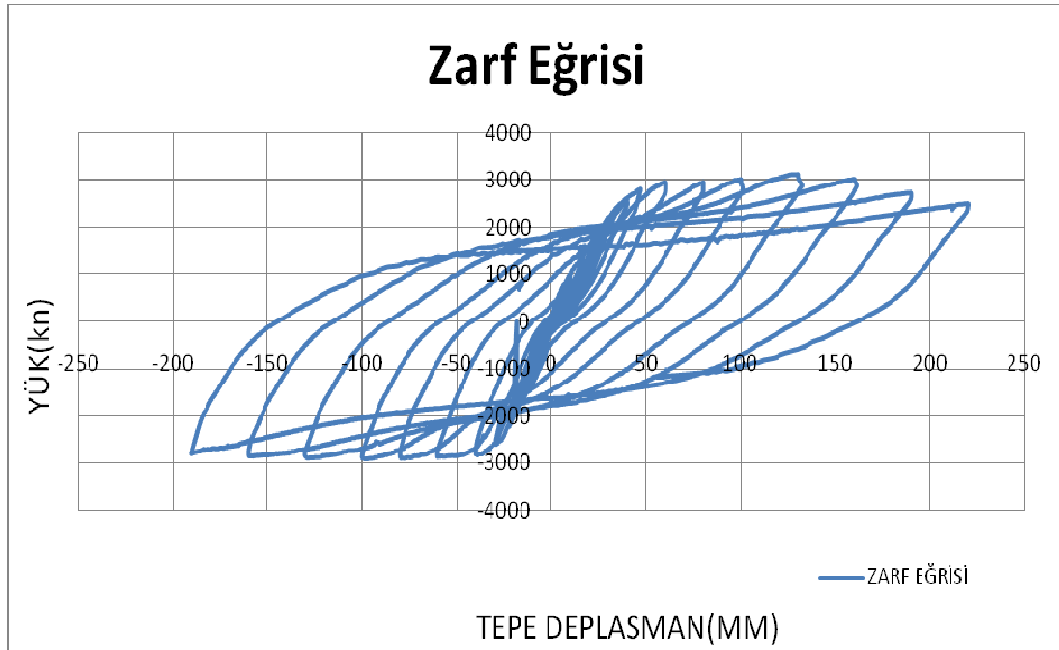
Şekil 5.5 1 nolu numune rijitlik-çevrim no değişimi eğrisi

2 nolu numuneye ait tepe deplasmanı çevrim eğrisi Şekil 5.6. da verilmiştir. Eğri yardımıyla düzenli olarak deplasmanların gerek itme ve gerekse çekme durumundaki yüklemeye artmış olduğu tespit edilmiştir. Bunun sonucunda çok düzgün bir deplasman eğrisi çevrimi gerçekleştirilmiştir.



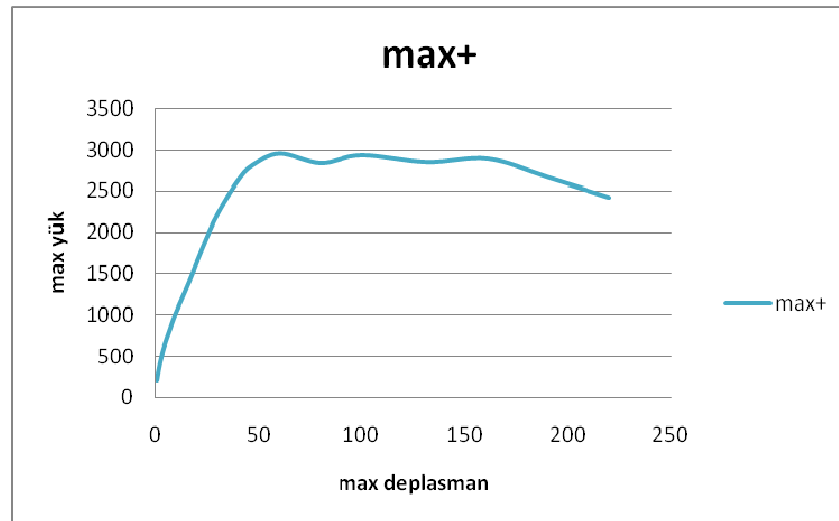
Şekil 5.6 Tepe Deplasmanı Çevrim Eğrisi

İtme ve çekme durumunda döngüler ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 5.7 de verilmiştir. Gerek itme ve gerekse çekme durumunda davranışın benzer olduğu görülmektedir. Özellikle belirli bir tepe noktasından sonra betonarme davranıştan beklenen önemli bir dayanım azalımı çelik lif katkısından dolayı daha yavaş olarak gerçekleşmiştir.

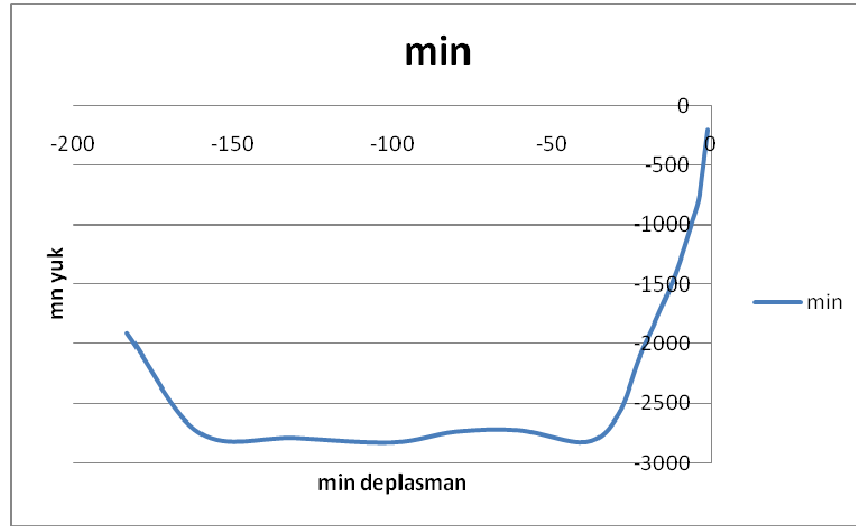


Şekil 5.7 2 nolu numune yük-deplasman eğrisi

Şekil 5.7 de verilmiş olan zarf eğrisinin itme durumundaki tek eğrisi Şekil 5.8 a ve b de verilmiştir. Bu eğri zarf eğrisindeki döngülerin tepe değeri dikkate alınarak çizilmiştir. Eğri üzerinde yapılan incelemede, betonarme davranışın belirli bir tepe noktasından sonra azalan bir eğri olarak davranışı görülmektedir. Ancak bu azalma çelik lif katkısız betonarme kesite göre daha düşük oranda gerçekleşmektedir. Yani ani bir azalma görülmemiştir.

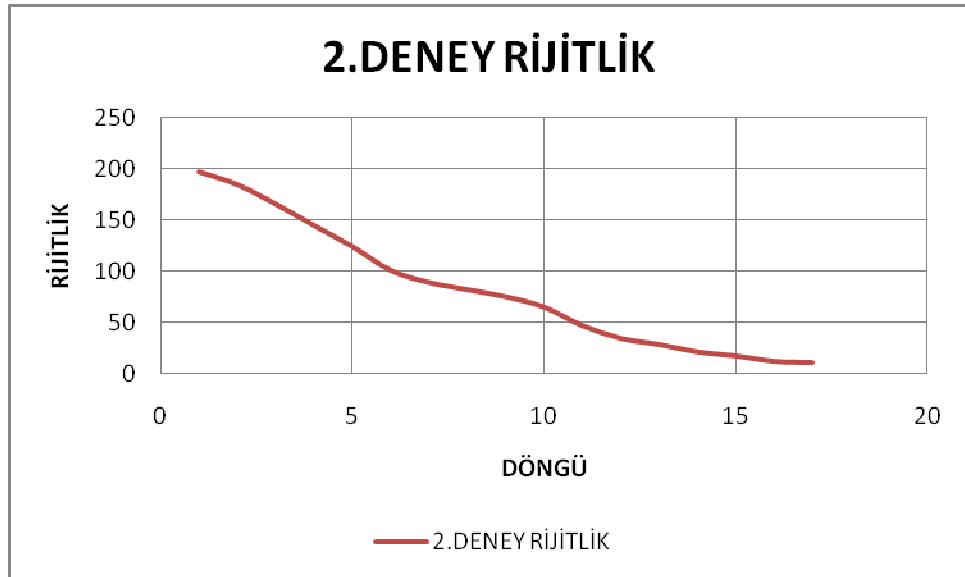


Şekil 5.8.a 2 nolu numune yük-deplasman eğrisi zarfı (itme)



Şekil 5.8.b 2 nolu numune yük-deplasman eğrisi zarfı (çekme)

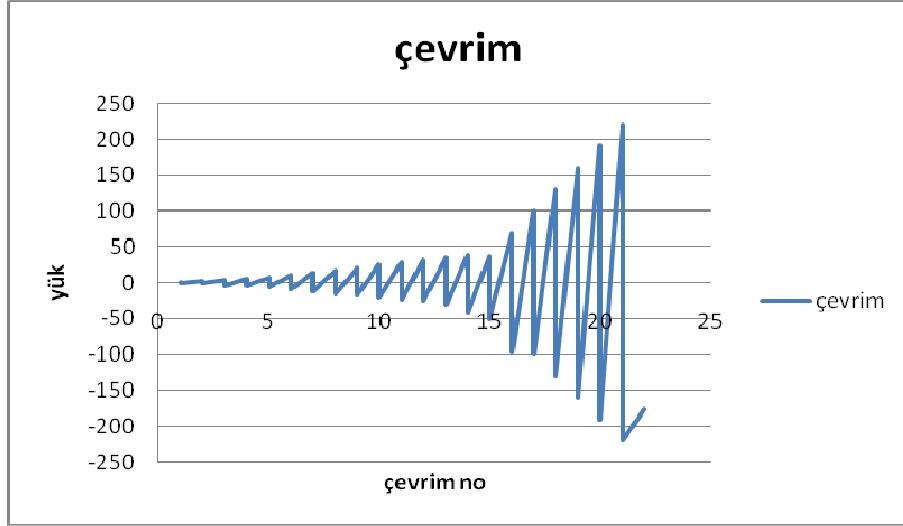
İkinci numune zarf eğrisinden hareketle hesaplanmış olan rijitliğin çevrim ile değişimi Şekil 5.9 da verilmiştir. Yapılan incelemede, rijitliğin düzenli olarak azaldığı ve çevrimler arttıkça gelişen çatlaklar sonucunda, donatının devreye girmesi ve çelik lifinde etkisiyle rijitlik azalımı düşmüştür. Bunun nedeni ise, çelik lif katkısından dolayı çatlakların gelişimi ve büyümesinin engellenmiş olmasının bir sonucu olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 5.9 2 nolu numune rijitlik-çevrim no değişimi eğrisi

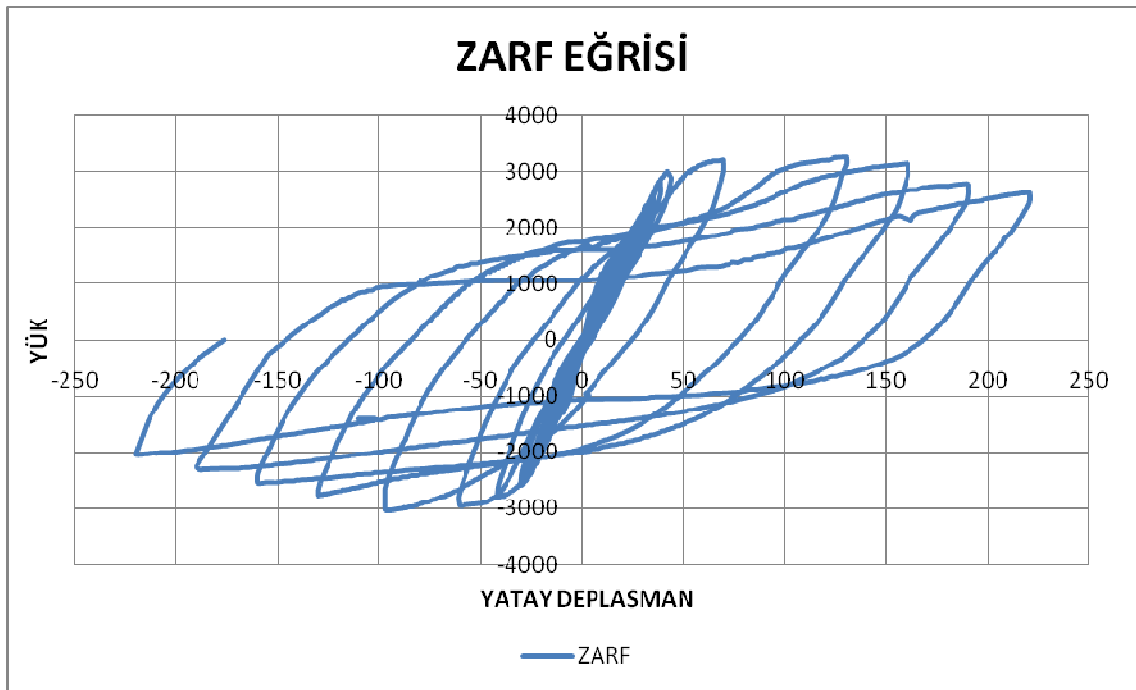
3 nolu numuneye ait tepe deplasmanı çevrim eğrisi Şekil 5.10 da verilmiştir. Eğri yardımıyla düzenli olarak deplasmanların gerek itme ve gerekse çekme durumundaki

yüklemeye artmış olduğu tespit edilmiştir. Bunun sonucunda çok düzgün bir deplasman eğrisi çevrimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.10 Tepe Deplasmanı Çevrim Eğrisi

İtme ve çekme durumunda döngüler ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 5.11 de verilmiştir. Gerek itme ve gerekse çekme durumunda davranışın benzer olduğu görülmektedir. Özellikle belirli bir tepe noktasından sonra betonarme davranıştan beklenen önemli bir dayanım azalımı çelik lif katkısından dolayı daha yavaş olarak gerçekleşmiştir.

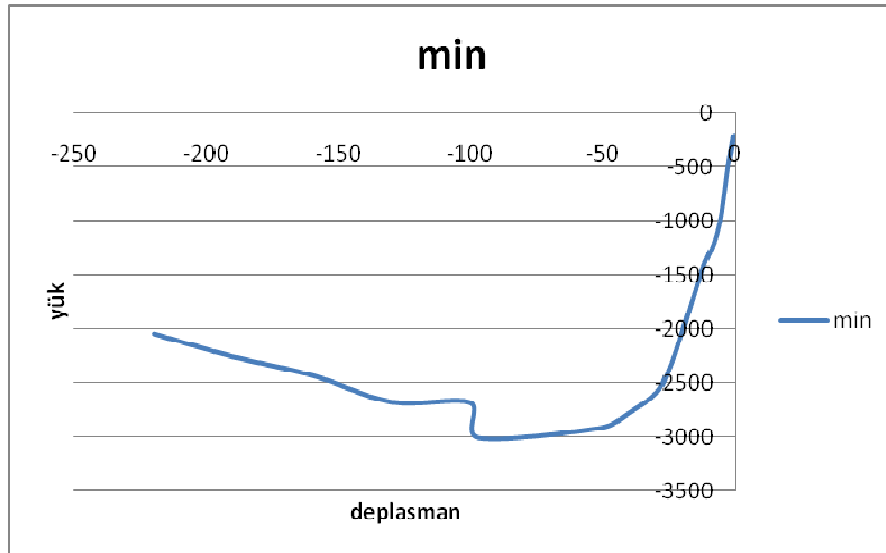


Şekil 5.11 3 nolu numune yük-deplasman eğrisi

Şekil 5.11 de verilmiş olan zarf eğrisinin itme durumundaki tek eğrisi Şekil 5.12 a ve b de verilmiştir. Bu eğri zarf eğrisindeki döngülerin tepe değeri dikkate alınarak çizilmiştir. Eğri üzerinde yapılan incelemede, betonarme davranışın belirli bir tepe noktasından sonra azalan bir eğri olarak davranışı görülmektedir. Ancak bu azalma çelik lif katkısız betonarme kesite göre daha düşük oranda gerçekleşmektedir. Yani ani bir azalma görülmemiştir.



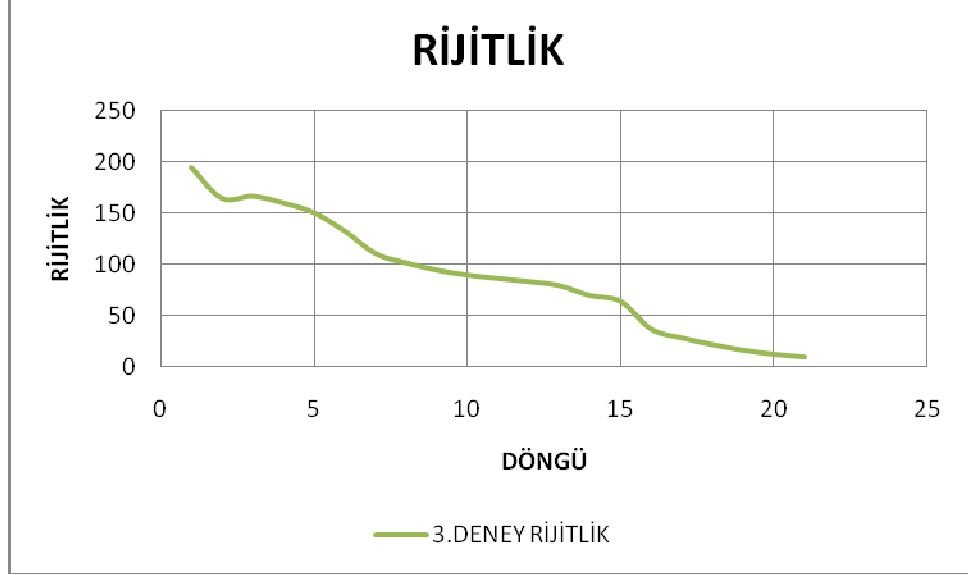
Şekil 5.12.a 3 nolu numune yük-deplasman eğrisi zarfı (itme)



Şekil 5.12.b 3 nolu numune yük-deplasman eğrisi zarfı (itme)

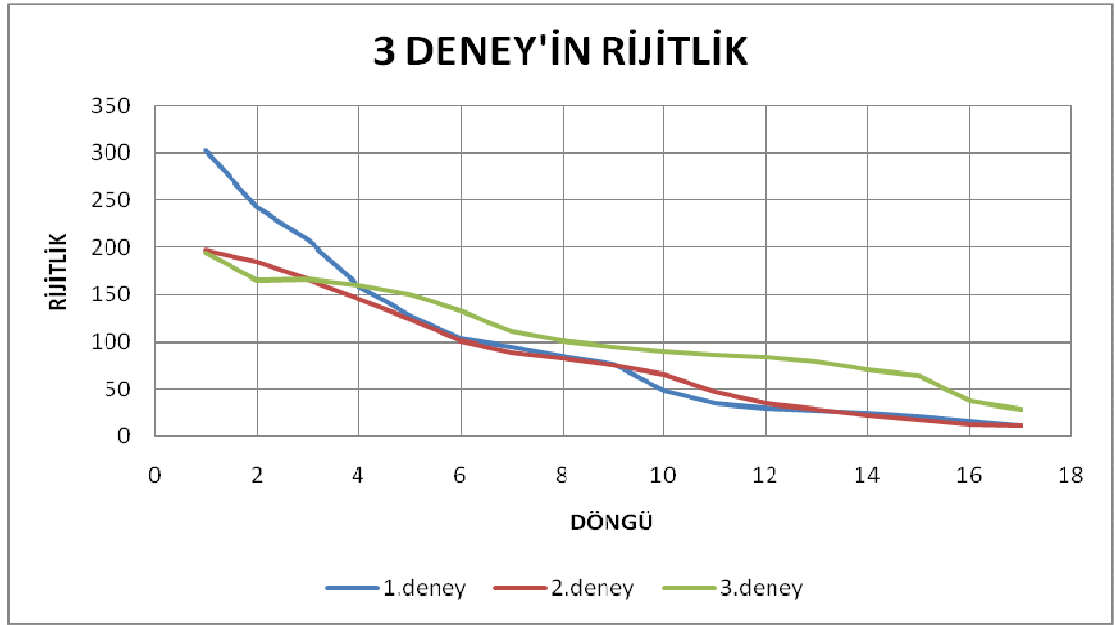
Üçüncü numune zarf eğrisinden hareketle hesaplanmış olan rijitliğin çevrim ile değişimi Şekil 5.13 de verilmiştir. Yapılan incelemede, rijitliğin düzenli olarak azaldığı ve

çevrimler arttıkça gelişen çatlaklar sonucunda, donatının devreye girmesi ve çelik lifinde etkisiyle rijitlik azalımı düşmüştür. Bunun nedeni ise, çelik lif katkısından dolayı çatlakların gelişimi ve büyümesinin engellenmiş olmasının bir sonucu olarak değerlendirilmiştir.



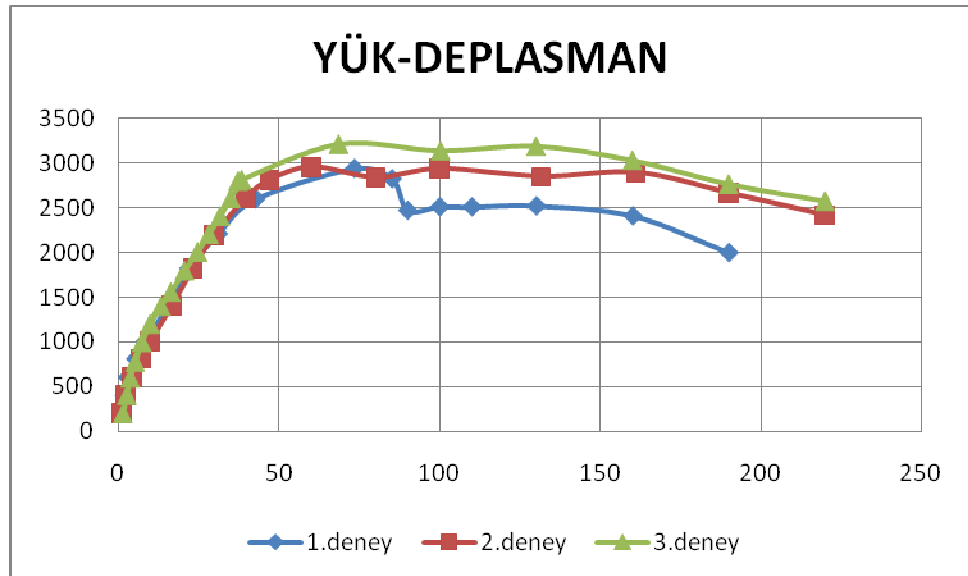
Şekil 5.13 3 nolu numune rijitlik-çevrim no değişimi eğrisi

Bütün numunelerin zarf eğrilerinden hareketle hesaplanmış olan rijitliğin çevrim ile değişimi Şekil 5.14 de verilmiştir. Yapılan incelemede, rijitliğin düzenli olarak azaldığı ve çevrimler arttıkça gelişen çatlaklar sonucunda, donatının devreye girmesi ve çelik lifinde etkisiyle rijitlik azalımı düşmüştür. Özellikle çatlak gelişimine kadarki rijitlik azalması çelik lif katkısız betonlu kolonlarda daha belirgindir. Ancak çelik lif oranının artırılması ile rijit azalması önemli oranda azalmıştır. Bunun nedeni ise, çelik lif katkısından dolayı çatlakların gelişimi ve büyümesinin engellenmiş olmasının bir sonucu olarak değerlendirilmiştir.

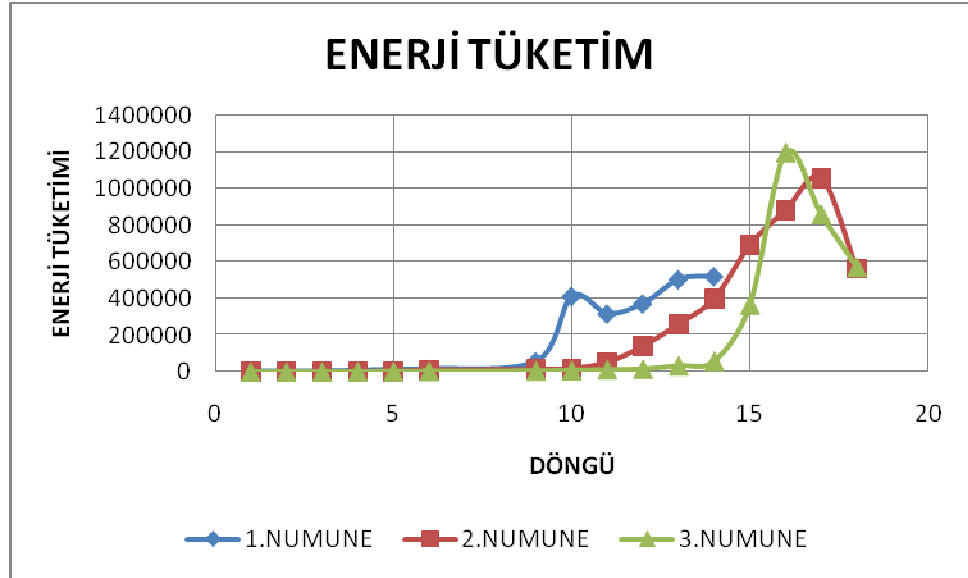


Şekil 5.14 Bütün numunelerde rijitlik-çevrim no değişiminin bir arada verilmesi

Bütün numunelere ait zarf eğrilerinin itme durumundaki tek eğrisi Şekil 5.15 de verilmiştir. Bu eğriler zarf eğrisindeki döngülerin tepe değeri dikkate alınarak çizilmiştir. Eğriler üzerinde yapılan incelemede, betonarme davranışın belirli bir tepe noktasından sonra azalan bir eğri olarak davranışı görülmektedir. Ancak bu azalma çelik lif katkısız betonarme kesite göre daha düşük oranda gerçekleşmektedir. Yani ani bir azalma görülmemiştir. Ayrıca çelik lif oranı arttıkça betonarme kolon enerji tüketimlerinde artış olduğu eğriden görülmektedir.



Şekil 5.15 bütün numunelere ait yük-deplasman eğrisi zarfları (itme)



Şekil 5.16 bütün numunelere ait Enerji tüketim-çevrim eğrisi

6. BÖLÜM

SONUÇ

Bu çalışmada, C20 beton kalitesindeki betona RN 80/60 tipi çelik lif 30 kg/m^3 ve 60 kg/m^3 oranlarında ilave edilerek çelik lif katkısız olarak 3 adet betonarme kolon numunesi hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 28 gün sonunda yatay yük etkisi altında kırılarak taşıma gücü özellikleri ve performansları incelenmiştir.

Çalışma sonucunda, artan çelik lif oranı betonarme kolon davranışlarında önemli bir katkı sağlamıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda taşıma gücü değişimi için çok önemli artış olmamakla birlikte enerji tüketimlerinde artış olmuştur. Bu artış çelik lif katkısız referans numuneye göre artan lif oranı ile birlikte %11 ve %19 olarak gerçekleşmiştir. Sünekliliğin bir ölçüsü olan bu değer, özellikle depremlerde betonarme kolonlara lif katkısının önemli performans sağladığının sonucudur.

Deneylerdeki zarf eğrileri üzerinde yapılan incelemede, kuvvet-deplasman eğrilerinin lif katkısız kolonlarda tepe noktasından sonra ani olarak azaldığı görülmektedir. Buna karşılık çelik lif katkılı kolonlarda tepe noktası sonrası keskin bir düşüş görülmemekte ve daha düşük değerlerde dayanım azalması ile deplasman yapmaya devam etmektedir.

Çelik lif katkılı numunelerde, çatlak gelişimi daha sık ve çok sayıda meydana gelmiş olmakla birlikte, çatlak boyutları küçük mertebelerde kalmıştır. Bunun sonucunda rijitlik azalması artan çelik lif oranı ile birlikte çelik lif katkılı kolonlarda daha az olmuştur. Özellikle mafsallı oluşturan düğüm noktası bölgesinde beton ufalanmaları çelik lif katkısı ile azalmıştır.

Deney sonucunda elde edilen rijitliğin çevrim ile değişim eğrileri üzerinde yapılan incelemede, rijitliğin düzenli olarak lif katkısız numunelerde azaldığı ve lif katkılı numunelerde ise çevrimler arttıkça gelişen çatlaklar sonucunda, çelik lifinde etkisiyle rijitlik azalımı daha düşük şekilde olmuştur. Özellikle çatlak gelişimine kadarki rijitlik azalması, çelik lif katkısız betonlu kolonlarda daha belirgindir. Ancak çelik lif oranının artırılması ile rijit azalması önemli oranda azalmıştır. Bunun nedeni ise, çelik lif katkısından dolayı çatlakların gelişimi ve büyümesinin engellenmiş olmasının bir sonucu olarak değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, çelik lif katkısı deneysel veriler değerlendirildiğinde süneklik ve rijitlik değişimlerinde etkili olmuştur. Özellikle çelik lif katkılı numunelerde çatlak gelişiminin azalması ve çatlak açıklıklarının düşük kalması betonarme davranış için önemlidir. Betonarme numune performanslarının çelik lifli elemanlarda artması, betonarme taşıma gücü hesaplarında çelik lifin etkisinin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

1. İrtem E.,Türker K.,Hasgül U,(2004) “Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarlanmış Betonarme Yapıların Performansının Değerlendirilmesi” Balıkesir Üniversitesi, Altıncı Uluslar arası İnşaat Mühendisliği Gelişmeler Kongresi.İstanbul 2004.
2. Gül R., Düzgün O., Betonlarda Çelik Lif Kullanılmasının Etkisi, DSİ Teknik Bülteni Sayı 100 (9-17)
3. ABYYHY (2007) Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı
4. İ Yüksel ..(2007) “Deprem Yükleri Etkisindeki Sünek Bina Sistemlerinde Yapısal Davranışın İrdelenmesi”, Z.K.Ü. Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
5. Ersoy, U., ve Özcebe, G., 2001. Betonarme, Geliştirilmiş Yeni Baskı, Evrim Yayınevi ve Bilg. San. Tic. Ltd. Şti., İstanbul
6. www.beksa.com, Çelik Tel Donatılı Zemin Betonları, Tasarım ve Yapım İlkeleri, Dramix Çelik Telleri
7. Dirikgil ,T., Polipropilen Lifli Betonların Yüksek Sıcaklık Etkisi Altında Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Deneysel Araştırılması, Erciyes Üniversitesi, Kayseri,2009.
8. Craig,R.J; McConnell , J.; Germann, H.; ve Kashani, F.; 1984 “Behavior of Reinforced Fibrous Concrete Columns ” Fiber Reinforced Concrete International Symposium, American Concrete Institute Detroit.
9. Özmen B.,İnel M.Bilgin H..(2007) “Sargılı Beton Davranışının Betonarme Sistem Davranışına Etkisi”, G.Ü. Müh-Mim Fakültesi Dergisi, Cilt 22 No 2, 375-383, Aralık, Ankara.
10. Öztürk H., Doğu Karadeniz Bölümü Agregalarından Biriyle Üretilen Lifsiz ve Çelik Lifli, Geleneksel ve Yüksek Performanslı Betonların Davranışlarının Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2005
11. Yerlikaya M (Beksa Çelik Kord. San. Ve Tic. AŞ), Çelik Tel Donatılı Betonların Deprem Etkisi Altında Davranışları,

12. Tanrıöven ,F., Polipropilen, “Yüksek Sıcaklık Etkilerindeki Karma Lifli Betonların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” Erciyes Üniversitesi, Kayseri,2009.
13. Taşdemir A., M., Bayramov F., Kocatürk A., N., Yerlikaya M., Betonun Performansa Göre Tasarımı, Performans Sınıfları
14. Celep Z,Kumbasar N.(2001)’’Betonarme Yapılar’’ Rehber Matbaacılık. İstanbul.
15. Köken A.Kaltakçı M.Y.(1998)’’Eksenel Yüklü Betonarme Kolonların Davranışı Üzerine Deneysel ve Analitik Bir İnceleme’’, S.Ü. Müh-Mim Fakültesi Dergisi, Cilt 13 Aralık, Konya
16. :Darılmaz K, (kdarilmaz@ins.itu.edu.tr), Sap2000 İle Statik İtme Analizi (Pushover Analysis).
17. Kaltacı Y.Köken A.,Ülkü S.Y.(2006)’’Eksenel Yük Altındaki Çelik Lifli ve Lifsiz Etriyeli Betonarme Kolonların Davranışının Deneysel ve Analitik Olarak İncelenmesi’’DEÜ. Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt:8 Sayı:1 s:65-85 Ocak 2006.İzmir
18. Karahan O., Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
19. www.draco.com.tr
20. Haktanır T., Altun F., Karahan O., Arı K., Beton Borulara Çelik Lif Katkısının Mekanik Özelliklere Etkisi, Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,.
21. TS 10515(1992), Beton-Çelik Tel Takviyeli-Eğilme Mukavemeti Deney Metodu, Türk Standartları Enstitüsü.
22. Ekinci Ö., Karma Lif İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı – Bir Optimum Tasarım, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ocak 2003
23. Ersoy M. Özcebe G.(2001)’’Betonarme’’,Evrin Yayınevi. Ankara.

24. TSE500(2000) ,Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ocak 2000
25. Acun, B. ve Sucuoğlu, H. “Betonarme Kolonların Enerji Esaslı Yöntemlerle Performans Değerlendirmesi”. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, Bildiriler Kitabı, Bildiri No. 7, 85-96, İstanbul, 2007.
26. Arslan A., Aydın A. C., Lifli Betonların Darbe Etkisi Altında Genel Özellikleri.
27. Ekinci Ö., Karma Lif İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı – Bir Optimum Tasarım, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ocak 2003
28. TS 802, Beton Karışım Hesap Esasları, TSE, Ocak, 1985.
29. Yıldırım S.T., Lif Takviyeli Betonların Performans Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2002.
30. Bekaert, Çelik Teller Hakkında Genel Bilgiler Klavuzu, Belçika, 2001.
31. Haktanır T., Altun F., Karahan O., Arı K., Beton Borulara Çelik Lif Katkısının Mekanik Özelliklere Etkisi, Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,

ÖZGEÇMİŞ

Zehra Dandin 1982 yılında Kayseri'nin Melikgazi ilçesinde doğdu. İlköğretimini Ahmet Paşa İlkokulunda 1989-1993 yılları arasında ve Ortaöğretimini Anadolu İmam hatip Lisesinde 1993-1997 yılları arasında tamamladı. Lise eğitimini Özel İstikbal Lisesinde, 1997-2000 yılları arasında tamamladı. 2000 yılında girdiği Üniversite sınavıyla Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümünü Kazandı. Burada 4 yıllık lisans eğitimini tamamladıktan sonra Amerika da 8 ay özel dil okulların da dil eğitimini tamamladı. Aynı yıl Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümüne yüksek lisans öğrencisi olarak girdi ve Dandin İnş San. Tic. Aş.'de göreve başladı ve halen proje ve müteahhitlik hizmetlerini sürdürmektedir.

Sürekli Adres : Cumhuriyet Mah. Vatan Cad. Bakır İş merkezi No 46/12

38040 Melikgazi Kayseri

Telefon : 0530 201 50 79

e-posta : zehradandin@mynet.com