

**KESME İÇİN GÜÇLENDİRİLEN BETONARME KİRİŞLERİN
TERSİNİR YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞI**

Nazik KH. HASAN

114750

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANİZASYON MERKEZİ**

Eylül 2001

ANKARA

114750

Nazik KH. HASAN tarafından hazırlanan KESME İÇİN GÜÇLENDİRİLEN
BETONARME KİRİŞLERİN TERSİNİR YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞI
adlı tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

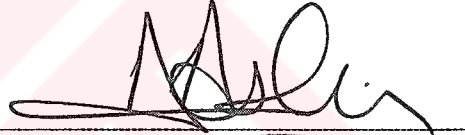


Prof. Dr. Sinan ALTIN

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek
Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

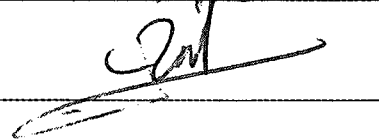
Başkan : Prof. Dr. A. Samet ARSLAN



Üye : Prof. Dr. Sinan ALTIN



Üye : Dr. Yusuf DEMİREL



Üye

Üye

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına
uygundur.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
1. GİRİŞ	1
2. DENEYSEL ÇALIŞMA	10
2.1. Genel	10
2.2. Deney Modellerinin Detaylandırılması	11
2.3. Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	16
2.3.1 Beton özellikleri	16
2.3.2. Donatı özellikleri	18
2.4. Deney Elemanlarının Hazırlanışı	18
2.5. Güçlendirme İşlemi	22
3. LABORATUVAR TEKNOLOJİSİ	24
3.1. Genel	24
3.2. Yükleme Sistemi ve Deney Düzeni	24
3.3. Ölçüm Düzeni ve Veri Toplama	26
3.3.1. Ölçüm aletleri ve yerleşim düzeni	26
3.3.2. Veri toplama ve değerlendirilmesi	29
3.3.2.1. Deplasman ölçümü	29

3.4. Deneyde Uygulanan Yöntem.....	31
4. DENEYLER VE GÖZLENEN DAVRANIŞLAR.....	34
4.1. Genel	34
4.2. Deney Elemanı C040	34
4.3. Deney Elemanı C020	38
4.4. Deney Elemanı C220	41
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	46
5.1. Davranış ve Dayanım	46
5.2. Rijitlik.....	48
5.3. Deney Elemanlarının Enerji Tüketim Kapasiteleri.....	49
5.4. Deney Elemanlarının Deplasman Süneklikleri	53
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	55
6.1. Sonuçlar	55
6.2. Öneriler.....	56
KAYNAKLAR.....	58
EKLER	59
ÖZGEÇMİŞ.....	64

KESME İÇİN GÜÇLENDİRİLEN BETONARME KİRİŞLERİN TERSİNİR YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞI

(Yüksek Lisans Tezi)

Nazik KH. HASAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Eylül 2001

ÖZET

Yeterli kesme dayanımına sahip olmayan betonarme kirişlerin güçlendirilmesi amacıyla kullanılan yaygın yöntemlerden biri de dıştan yerleştirilen kelepçelerle kesme dayanımı yetersizliğinin giderilmesi tekniğidir. Uygulamada kullanılmasına karşın, bu yöntemin etkinliği ile elemanın davranış ve dayanımı üzerindeki etkileri konusunda az sayıda araştırma bulunmaktadır. Çalışmada kelepçelerle güçlendirme yönteminin depremi benzeştiren tersinir ve tekrarlanır yükler altında performansı deneysel olarak araştırılmıştır. Düzenlenen deney programında 3 adet konsol kiriş elemanı test edilmiştir. Deney sonuçları güçlendirme yönteminin elemanın dayanım, rijitlik, süneklik üzerindeki etkilerini ortaya koyacak biçimde değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçları, güçlendirme yönteminin tersinir ve tekrarlanır yükler altında da etkin olduğunu, kelepçelerin kesme çatlaklarını kontrol ederek elemanda eğilme davranışı gelişmesini sağladığını göstermiştir.

Bilim kodu : 624.03.01

Anahtar kelimeler : Betonarme kirişler, kesme donatısı, kesme dayanımı, güçlendirme, tersinir yükler

Sayfa adedi : 73

Tez yöneticisi : Prof. Dr. Sinan ALTIN

**BEHAVIOUR OF THE REINFORCED CONCRETE BEAMS
STRENGTHENED FOR SHEAR UNDER REVERSAL LOADS**

(M. Sc. Thesis)

Nazik KH. HASAN

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

September 2001

ABSTRACT

The most common technique used to provide additional shear strengthen reinforced concrete beams, which have inadequate shear reinforcement, is the use of exterior clamps. Although this clamping technique is widely used in practice, the effectiveness and its influence on the behavior and strength have not been investigated enough. The performance of strengthening technique of the beams by clamps under cyclical and reversal loads which is resemblance to seismic was experimentally researched. During the experiment program three elements of console beams have been tested. Results of the test were indicate the influence of the technique on strength, rigidity and ductility of beams. Test results prove that strengthening technique under cyclical and reversal loads is very effective. External clamps improve shear behavior thus lead to bending failure and control shear cracks.

Science Code : 624.03.01

Key Words : Reinforced concrete beams, shear reinforcement, shear strength, strengthen, reversal loads

Page Number : 73

Adviser : Prof. Dr. Sinan ALTIN

TEŞEKKÜR

Bu araştırma Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında gerçekleştirilen deneysel bir çalışmanın ürünüdür. Bu çalışmanın gerçekleşmesindeki katkılarından dolayı Gazi Üniversitesi'ne teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışma süresince bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Sinan Altın'a, İnş. Yük. Müh. Özgür Anıl'a, laboratuvardaki yardımlarından ötürü uzman Faruk Oğün'e ve her zaman bana manevi desteklerini gösteren Dr. Sabahattin Aykaç'a ve İnş. Yük. Müh. Bengi Aykaç'a teşekkür ederim. Aynı zamanda deneysel çalışmalar boyunca her zaman yanımda olan eşim Zana K. Shakir'e ve manevi desteklerinden beni mahrum etmeyen çok uzaklarda olan değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge		Sayfa
Çizelge 2.1.	Deney elemanlarının özellikleri	15
Çizelge 2.2.	Beton karışım oranları	16
Çizelge 2.3.	Modellerin karakteristik basınç dayanım değerleri	17
Çizelge 2.4.	Donatıların mekanik özellikleri	18
Çizelge 4.1.	Gözlemlenen sonuçlar	45
Çizelge 5.1.	Deney elemanları süneklik oranları	54



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1.	C040 deney elemanı donatı şeması13
Şekil 2.2.	C020 ve C220 deney elemanı donatı şeması14
Şekil 2.3.	Test için hazırlanan standart silindir numunesi17
Şekil 2.4.	Hazırlanan donatı kafesin ahşap kalıpta yerleşimi20
Şekil 2.5.	Beton dökümüne hazır deney elemanı21
Şekil 2.6.	Beton dökümü21
Şekil 2.7.	C220 deney elemanının güçlendirilmesi23
Şekil 3.1.	Deney düzeneği25
Şekil 3.2.	İç kuvvet dağılımı27
Şekil 3.3.	Deplasman ölçüm aletlerinin yerleşimi28
Şekil 3.4.	Test edilecek deney elemanı30
Şekil 3.5.	Deformasyon geometrisi32
Şekil 3.6.	Deney öncesinde C220 elemanı33
Şekil 4.1.	C040 (kontrol) deney elemanı yük çevrim grafiği35
Şekil 4.2.	C040 (kontrol) deney elemanı deplasman çevrim grafiği35
Şekil 4.3.	C040 (kontrol) deney elemanı yük-deplasman ilişkisi36
Şekil 4.4.	C040 deney elemanı göçmeden sonra37
Şekil 4.5.	C020 (kontrol) deney elemanı yük çevrim grafiği39
Şekil 4.6.	C020 (kontrol) deney elemanı deplasman çevrim grafiği39
Şekil 4.7.	C020 (kontrol) deney elemanı yük-deplasman ilişkisi40
Şekil 4.8.	C220 deney elemanı yük çevrim grafiği42
Şekil 4.9.	C220 deney elemanı deplasman çevrim grafiği.....42

Şekil 4.10.	Güçlendirilen C220 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	43
Şekil 4.11.	C220 deney elemanı göçmeden sonra	44
Şekil 5.1.	Zarf eğrileri	47
Şekil 5.2.	C040 deney elemanı eğilme rijitliği değişim grafiği	50
Şekil 5.3.	C020 deney elemanı eğilme rijitliği değişim grafiği	51
Şekil 5.4.	C220 deney elemanı eğilme rijitliği değişim grafiği	52
Şekil 5.5.	Deney elemanlarının kümülatif enerji tüketim kapasiteleri	53



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
A_{sw}	Gerekli kayma donatısı kesit alanı
A_{swe}	Kirişe dıştan yerleştirilen kayma donatısı alanı
A_{swi}	Kirişe içten yerleştirilen kayma donatısı alanı
d	Kiriş etkili yüksekliği
E	Elastik modülü
P	Tekil yük
P_y	Akma anındaki yük
a	Tekil yükün mesnede olan uzaklığı
f_{ck}	Betonun karakteristik basınç dayanımı
f_{yk}	Donatı çeliğinin akma dayanımı
f_{su}	Donatı çeliğinin çekme dayanımı
δ	Deplasman (yer değiştirme)
ϵ_u	Betonun maksimum birim şekil değişimi

1. GİRİŞ

Günümüzde kullanımda olan bir çok yapı yeterli deprem güvenliğine sahip değildir. Bunun doğal sonucu olarak da, yaşanan depremlerde yapılar ağır hasarlar almakta yada göçmektedirler. Yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yapıların güçlendirilmesi çok önemli bir sorun olarak güncelliğini korumaktadır. Bu tür betonarme yapıların güçlendirilmesi amacıyla deneysel bilgi birikimine dayalı çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Türkiye'de ve uluslararası düzeyde son yılların araştırmalarında güçlendirme ve onarım hep öncelikli konular olarak yer almaktadır.

Betonarme elemanlarda kesme kırılmasının önlenmesi amacıyla, kesme gerilmeleri ne kadar küçük olursa olsun, yönetmelikler minimum kesme donatısı bulundurma zorunluluğu getirmişlerdir. Ancak betonarme uygulamalarında, çeşitli nedenlerden dolayı bir çok yapıda kesme donatısı projeye uygun yapılmamakta ve önemli oranda azaltılmaktadır. Bunun sonucu olarak da kesme donatısı yetersizliğinden kaynaklanan çok önemli kesme sorunları ile uygulamada sık sık karşılaşılmaktadır.

Etriye donatısının temel işlevlerinden biri de betonarme elemanların kesmeden kırılmasını önleyerek eğilme kapasitesine ulaşmasını sağlamaktır. Yeterli kesme donatısı bulunan bir betonarme elemanda eğilme davranışı hakim olacak, eğik çatlaklar kılcal düzeyde kalırken göçme elemanın eğilme kapasitesine erişmesi ile gerçekleşecektir. Kesme donatılı betonarme bir kirişte, asal çekme gerilmelerinin betonun eğik çekme dayanımından küçük olduğu düzeylerde, etriyeler herhangi bir gerilme taşımazlar. Ancak betonun eğik çekme dayanımının aşılmasıyla gelişen eğik çatlaklar, etriyelerde ani ve büyük gerilme oluşumuna neden olacaktır. Etriyeler de bu eğik çatlakların oluşumuyla etkinleşirler. Etriyelerin seyrek yerleştirildiği durumlarda ise,

oluşan eğik çatlak gerekli sayıda etriye ile kesişmeyeceğinden kiriş yeterli dayanımı gösteremeyecektir. Yeterli kesme dayanımı, sadece eğik çatlakların kesiştiği etriye sayısının artırılması ile de sağlanamayıp, eğik çekme dayanımının mekanik karakteristiklerine de bağlıdır [1]. Yeterli kesme donatısı bulunmayan betonarme elemanlarda, gerekli kesme dayanımı sağlanmadığından, eğik çatlakların oluşması ile elemanın gevrek biçimde kırılarak göçmesinin önlenmesi imkansızdır. Bu gibi durumlarda kesme donatısı işlevini görecektir kelepçelerin eleman dışından çeşitli şekillerde yerleştirilerek güçlendirilmesi yöntemi çok yaygın olarak kullanılmakta ve önerilmektedir. Oluşturulan kelepçelerin hangi koşullarda ve ne düzeyde etkili oldukları, kullanılan bağlama yönteminin eleman davranış ve dayanımını nasıl etkiledikleri ise tam olarak bilinmemektedir. Konu ile ilgili deneysel çalışmalarında çok sınırlı kalmış olduğu dikkati çekmektedir.

Uygulamada yaygın olarak kullanılan bu güçlendirme yönteminde kelepçeler, genellikle el yordamıyla düzenlenmekte ve güvenilir bir analize dayandırılmamaktadır. Hesap yapılan durumlarda ise, bu kelepçelerin tam anlamı ile etkili olacağı varsayılarak, bilinen etriye hesabı yöntemleri izlenmektedir. Dolayısıyla bu yöntemin deneysel araştırılması, eleman dayanım ve davranışının açık bir biçimde incelenerek izlenecek hesap ilkelerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmada kullanılmış olan güçlendirme yönteminin, tek düze ve tekrarlanır yükler altında nasıl sonuç vereceği geçmişte yapılan deneysel çalışmalarla araştırılmıştır. Fakat, bu güçlendirme yönteminin, tersinir ve tekrarlanır yükler altında ne kadar etkili olacağı bilinmemektedir.

Yapılam literatür araştırmalarında da ,bu yöntem ile güçlendirilen betonarme kirişlerin deprem yükleri altındaki davranışı ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Çalışmanın amacı, kesme dayanımı yeterli olmayan betonarme kirişlerin kesme dayanımını artırmaya yönelik güçlendirme tekniği olarak geliştirilen eleman dışından kelepçe yerleştirilmesi yönteminin deprem yüklerini benzeştiren tersinir ve tekrarlanır yükler altında etkinliğinin deneysel araştırılmasıdır.

Bu amaç doğrultusunda laboratuvarında 1/2 geometrik ölçekli boyuna donatıları özdeş olan 3 adet konsol kiriş elemanı modellenerek Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarında test edilmiştir. Deney programında yetersiz etriyeli deney elemanı dıştan kelepçeleme yöntemi ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilen deney elemanında etriye donatıları olması gereken donatıya göre (A_{swi}/A_{sw}) %50 daha az düzenlenmiştir. Deney programı içerisinde bir adet deney elemanı güçlendirilirken, iki deney elemanı ise kontrol amaçlı üretilmiştir. Kontrol elemanlardan biri kesme donatısı olması gerektiği gibi düzenlenmiştir. İkinci ise kesme dayanımı düşük bir model olarak tasarlanmıştır.

Test edilen deney elemanlarında gözlenen davranışlar ve elde edilen veriler kullanılarak elemanların dayanımı, rijitliği, sünekliği ve göçme mekanizmaları incelenmiştir.

Onarım ve Güçlendirme

Onarım, hasarlı bir yapı yada yapı elemanın, öngörülen güvenliğe sahip olabilmesi için yapılan iyileştirme işlemlerdir. Güçlendirme ise hasar.

görmemiş bir yapı yada yapı elemanının öngörülen güvenliğe sahip olabilmesi için yapılan iyileştirme işlemler olarak tanımlanabilir [2].

Onarım ve güçlendirmede asıl amaç yapının yada yapı sisteminin davranışını ve dayanımını iyileştirmektir. Dolayısıyla kullanılan teknik nasıl tercih edilecek olursa olsun yapıda yeterli dayanım, süneklik ve rijitliğin sağlanması gerekmektedir.

Konuyla İlgili Daha Önceki Çalışmalar

Kirişlerin dıştan kelepçelerle onarım/güçlendirme yöntemi uygulamada sıkça kullanılmasına rağmen konu üzerinde yapılan araştırmaların yurt içinde ve dışında oldukça sınırlı kalmış olduğu dikkati çekmektedir. Konu ile doğrudan ilişkili çalışmalar bu bölümde gözden geçirilerek incelenmiştir.

Richard C. Elstner ve Eivind Hognestad (1957)

Elstner ve Hognestad tarafından, 1955 yılında, Amerika'da Wilkins Hava Kuvvetleri Üssünde bir hangarın 4000 ft² alana sahip çatısının çökmesi sonucunda, çökme sebeplerinin ve güçlendirme tekniklerinin araştırılması amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Çökme sebeplerinin araştırılması için; ilk olarak yapının statik analizinin ve hesap yönteminin Amerikan standartlarına uygunluğu kontrol edilmiştir. Analizde hiç bir yanlışlığın olmadığı ve bu hesap yönteminin daha önceleri bir çok hangar yapımında kullanılıp hiçbir sorun ile karşılaşmadığı görülmüştür. İkinci olarak, yapı inşaatında kullanılan malzemeler test edilmiştir. Bu amaçla, yapının çöken çerçeve sisteminden numuneler alınmış ve bu numuneler laboratuvarında mikroskobik, sonik ve fiziksel testlerden geçirilmişlerdir. Test sonuçları malzemeden kaynaklanan bir çökme olmadığını göstermiştir. Üçüncü aşama olarak, çerçeve sistemin göçme

şekli dikkate alınmıştır ve göçmeden 18 ay önce taşıyıcı sistemde diyagonal çekme çatlaklarının oluşması da göz önüne alınarak, göçmenin çerçeve sistemin kirişinden oluştuğu belirlenmiştir.

Bu üç aşamalı araştırma sonucunda programlanan bir dizi deney yapılmıştır. Bu deney programının amacı Wilkins hangarının göçmesinin laboratuvar ortamında tekrarlanması ve yapı davranışının irdelenmesi, gelecekteki benzer hangarların yapımına ışık tutacak hesaplama veya güçlendirme yöntemlerinin bulunması oluşmuştur. Bu amaçla göçen prototip çerçeve sistemi 1/3 ölçeğinde modellenerek 13 adet deney elemanı olarak laboratuvarında test edilmiştir. 6 deney elemanı düşey ve eksenel yüklemeler, diğerleri yalnızca düşey yüklemeler altında test edilmiştir. Deneylerde yükleme şekilleri, donatı ve güçlendirme yöntemi deneysel değişkenler olarak belirlenmiştir. Güçlendirme, kiriş kesitini dışarıdan saracak ve dış etriye görevi görecek olan çelik kayışlar (steel strop) ile yapılmıştır. Bu çelik kayışlara öngerme kuvveti verilmiştir. Öngerme kuvveti, insan gücüyle, çelik kayışlara bağlanan dişli bir mekanizmanın çevrilerek kayışları girmesi ile verilmiştir ve verilen öngerme kuvveti düzeyi elektronik okuyucular ile ölçülmüştür. Model kirişlerde göçme, düğüm noktaları yakınında, asal çekme gerilmeleri sonucu oluşan kesme çatlakları beraberinde meydana gelmiştir. Göçme dayanımı model kirişlerin kesme bölgelerine dışarıdan uygulanan çelik kayışların aralıklarına, öngerme kuvvetlerine ve yükleme şartlarına bağlı olarak farklılık göstermiştir. Çalışmalarının sonucunda Elstner ve Hognestad, Wilkins hangarının göçme sebebi olarak, çerçeve sistemde düşey yüklerin ve ek olarak ısı değişimleri sonucu oluşan eksenel yüklerin meydana getirdiği, eğik çekme gerilmelerini göstermişlerdir. Ayrıca çalışmada, öngermeli çelik kayışlarla dış etriye oluşturma yönteminin kirişlerde eğik çekme dayanımını arttırdığı dolayısı ile güvenilir ve uygulamada ekonomik olarak bir güçlendirme yöntemi olduğu belirlenmiştir [3].

Raghuprasad ve Ramakrishna Beegala (1986)

Hindistan'da yapılan bu çalışmada, analizler sırasında tahmin edilmeyen aşırı yükler sonucu hasar görmüş yapısal elemanların, yükleme sırasındaki ve onarıldıktan sonraki davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda birbirinden farklı donatı ve kesitleri 100×100 , 100×150 ve 100×200 mm olarak değişen, mesnet açıklığı 1400 mm olan 36 adet model kiriş test edilmiştir. Önce model kirişler göçmeye kadar yüklenerek deney elemanlarına hasar verdirilmiştir. Daha sonra elemanın kesme bölgesinde kesitin tamamını saracak bir biçimde dışarıdan kelepçeleme ile onarılarak, tekrarlanır monotonik yüklemeye tabi tutulmuştur. Kelepçeleme, model kirişlerin sadece kesme bölgelerine, belli ve sabit aralıklarda uygulanmıştır. Kelepçeler çelikten imal edilmişler ve kiriş gövdesini saran simetrik çelik kuşakların, birbirlerine vidalanarak bağlanması biçiminde yapılmıştır. Test sonuçları, model kirişlerin ölçülen yük-deplasman ve moment-eğrilik grafikleri üzerinde irdelenmiştir. Deneylerden gözlenen davranış dışarıdan kelepçeleme yönteminin beklenenin çok üstünde sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Bu güçlendirme ve onarım yöntemi sayesinde modellerin sünekliğinde en az 3 katlık bir artış gözlemlendiği, modellerin taşıma gücü kapasitelerinin arttığı belirtilmiştir. Dışarıdan kelepçeleme yönteminin, model kirişlerde kesme ve eğilme çatlaklarının ilerleyişini adeta bir mekanizma oluşturarak durdurduğu ve kirişlerin enerji tüketimi karakteristiklerini de arttığı ayrıca sunulmuştur [4].

Altın S., Tankut T. ve Demirel Y. (1996)

Bu çalışma amacı, kesme dayanımı yeterli olmayan betonarme kirişlere dıştan yerleştirilen kelepçelerin, bir güçlendirme/onarım yöntemi olarak kiriş davranış ve dayanımı üzerindeki etkilerinin deneysel olarak araştırılmasıdır.

Bu amaç doğrultusunda kesme açıklığının etkili yüksekliğe oranım 3 olan T-kesitli 5 adet model kiriş test edilmiştir. Deney sonuçları yöntemin dayanım, rijitlik, süneklik üzerindeki etkilerini ortaya koyacak biçimde değerlendirilmiştir. Deneysel çalışma programında bütün deney elemanları geometri ve boyuna donatı bakımından özdeş olup, denge altı donatılı hazırlanmıştır. Bu deney elemanların biri referans amaçlı, diğer üç deney elemanları ise etriye donatısı, referans elemanı etriye donatısının %50'si ve %25'i olacak şekilde hazırlanmıştır. Dördüncü deney elemanında etriye donatısı bulunmamaktadır. Deney elemanlarında çekme donatısı olarak 3 ϕ 20 mm nervürlü, basınç donatısı olarak 2 ϕ 8 mm düz inşaat demir kullanılmıştır. Etriyeler ϕ 8 mm çapında donatılardan üretilmiştir. Kelepçeler ϕ 10 mm çapında uçlarından ince dişler açılmış (diş dibi çapı ϕ 7.9 mm) iki donatı çubuğu, eğilme rijitliği büyük 40×40×4 mm boyutlarında bir çelik kutu profil ve sabitleme amacıyla kullanılan somun elemanlarında oluşmaktadır. Kiriş tablasına açılan deliklerden donatı çubukları geçirilerek tabla üstünden somunlarla tutturulmuştur. Çubukların kiriş altından sarkan uçları kiriş alt yüzeyine yerleştirilen çelik kutu profillere açılan deliklerden geçirilip somunlarla vidalanarak sıkıca bağlanmıştır. Bu şekilde oluşturulan kelepçelerin donatı çubukları güçlendirilen deney elemanlarının kiriş tablası üzerinde kurulan küçük bir reaksiyon çerçevesi yardımıyla, akma dayanımlarının %25'i düzeyinde bir kuvvet çekilerek çubuklara öngerme kuvveti verilmiştir.

Deney sonucunda, kesme dayanımı yetersiz kirişlere dıştan yerleştirilen kelepçeleme yönteminin başarılı olduğu görülmüştür. Kelepçeler eğik kesme çatlaklarının gelişmelerini sınırlamışlar ve kirişlerde beklenen gevrek kesme kırılmasını eğilme davranışına değiştirmişlerdir. Kelepçelerin, kiriş tablası ile gövdesi arasında bir dikiş görevi üstlenerek birbirinden ayrılmalarını başarılı bir biçimde engelledikleri gözlenmiştir. Güçlendirilen kirişlerin dayanımı

referans kirişin dayanımı ile yaklaşık aynı olmuştur. Güçlendirme elemanları ile referans elemanı arasında rijitlik bakımından belirli bir fark olmadığı sonucu ortaya konulmuştur [5].

Altın S., Demirel Y. (1997)

Çalışmanın amacı, kesme dayanımı yeterli olmayan betonarme kirişlerin kesme dayanımlarını artırmaya yönelik güçlendirme tekniği olarak uygulamada yaygın bir biçimde kullanılan, kirişlere dışarıdan kelepçe yerleştirilmesi yönteminin, kiriş davranışı ve dayanımı üzerindeki etkilerinin deneysel araştırılmasıdır. Deneysel çalışmada; basit mesnetli yetersiz kayma donatılı tablalı kirişler T-kesitli dışarıdan kelepçelerle güçlendirilip, kesme açıklığı (a/d) üç olarak biçimde simetrik iki tekil yük altında test edilerek sergiledikleri davranış ve dayanımları incelenmiştir. Deneysel özdeş olan denge altı donatılı 4 adet deney elemanı test edilmiştir. Bu modellerden biri, etriyeleri olması gerektiği gibi düzenlenmiş, kesme dayanımı eğilme dayanımından büyük deney elemanı olup referans amaçlı kullanılmıştır. Yetersiz kesme donatılı iki deney donatısının %50'si ve %25'i olmak üzere iki biçimde düzenlenmiştir. Çekme donatısı olarak $3\phi 20$ mm nervürlü basınç donatısı olarak $2\phi 8$ mm düz inşaat demiri kullanılmıştır. Etriyeleler $\phi 8$ mm çapında donatılardan üretilmiş olup kiriş tablasının bir kenarından başlayarak gövdeyi sargıladıktan sonra tablanın diğer kenarına kadar devam eden sürekli bir formda hazırlanmıştır. Bu modellerde gereken kesme donatıları elemana dıştan yerleştirilen kelepçelerle giderilmiştir.

Deney elemanlarında güçlendirme kelepçelerin kiriş dışından ve belirlenen kesitlere uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. Önce kiriş tablasına kelepçelerin yerleştirileceği aralıklarda ve gövdeye sıfır olarak bir biçimde karşılıklı olarak $\phi 12$ mm çapında delikler açılmıştır. Kelepçe; $\phi 10$ mm çapında uçlarından ince

dişler açılmış (diş dibi çapı $\phi 7.9$ mm) iki donatı çubuğu, eğilme rijitliği büyük $40 \times 40 \times 4$ mm boyutlarında bir çelik kutu profil ve sabitleme amacıyla kullanılan somun elemanlarında oluşmaktadır. Kiriş tablasına açılan deliklerden donatı çubuklar geçirilerek tabla üstünden somunlarla tutturulmuştur. Çubukların kiriş altından sarkan uçları kiriş alt yüzeyine yerleştirilen çelik kutu profillere açılan deliklerden geçirilip somunlarla vidalanarak sıkıca bağlanmıştır. Bu şekilde oluşturulan kelepçelerin donatı çubukları, kiriş tablası üzerinde kurulan küçük bir reaksiyon çerçevesi yardımıyla, akma dayanımlarının %25'i düzeyinde bir kuvvetle çekilerek çubuklara öngerme kuvveti verilmiştir. Deney sonucunda, kullanılan bu güçlendirme yönteminin başarılı olduğu görülmüştür. Kesme dayanımı yetersiz kirişlerin kesme kırılması biçiminde beklenen davranışı, kiriş kelepçelerle güçlendirilmesi ile değişim göstererek davranışa eğilmenin hakim olması sağlanmıştır. Kelepçelerin, kiriş tablası ile gövdesi arasında bir kiriş görevi üstlenerek birbirlerinden ayrılmalarını başarılı bir biçimde engelledikleri gözlenmiştir. Ayrıca kelepçeler eğik kesme çatlaklarını başarılı bir biçimde kontrol ederek çatlakların gelişmelerini sınırlandırmışlardır. Güçlendirilen kirişlerin dayanımı, olması gerektiği gibi kesme donatılı referans kirişinin dayanımı ile yaklaşık aynı düzeyde gerçekleşmiştir. Deney sonuçları rijitlik bakımından irdelendiğinde, güçlendirilen kirişler ile referans elemanı arasında belirgin bir farklılaşmanın olmadığı görülmemiştir [6].

Yukarıda incelenen çalışmaların hepsinde yüklemeler tek düze olup, deprem yüklerini benzeştiren tersinir ve tekrarlanır yüklemeler altında araştırma yapılmamıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Genel

Kesme donatısı yetersiz olan betonarme elemanlarda; yük ile mesnet arasındaki uzaklık kesme açıklığı (a) olarak tanımlandığında, bu uzaklığın faydalı yüksekliğe oranının (a/d) davranışı etkileyen en önemli değişkenlerden biri olduğu yapılan araştırmalarda belirlenmiştir. ($a/d = M / Vd$) oranına bağlı olarak aynı özelliklerde ancak farklı kesme açıklığına sahip betonarme elemanlarda, farklı biçimde çatlak şekilleri, göçme mekanizmaları ve dayanımları oluşturmaktadır.

a/d oranının çok büyük olduğu durumlarda ($a/d > 7$), kesme açıklığı büyük olduğundan, eğilmedeki taşıma gücüne erişildiğinden, kesme kuvveti ve asal çekme gerilmeleri düşük düzeyde kalmakta, eğik çatlaklar oluşmamakta ve kırılma üzerinde kesme kuvvetinin etkisi olmamaktadır.

a/d oranının 3 ile 7 arasında değiştiği durumlarda önce tarafsız eksene dik yönde çatlaklar oluşmakta yük arttıkça kesme bölgesinde oluşan bu çatlaklar eğikleşmeye başlamaktadır. Bu eğik çatlaklar asal çekme gerilmelerine dik yönde oluşmaktadır. Bu eğik çatlaklar kiriş üst ve alt bölgelerine ulaştığında donatıda ani bir gerilme artışına sebep olmakta ve donatıya paralel aderans çatlakları oluşmaktadır. Bunun sonucunda kiriş son derece ani, gevrek ve tehlikeli bir şekilde kırılmaktadır. Bu kırılma gerçek eğik çekme kırılması olarak adlandırılır.

a/d oranının 1.5 ile 3 arasında değişim gösterdiği durumlarda eğik kesme çatlakları oluşmasına rağmen kiriş aniden kırılmaz ve yük taşımaya devam eder. Bu çatlaklar noktasal yük altındaki yerel basınç gerilmeleri nedeniyle

ilerleyemezler. Bu durumda çatlak üzerinde kalan çatlamamış bölge yüksek basınç ve kayma gerilmelerine maruz kalır. Yük arttıkça yükleme noktası altındaki beton basınç dayanımına ulaşarak ezilmeye başlar. Bu aşamaya ulaşıldığında kiriş yük taşıma yeteneğini kaybederek kırılmaktadır.

Kesme açıklığının çok büyük olduğu durumlarda ($a/d < 1$) eğik çatlak oluştuktan sonra eğilme önemini kaybetmekte ve kiriş tamamen gergili kemer gibi davranmaktadır. Kırılma gövdenin basınç gerilmeleri nedeniyle ezilmesi veya basıncın aktarılması sırasında donatıda oluşan yüksek gerilmeler nedeniyle kenetlemenin yok olması nedeniyle oluşmakta, kiriş eğilme kapasitesine erişmektedir [7].

2.2. Deney Modellerinin Detaylandırılması

Çalışmada deney elemanlarının boyutları ve yükleme şekli, güçlendirilme yönteminin incelenmesine olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Çalışmada kullanılan model boyutlarının belirlenmesinde yapı mekaniği laboratuvarındaki deney platformunun boyutları ve ölçüm aletlerinin kapasiteleri rol oynamıştır.

Kiriş elemanlarının uzunluğu 180 cm, kesiti 15×30 cm olarak seçilmiştir. $\phi 16$ mm çapındaki nervürlü boyuna donatılar elemanın kısa kenarlarına simetrik yerleştirilmiştir. Böylece elemanlar her iki yönde aynı eğilme kapasitesine sahiptir. Kesme donatısı (etriye donatıları) $\phi 6$ mm çapında donatılardan üretilmiştir.

Deney programındaki elemanlar dört karakterle isimlendirilmesi gerekmiştir. İlk karakter olarak ankastre konsol kiriş (Cantilever) anlamına gelen C kullanılmıştır. Kirişlerde iki şekilde kayma donatısı yerleştirmek mümkündür.

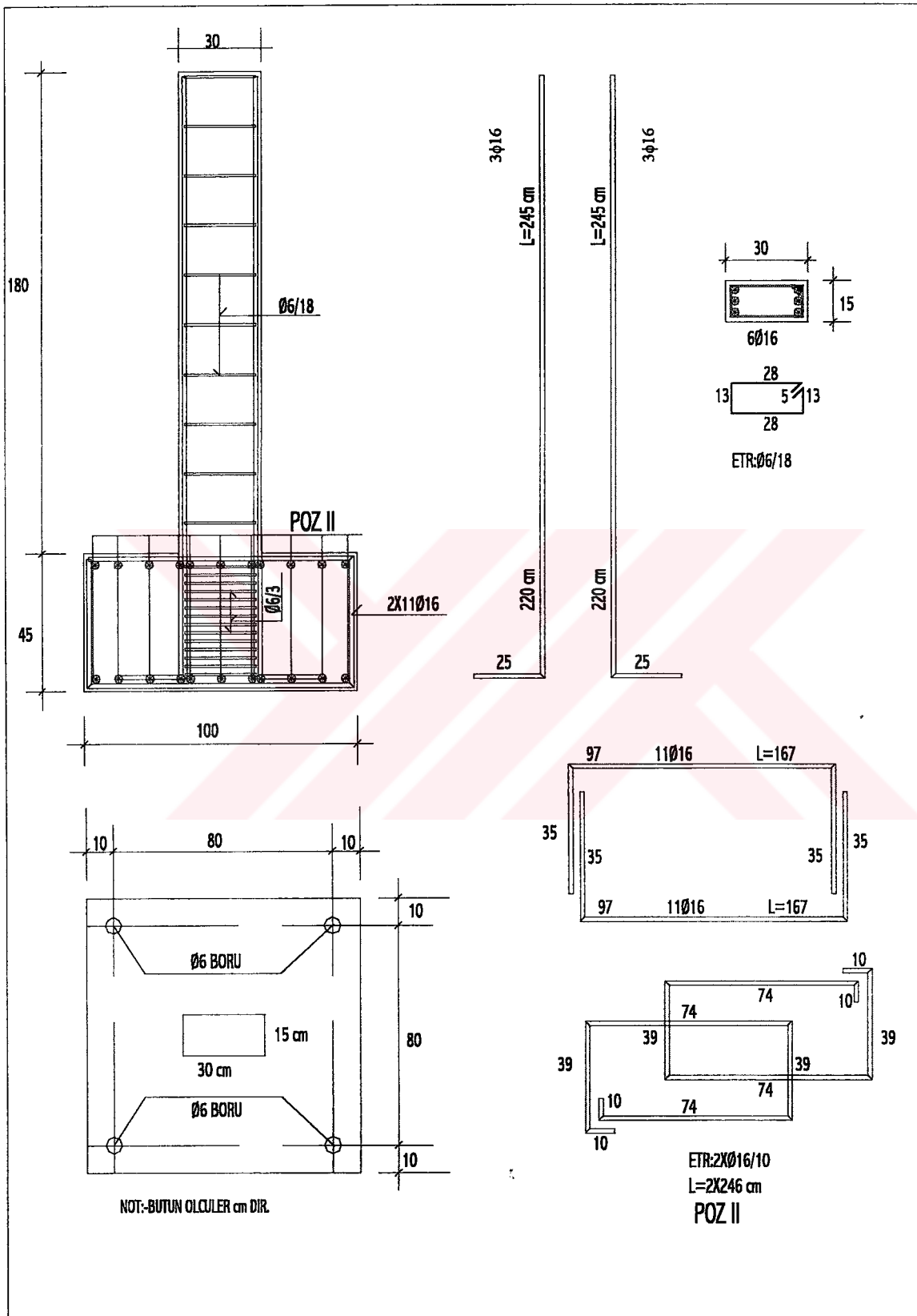
Bu nedenle içten ve dıştan yerleştirilen kayma donatısının deney elemanı için yeterli kayma donatısına oranı verilmiştir. İkinci karakter olarak dıştan uygulanan kayma donatısının (A_{swe}) yeterli kayma donatı miktarına (A_{sw}) oranlanması verilmiştir. Bu orantıda (A_{swe}/A_{sw}) yeterli donatılandırılmaya 4 denilmiştir. Üçüncü karakterde ise içten uygulanan kayma donatısının (A_{swi}) yeterli kayma donatısına (A_{sw}) oranı verilmiştir. Yine bu orantıda da (A_{swi}/A_{sw}) tam donatılandırmaya 4 denilmiştir. Son karakterde ise dıştan kullanılan kelepçeli kayma donatısının öngerilme yükünün (P), akma dayanımına (P_y) oranı verilmiştir.

Deney programında 3 deney elemanı, kesme açıklığının etkili kiriş yüksekliğine oranı (a/d) 6.4 olacak biçimde test edilmiştir. Bu modellerin ikisi kontrol elemanı olup, bir adedi yetersiz kesme donatılı elemandır. Kontrol deney elemanı C040, kesme donatısı olması gerektiği gibi düzenlenmiş ideal bir eleman olup $\phi 6/9$ cm aralıklı etriyelerle donatılmıştır (Şekil 2.1). Diğer kontrol elemanı (C020) kesme dayanımı düşük bir model olarak tasarlanmıştır. C020 deney elemanının etriye donatısı, C040 ideal eleman kesme donatısına oranı 1/2 olacak şekilde $\phi 6/18$ cm aralıklı olarak donatılandırılmıştır. Bu elemanın donatı detayı Şekil 2.2’de verilmiştir.

İdeal kontrol elemanı C040’a göre yetersiz kesme donatılı C220 elemanında eksik etriye donatısı, dışarıdan yerleştirilen kelepçelerle giderilmiştir. Kelepçelerde donatı çubukları olarak uçlarına dış dibi çapları $\phi 6$ mm olacak şekilde ince dış açılan $\phi 8$ mm çapında düz inşaat demirleri kullanılmıştır. Güçlendirilen bu model iç etriyeleri ile dıştan yerleştirilen kelepçe donatılarının toplamı kontrol elemanının etriye oranına eşittir.

Deneysel programda yer alan modellerin özellikleri Çizelge 2.1’de sunulmuştur.

Şekil 2.1. C040 Deney elemanı donatı şeması



Şekil 2.2. C020 ve C220 Deney elemanı donatı şeması

Çizelge 2.1. Deney elemanlarının özellikleri

Eleman No.	İşlem Cinsi	Etriye Aralığı	Kelepçe Düzeni	A_{swi} / A_{swe}		Öngerme kuvveti P/Py
				İç	Dış	
C040	Kontrol	$\phi 6/9$ cm	-----	4/4	0	0
C020	Kontrol	$\phi 6/18$ cm	-----	1/2	0	0
C220	Güçlendirme	$\phi 6/18$ cm	$\phi 8/18$ cm	1/2	1/2	0

2.3. Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Deney programı içerisindeki elemanların, donatı ve betonlarından alınan numuneler test edilerek bu malzemelere ait mekanik özellikler her bir eleman için ayrı ayrı belirlenmiştir. Deney sonuçlarının sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilmesi için üretimde kullanılan donatı ve betonun aynı özelliklerde olması sağlanılmaya çalışılmıştır.

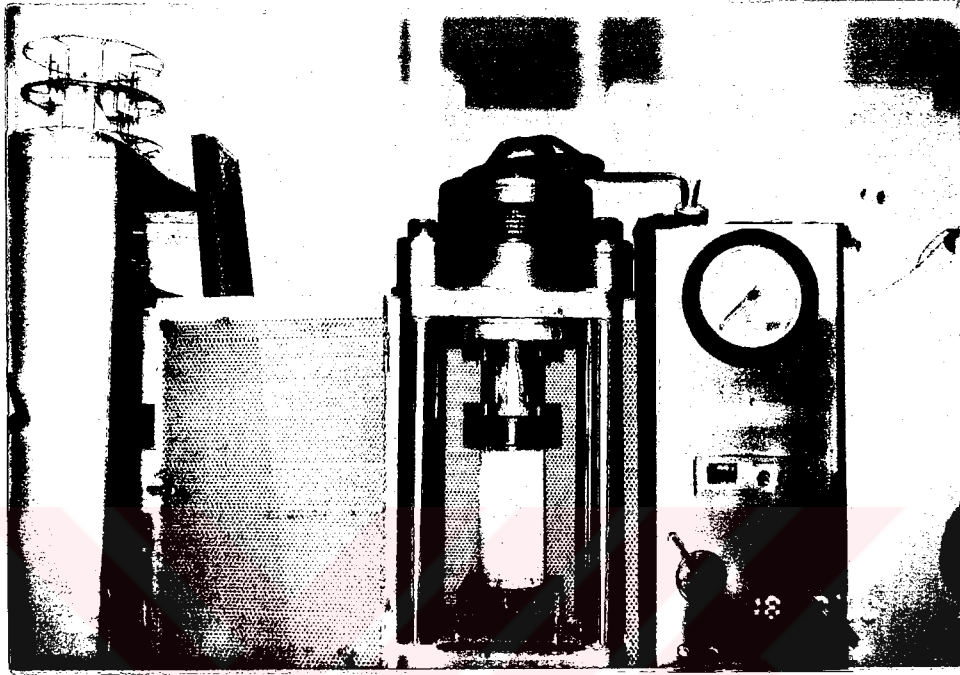
2.3.1 Beton özellikleri

Deney programında yer alan tüm elemanlar için aynı beton karışım oranları kullanılmıştır (Çizelge 2.2). Bu karışım oranları modellerin tasarımında öngörülen $\approx 200 \text{ kg/cm}^2$ 28 günlük beton basınç dayanımını verecek şekilde belirlenmiştir.

Çizelge 2.2. Beton karışım oranları

Malzeme	Kg/m ³
Ankara portland çimentosu	315
Su	174
Kum 0 – 7 mm	415
Çakıl 7 – 15 mm	707

Deney elemanlarının karakteristik beton basınç dayanımları her bir eleman için beton dökümü sırasında alınan beşer adet standart silindir numunesinin (150 mm × 300 mm) test edilmesi ile elde edilmiştir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Test için hazırlanan standart silindir numunesi

Silindir numunelerinin test sonuçlarından hesaplanan ortalama karakteristik basınç dayanım değerleri Çizelge 2.3'te özetlenmiştir.

Çizelge 2.3. Modellerin karakteristik basınç dayanım değerleri

Model No.	Yaş (gün)	f_{ck} (N/mm ²)
C040	35	24.0
C020	33	22.5
C220	35	21.7

2.3.2. Donatı özellikleri

Deney elemanlarında boyuna donatı olarak $\phi 16$ mm çapında nervürlü inşaat demiri ve etriye donatısı olarak $\phi 6$ mm'lik donatılar kullanılmıştır. Elemanların güçlendirilmesinde, kirişe dıştan yerleştirilen kelepçelerin çubukları $\phi 8$ mm çapında düz inşaat demiridir. Deney elemanlarında kullanılan donatıların aynı özelliklerde olmalarının sağlanabilmesi için önce piyasadan alınan donatı numuneleri test edilmiştir ve uygun özelliklerde olanlar deney elemanlarında kullanmak üzere temin edilmiştir. Testlerden elde edilen gerilme – birim şekil değiştirme diyagramları her bir tip donatıdan alınan üçer numune için EK-1'de verilmiştir. Test sonuçları ortalama değerler olarak Çizelge 2.4'te özetlenmiştir.

Çizelge 2.4. Donatıların Mekanik Özellikleri

Donatı çapı ϕ (mm)	f_{yk} (N/mm ²)	f_{su} (N/mm ²)	ϵ_{su}	E_s (N/mm ²)
6	276.9	391.7	0.2367	2.1×10^5
8	203.3	371.3	0.2717	1.9×10^5
16 (nervürlü)	464.8	712.8	0.2100	2.1×10^6

2.4. Deney Elemanlarının Hazırlanışı

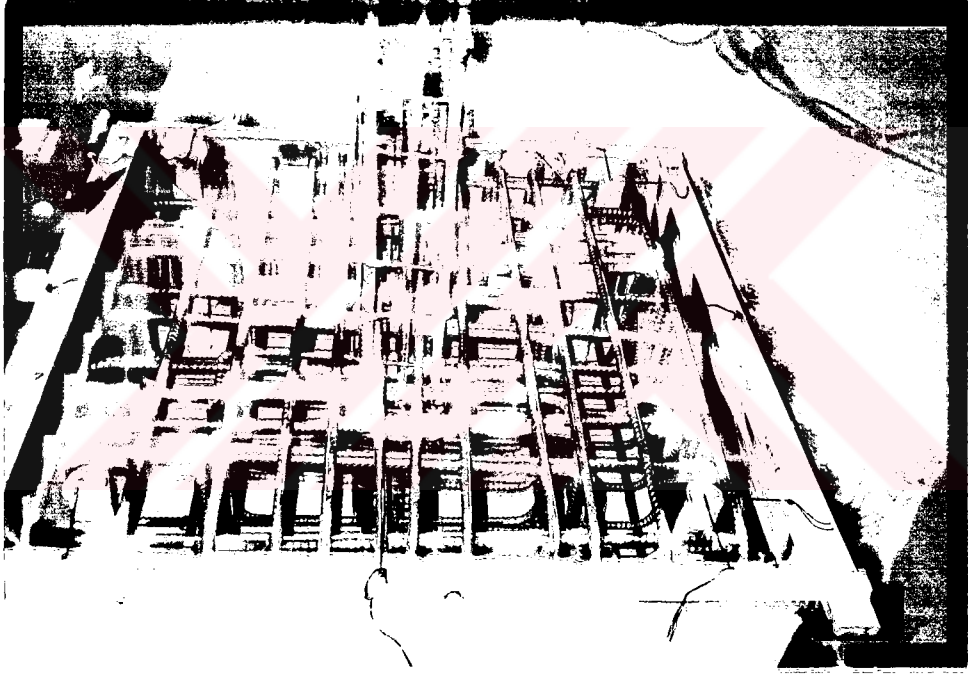
Deney elemanlarının laboratuvarında hazırlanması sırasında ilk olarak elemanların donatı kafesleri oluşturulmuştur. Önce yüklemenin uygulanacağı dikdörtgen kesitli kiriş elemanının rijit döşemeye bağlanması için tasarlanan rijit mesnet kısmının donatı kafesi oluşturulmuştur. Bu mesnet bölgesine her iki doğrultuda yoğun donatı yerleştirilmiştir. Daha sonra eleman boyuna donatıları bu kafesin içine yerleştirilerek etriyeler ile birbirlerine bağlanmıştır. Bu etriyeler rijit mesnet içinde kalan kısımda da devam ettirilmiştir.

Elemanların rijit mesnetine yerleştirilen $\phi 16$ çapındaki donatılar iki farklı tipte üretilmiştir. Eğilme yönüne paralel olacak olan donatılar " U " şeklinde hazırlanmış, kesit alt ve üstüne simetrik olarak yerleştirilmiştir. Eğilme yönüne dik donatılar kapalı olarak üretilmiştir. İncelenecek esas kısım olan dikdörtgen kesitli betonarme kesit simetrik çift donatılı olarak tasarlanmıştır. Bu kesitte iki yüze de 3 $\phi 16$ mm nervürlü donatı yerleştirilmiş ve etriye olarak $\phi 6$ mm'lik düz inşaat demiri kullanılmıştır. Eleman üzerinden gerekli ölçümlerin alınabilmesi için kalıp üzerine açılan delikler 10 mm çapında içine belirli bir boyda diş açılmış özel pimler vidalanmıştır. Böylelikle beton dökümü sırasında yerlerinden oynamaları engellenmiştir. Deney elemanının rijit döşemeye bağlaması amacıyla elemanın mesnet kısmında köşelere yakın 4 adet 70 mm çapında delik bırakılmıştır.

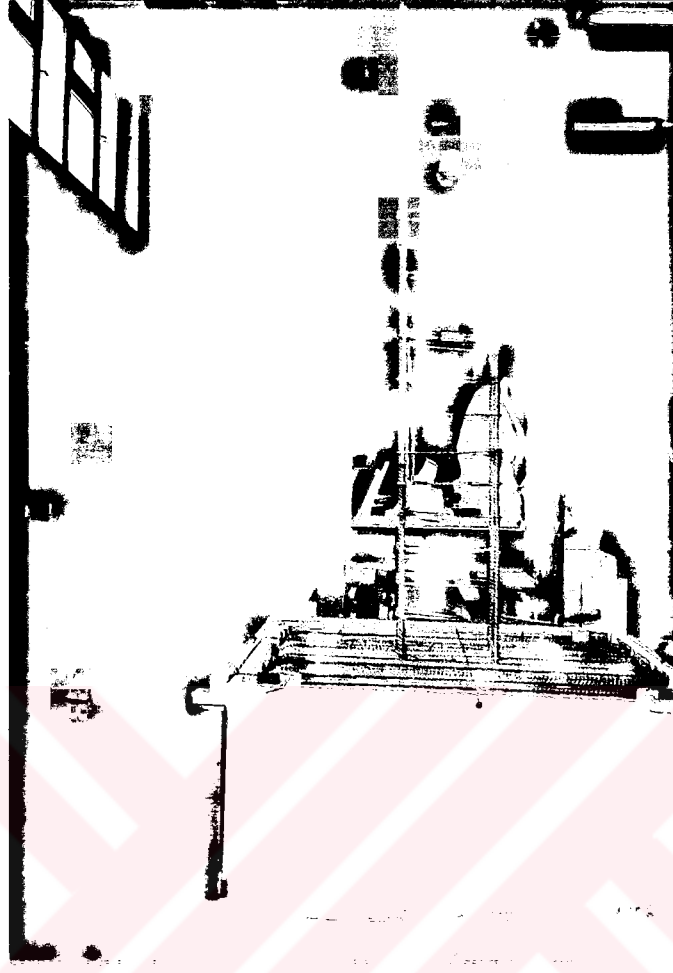
Beton dökümü için ahşap kalıp hazırlanmıştır. Laboratuvar zemininde kurulan ahşap kalıp içersine, hazırlanan donatı kafesleri, pas payları dikkate alınarak dikkatlice yerleştirilmiştir. Ahşap kalıp, donatı yerleşiminden önce iyice yağlanmıştır. Beton dökümü ve vibrasyonu sırasında kalıpta oluşabilecek açılmaların önlenmesi amacı ile kiriş gövdesi hazırlanan payandalarla desteklenerek işkenceler ile sıkıştırılmıştır. Böylece beton dökümüne hazır hale getirilen deney elemanlarının beton dökümleri dikkatli bir vibrasyonla gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.4) ve (Şekil 2.5). Deney elemanlarının betonları iki aşamada dökülmüştür. İlk olarak rijit mesnetin betonu dökülmüş ve vibrasyonla iyice sıkıştırılmıştır (Şekil 2.6).

İkinci aşamada dikdörtgen kesitli eleman kalıbı yerleştirilerek ankastre mesnet kısmının üst kalıbı yerleştirilmiş ve bu aşamadan sonra kiriş betonu dökülmüştür. Beton dökümü tamamlanan elemanlarının 28 gün kürü yapılmıştır. Kürünü alan elemanlar vinç yardımı ile rijit döşemeye çıkartılmıştır.

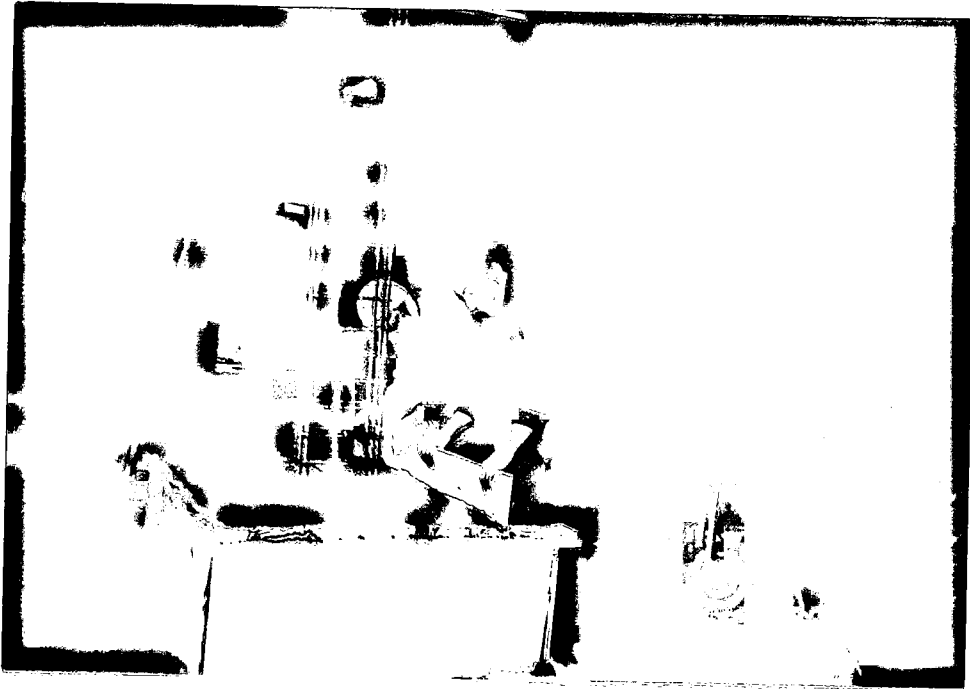
Her bir deney elemanı betonundan 5 adet standart silindir numunesi alınmıştır. Betonu dökülen deney elemanı, labratuvar atmosferinde yaklaşık 24 saat bırakılarak yeterli katılığa ulaşması beklenmiştir. Daha sonra kalıplar sökülen deney elemanı, silindir numuneleriyle birlikte ıslak çuvallarla sarılarak 28 gün süre ile kürü yapılmıştır.



Şekil 2.4. Hazırlanan donatı kafesin ahşap kalıpta yerleşimi



Şekil 2.5. Beton dökümüne hazır deney elemanı

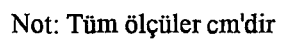


Şekil 2.6. Beton dökümü

2.5. Güçlendirme İşlemi

Deney programında güçlendirilmesi öngörülen elemanın güçlendirme işlemlerine, beton dökümünden yaklaşık 28 gün sonra başlanmıştır. Deney elemanın güçlendirmesi etriye işlevini göreceği öngörülen kelepçelerin eleman dışından yerleştirilmesi ile gerçekleştirilmiştir.

Kelepçelerin yerleştirileceği aralıklar belirlenerek eleman üzerine işaretlenmiştir. Kelepçe donatıları $\phi 8$ mm çapında 45 cm uzunluğunda olup uçlarından 7.5 cm boyunca ince diş açılmıştır. Kelepçe donatılarının diş dibi çapı $\phi 6.13$ mm 'dir. Bu şekilde hazırlanan çubuklar, iki ucundan $220 \times 40 \times 10$ mm boyutlarında çelik lamalara açılan deliklerden geçirilip kontra somunlarla elemana bağlanmıştır. Bağlanma sırasında kelepçe donatılarına çekme kuvvetinin verilmemesine dikkat edilmiştir. Şekil 2.7'de kelepçe donatıları detayı görülmektedir.



Şekil 2.7. C220 deney elemanının güçlendirilmesi

3. LABORATUVAR TEKNOLOJİSİ

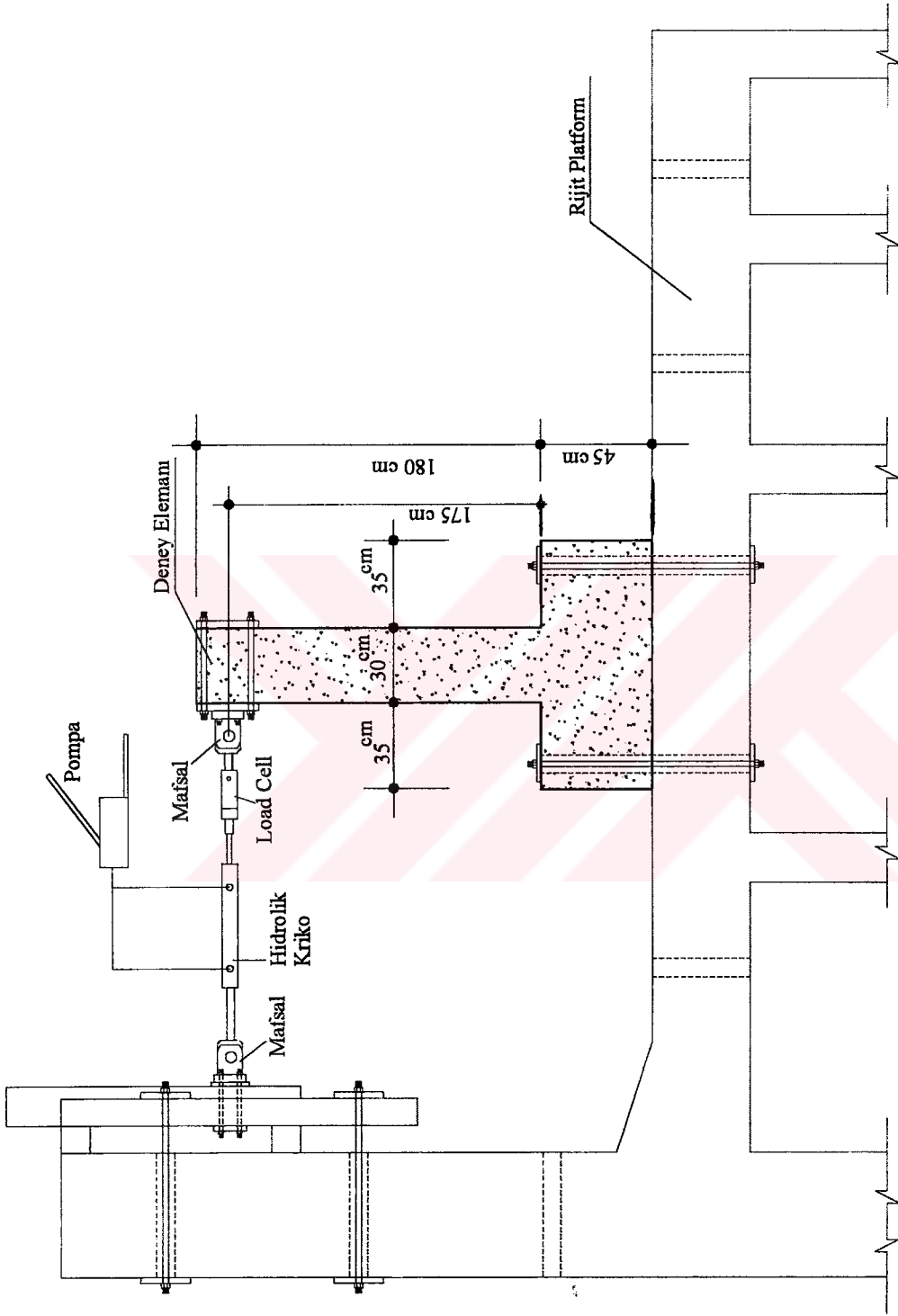
3.1. Genel

Deneyler Gazi Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Deney programı içerisindeki elemanlar laboratuvarında bulunan 4.5 m uzunluğunda, 3.20 m genişliğinde ve laboratuvar zemininden 1.50 m yüksekliğinde olan rijit platform üzerinde test edilmiştir. Rijit platformda her iki yönde 80 cm aralıklarla ankraj delikleri bulunmaktadır ve deney elemanlarının test edilmesi için gerekli olan yükleme düzeni, bu ankraj delikleri kullanarak oluşturulmuştur. Deney elemanlarının rijit mesnet bloğu platforma mesnetlenerek eleman düşey pozisyonda test edilmiştir.

3.2. Yükleme Sistemi ve Deney Düzeni

Deney elemanlarının mesnet bloğu rijit platform üzerine 4 adet $\phi 45$ mm çapında yüksek dayanımlı çelik çubuklar yardımıyla sabitlenmiştir (Şekil 3.1). Deney platformunun rijit duvarına, elemanlara verilecek yükün mesnetleneceği ve çelik profillerden oluşturulan bir düzenek dört noktadan çelik çubuklar yardımıyla sıkıca bağlanmıştır. Çelik çubuklara öngerme kuvveti verilmiştir. Yükleme sistemi her iki ucundan mafsallı ve bir eksen boyunca birbirlerine adaptörlerle bağlı hidrolik krika ve yük ölçme hücresinden oluşturulmuştur. P yükünün uygulama düzeni deney elemanının kiriş ucuna 2 adet 30 mm kalınlığındaki levhanın 4 çelik çubuk yardımıyla yerleştirilip bir adaptörle yükleme eksenine bağlanmasıyla oluşturulmuştur.

Yükleme 200 kN kapasiteli bir hidrolik krikoya bağlı, el kontrollü pompa yardımıyla yapılıp, etki edilen yükün seviyesi hidrolik krika üzerine



Şekil 3.1. Deney düzeneği

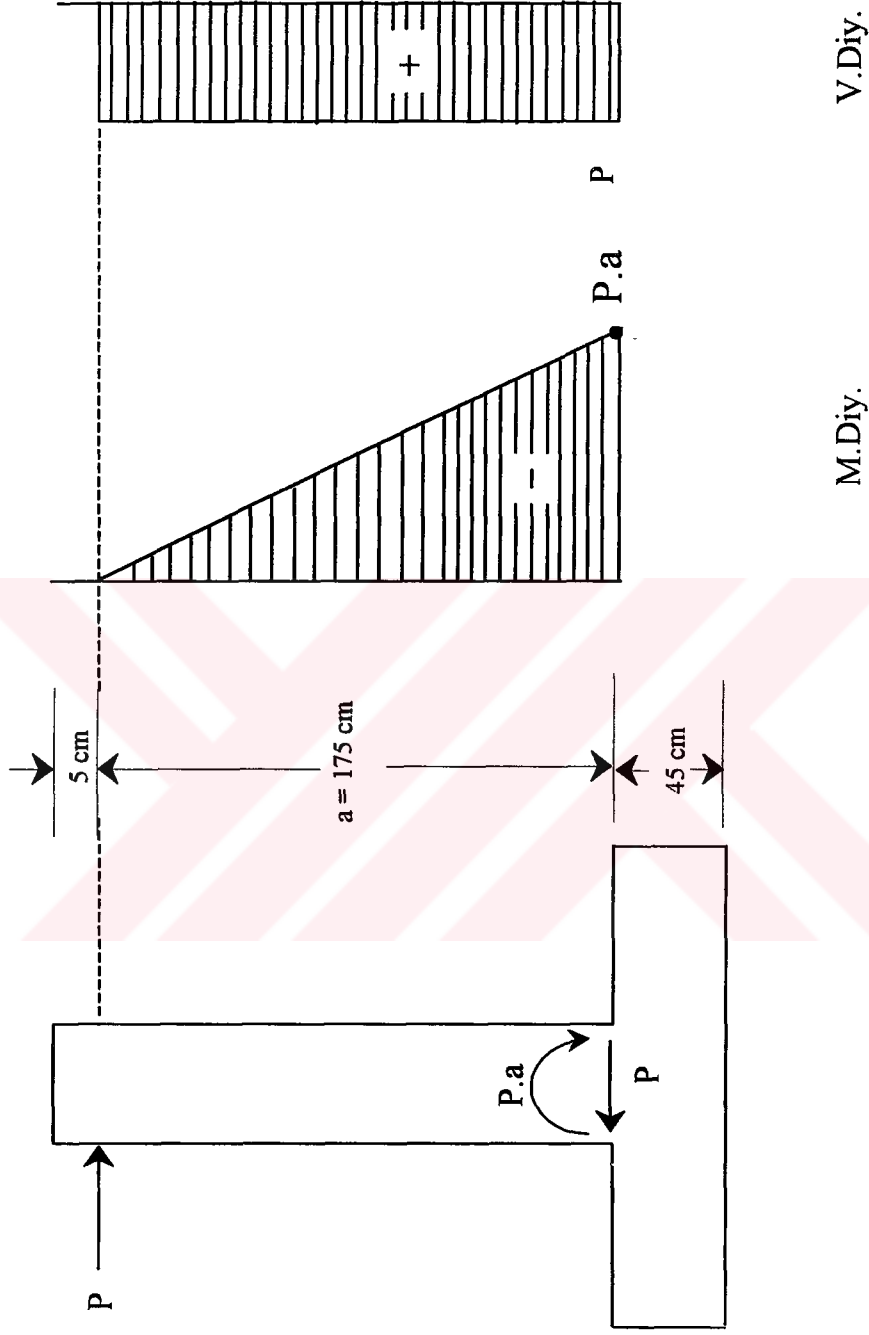
yerleştirilen 300 kN kapasiteli bir yük ölçüm hücresi (Load Cell) ile ölçülmüştür. Yükleme tekniğini gösteren serbest cisim diyagramı ve deney elemanlarının iç kuvvetleri Şekil 3.2’de verilmiştir.

3.3. Ölçüm Düzeni ve Veri Toplama

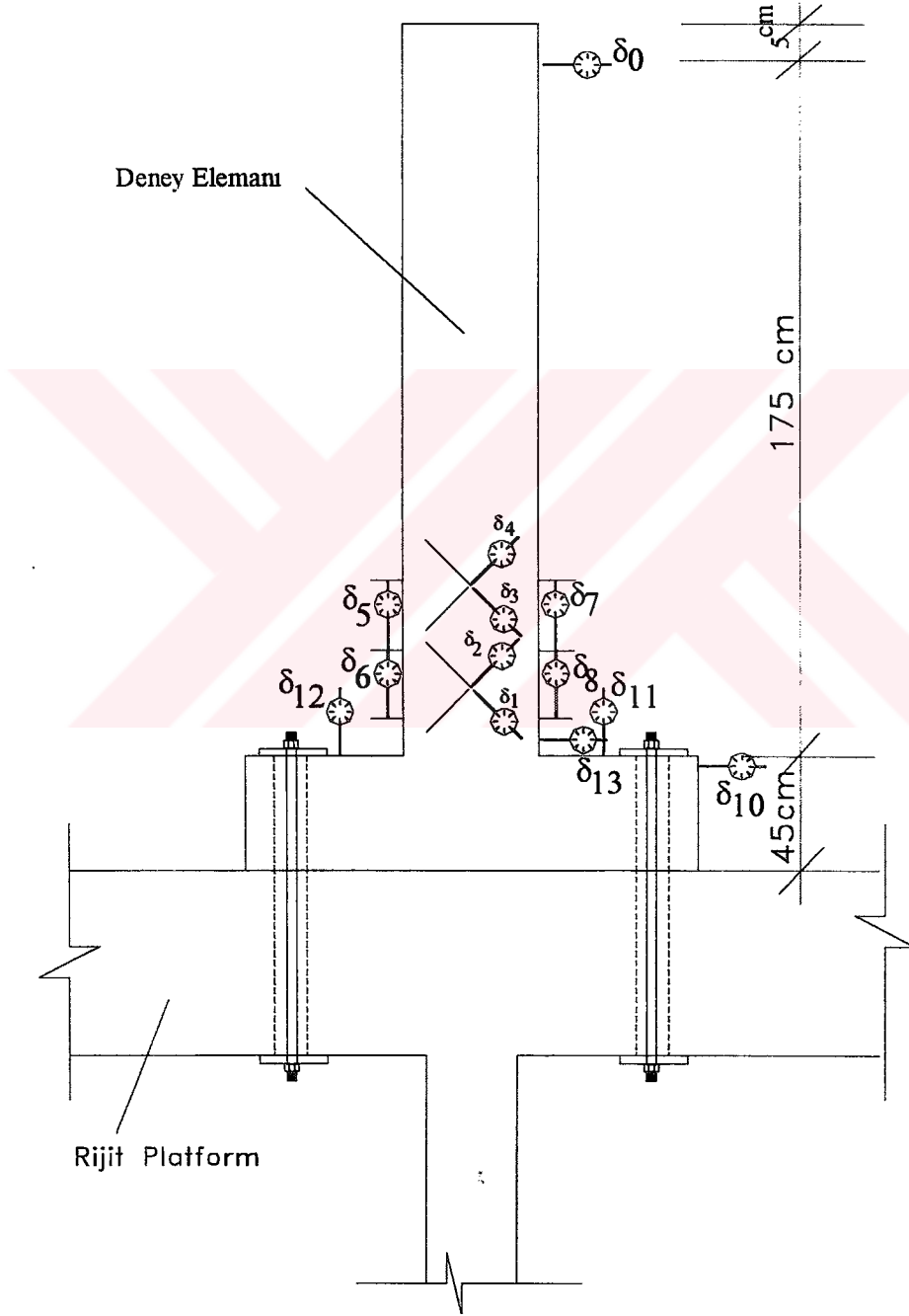
3.3.1. Ölçüm aletleri ve yerleşim düzeni

Bu deneysel çalışmada tüm deplasman ölçümleri elektronik doğrusal deplasman okuyucuları (LDVT- Linear Variable Displacement Transducer) ile gerçekleştirilmiştir. Deplasman ölçüm aletleri eleman uç noktasının deplasmanı, kesme deplasmanı ve mesnete yakın bir bölgede eğrilikleri elde edecek şekilde düzenlenmiştir. Bu çalışmada yalnızca elemanın uç noktasındaki deplasmanlar dikkate alınmıştır. Kesme deplasmanları ve eğrilik ölçümleri kullanılmamıştır. Ölçüm aletlerinin deney elemanı üzerindeki şematik görünüşleri Şekil 3.3’te verilmiştir.

Deney elemanının uç noktası deplasman, eleman dış yüzeyinde ve yükleme düzlemi içerisinde kalacak şekilde yerleştirilen 4 elektronik doğrusal deplasman okuyucu ile ölçülmüştür. Bu deplasman ölçüm aletlerinin biri kolon üst noktasının (δ_0) deplasmanını ölçmek için eleman üst noktasına diğeri ise rijit mesnetin yatay deplasmanını (δ_{10}) ölçecek şekilde yerleştirilmiştir. Diğer iki LDVT (δ_{12}) ve (δ_{13}) deplasmanları rijit mesnet bloğunda oluşabilecek dönme deplasmanını ölçmek amacıyla kullanılmıştır. Elemanın uç deplasmanı, bu noktalardan elde edilen verilerle hesaplanmıştır. (δ_0) deplasman ölçeri 20 cm kapasiteli 0.05 mm hassasiyetli olup, (δ_{13}) deplasman ölçeri 5 cm kapasiteli 0.0125 mm hassasiyetlidir.



Şekil 3.2. İç kuvvet dağılımı



Şekil 3.3. Deplasman ölçüm aletlerinin yerleşimi

Deney elemanının moment eğilim ilişkisinin belirlenebilmesi için rijit mesnet bloğuna çok yakın bir bölgesinden ölçüm alınmıştır. Elemanın çekme ve basınç gerilmeleri altında kalan en dış liflerine yerleştirilen 10 cm kapasiteli 0.025 mm hassasiyetli 4 adet elektronik deplasman ölçer LDVT ($\delta_5, \delta_6, \delta_7, \delta_8$) kullanılmıştır.

Deney elemanlarının kesme deplasmanı, modelin mesnete çok yakın bölgesine simetrik ve 45° eğimli bir şekilde 20 cm aralıkla, 10 cm kapasiteli 0.025 mm hassasiyetli 4 adet elektronik deplasman ölçer LDVT ($\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$) ile ölçülmüştür.

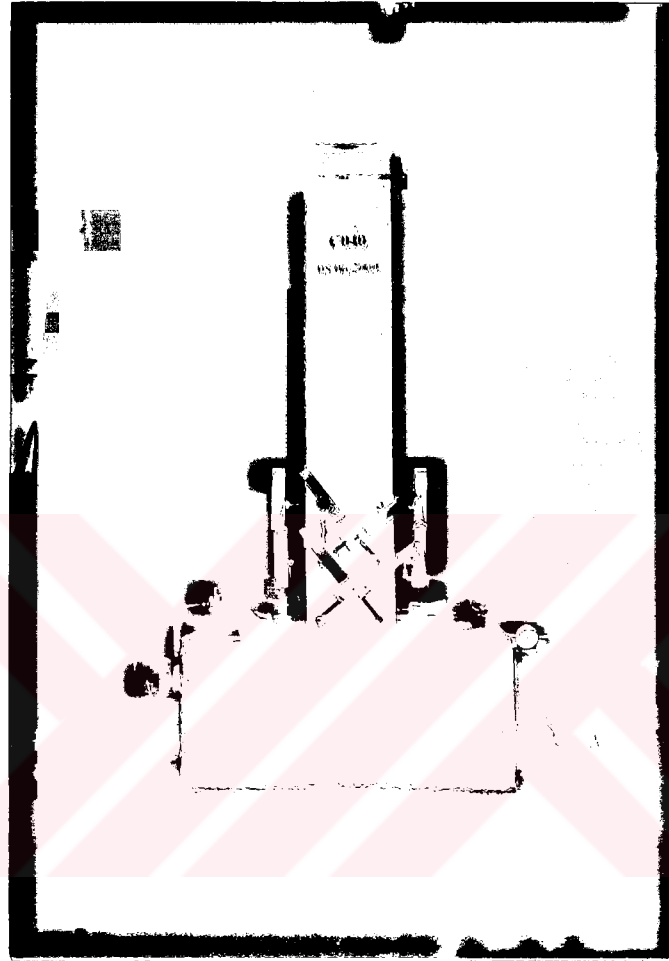
Elemanın beton dökümü öncesinde içine ince diş açılmış 10 mm çapında çelik pimler kalıp üstünden sabitlenmiştir. Ölçüm aletleri beton içine gömülen bu pimplere vidalanarak sabitlenmiştir.

Deney öncesi C040 elemanının laboratuvar ortamından görünüşü Şekil 3.4’de verilmiştir.

3.3.2. Veri toplama ve değerlendirilmesi

3.3.2.1. Deplasman ölçümü

Deney elemanlarının uç deplasmanını ölçmek amacıyla düzenlenen ölçüm aletleri (LDVT) deney elemanlarından bağımsız bir şekilde rijit platform üzerine mesnetlendirilmişlerdir. Bu aletlerin deney elemanlarına temas ettiği noktalara pürüzsüz bir düzey oluşturması amacı ile cam levhalar yapıştırılmıştır. Böylece ölçüm aletlerinin uçlarının test sırasında deforme olan modelin pürüzlü yüzeyine takılması önlenmiş ve deney sırasında sağlıklı veri toplaması sağlanmıştır.



Şekil 3.4. Test edilecek deney elemanı

Net uç noktası deplasmanı elemanın rijit kayma ve dönme hareketleri yüzünden oluşan hata düzeltilerek aşağıdaki basit denklem ile hesaplanmıştır.

$$\delta_{\text{net}} = \delta - \delta_k - \delta_d$$

$$\delta = \delta_0$$

$$\delta_k = \delta_{10}$$

$$\delta_d = \theta \times h$$

$$\theta = (\delta_{11} + \delta_{12}) \times h/L$$

$$\delta_{net} = \delta_0 - \delta_{10} - (\delta_{11} + \delta_{12}) \times h/L \quad (3.1)$$

bu denklemde;

- δ_{net} : Kolon üst noktasının net deplasmanı.
 δ_0 : Kolon üst noktası deplasman okuması
 δ_{10} : Rijit mesnet yan yüzü deplasman okuması.
 δ_{11}, δ_{12} : Rijit mesnet dönme okumalar.
 θ : Dönme açısı
 h : Kolon yüksekliği
 L : Temel genişliği

Denklem (3.1) 'in elde edilmesi için kullanılan deformasyon şekli, Şekil 3.5 'de görülmektedir.

3.4. Deneyde Uygulanan Yöntem

Test edilecek model önce dikkatli bir şekilde rijit platform üzerine çıkarılmıştır. Elemanın rijit mesnetinin dört ucunda 80 cm aralıkla bırakılan $\phi 70$ mm çapında delikleri, rijit platformda bulunan aynı aralıkta deliklerin üzerine yerleştirilip, $\phi 45$ mm çapında yüksek dayanımlı çelik çubuklarla iyice ve sıkıca bağlanmıştır. Daha sonra elemanın önceden belirlenen noktalarına ölçüm aletleri yerleştirilmiştir. Bütün LDVT 'ler elektronik okuyucu tarayıcıya bağlanarak kontrol edilmişler ve kalibrasyonları yapılmıştır. Deney başlamadan önce de ölçüm aletlerinin başlangıç okumaları (sıfır okumaları) alınmıştır. Güçlendirilen elemanın deney başlangıcındaki genel görünüşü Şekil 3.6'de verilmiştir.

Deney elemanının düzeltilmemiş uç deplasman okumaları, bilgisayar ekranında yük – deplasman grafiği olarak çizdirilmiştir. Deneylerde tersinen ve tekrarlanan yükler önceden belirlenen belirli bir düzende elemana uygulanmıştır. Böylece deneyler kontrollü bir biçimde takip edilmiş ve modellerin göçmesine kadar devam ettirilerek sona erdirilmiştir.



Şekil 3.6. Deney öncesinde C220 elemanı

4. DENEYLER VE GÖZLENEN DAVRANIŞLAR

4.1. Genel

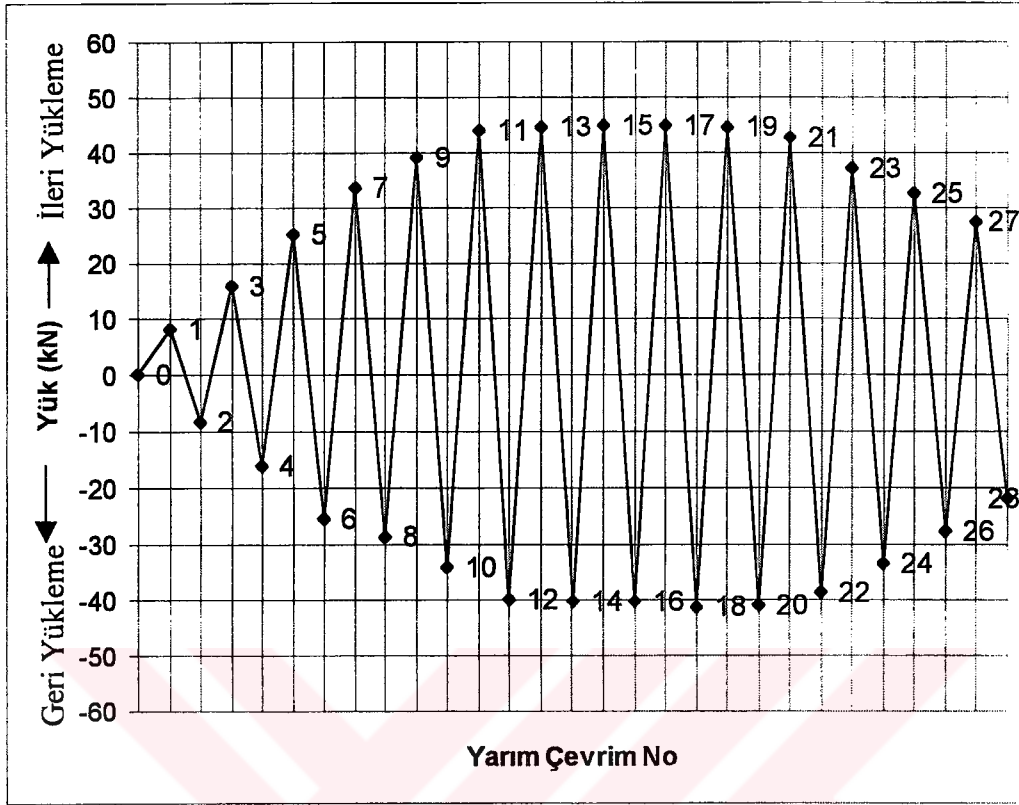
Bu bölümde, deney elemanlarının test sırasında gözlenen davranışları ve deney sonuçları sunulmuştur. Deney sırasında elemanların çatlak gelişimleri, deplasmanları belirlenen yük adımlarında incelenmiş, gözlenen göçme şekillerinin yorumu yapılmıştır. Deney sırasında alınan veriler kullanılarak her bir elemanın yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir. Çizelge 4.1’de elde edilen deney sonuçları özetlenmiştir.

4.2. Deney Elemanı C040

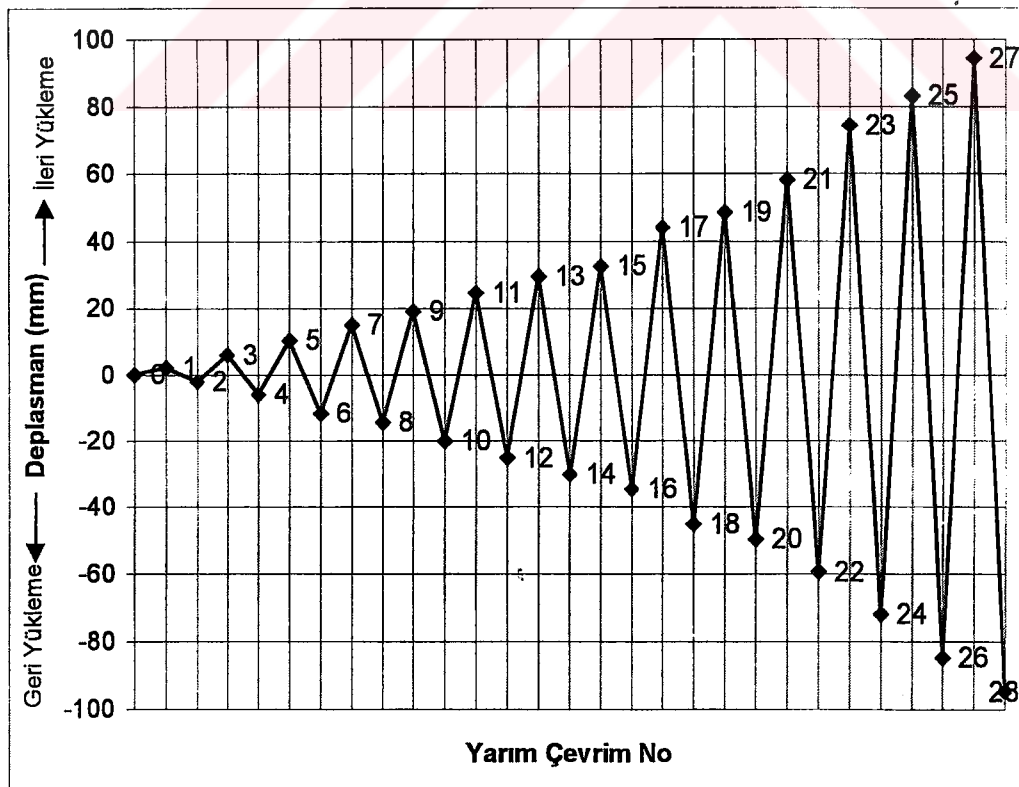
C040 kontrol elemanı olarak test edilen ilk deney elemanıdır. Bu elemanın kesme dayanımı eğilme dayanımına göre büyük olacak şekilde tasarlanmıştır. Deney elemanında yükleme ilk iki çevrim yük kontrollü olarak, bundan sonraki yüklemeler deplasman kontrollü yüklemeler halinde yapılmıştır. Her ileri ve geri yüklemede yaklaşık 0.5 cm deplasman yapacak şekilde yüklenmiştir. Yükleme geçmişiyle ilişkili grafikler Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de, deney elemanının yük-deplasman grafiği de Şekil 4.3’te sunulmaktadır.

Deney elemanında ilk eğilme çatlakları ikinci ileri çevrimde yükün yaklaşık 17 kN seviyesinde mesnede yakın bir kesitinde gözlenmiştir. Üçüncü ileri çevrimde yükün 27 kN seviyesinde deney elemanında ilk kesme çatlakları gözlenmiştir. Yükün 43.7 kN’e erişmesi ile çekme donatısı akmıştır.

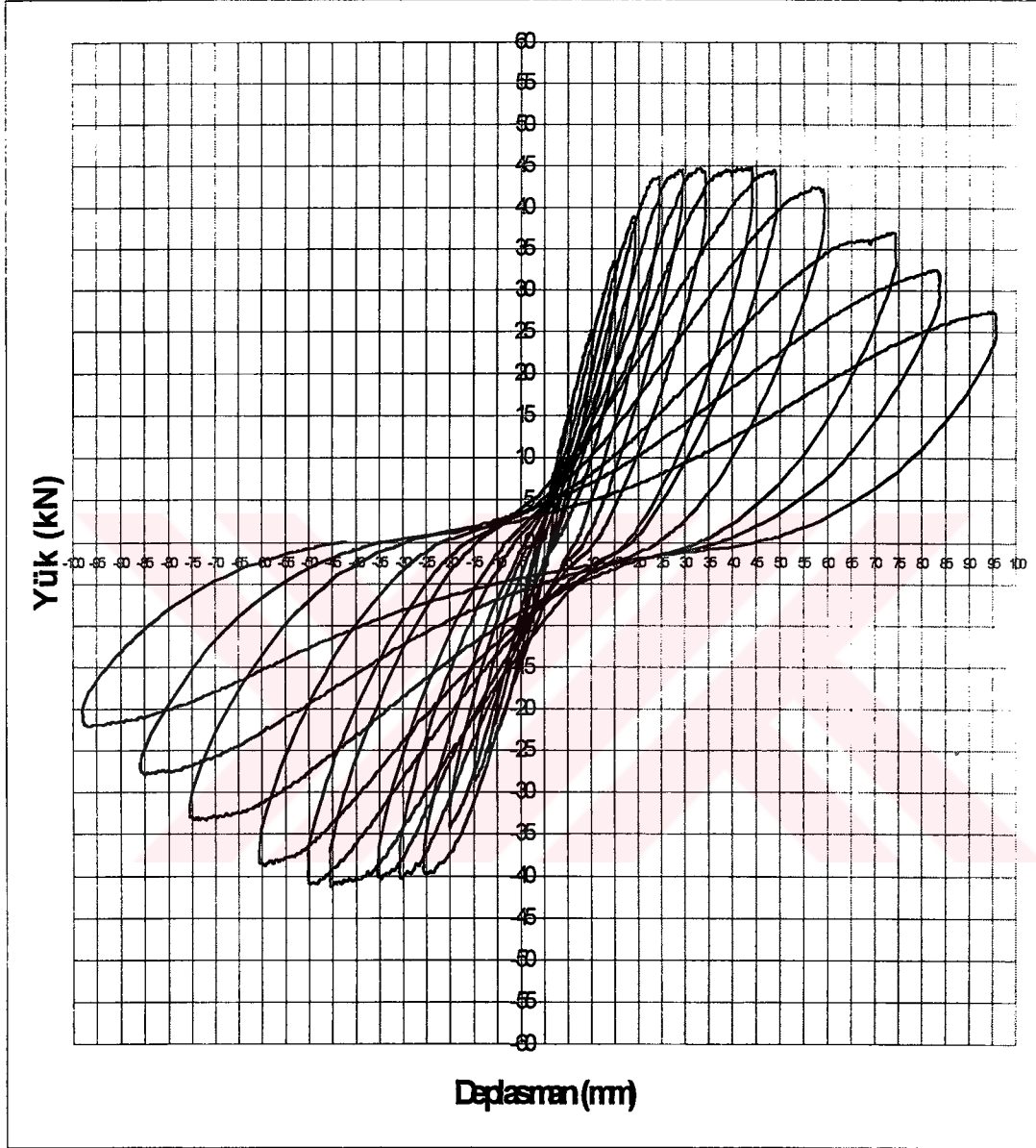
Akmadan sonra eğilme çatlaklarının yaklaşık 1.5 mm düzeyine ulaştığı ve mesnetten yaklaşık 5-10 cm uzaklıkta çok sayıda eğilme çatlakları oluştuğu gözlenmiştir.



Şekil 4.1. C040 (kontrol) deney elemanı yük çevrim grafiği



Şekil 4.2. C040 (kontrol) deney elemanı deplasman çevrim grafiği



Şekil 4.3. C040 (kontrol) deney elemanı yük-deplasman ilişkisi

Kesme çatlaklarının genişlemesi dokuzuncu ileri çevrimde 2.5 mm seviyesine ulaşınca basınç bölgesindeki beton ezilmeye başlamıştır. On dördüncü çevrimde deneye son verilmiştir. Bu çevrimde elemanda ölçülen yük, maksimum yükün yaklaşık %50'si kadardır. Deney elemanın en büyük yer değiştirmesi 96 mm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.4'de deney esnasında C040 elemanı görülmektedir.



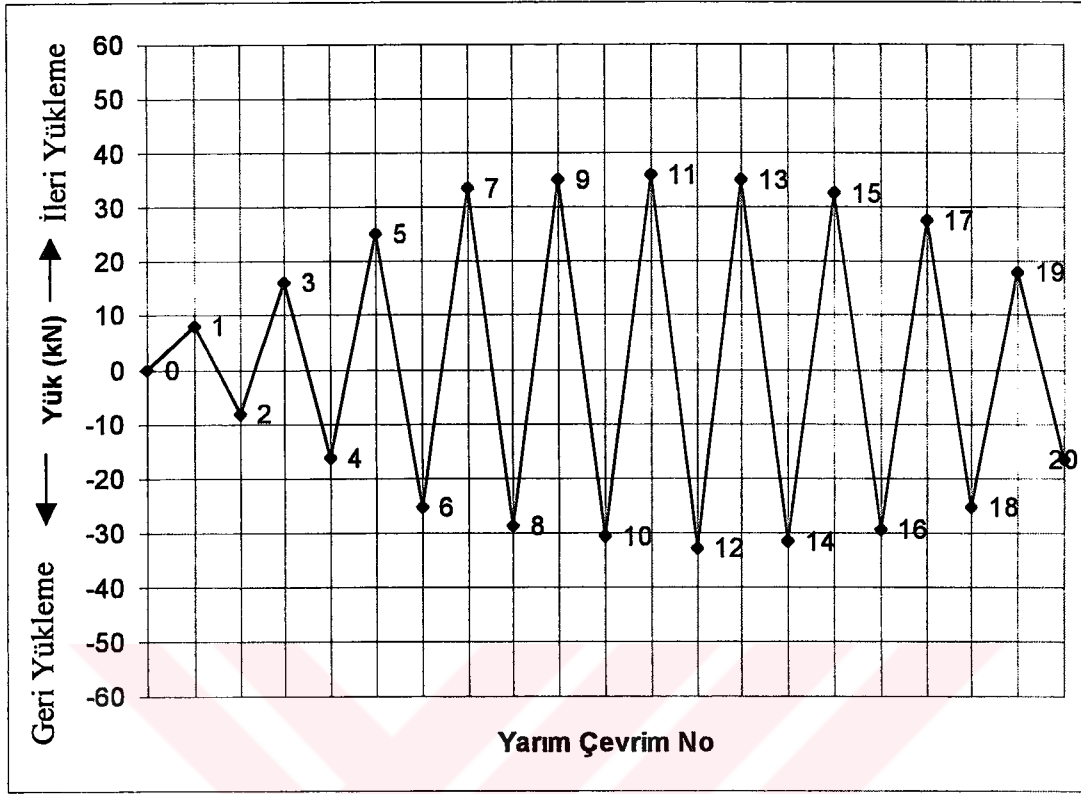
Şekil 4.4. C040 deney elemanı göçmeden sonra

4.3. Deney Elemanı C020

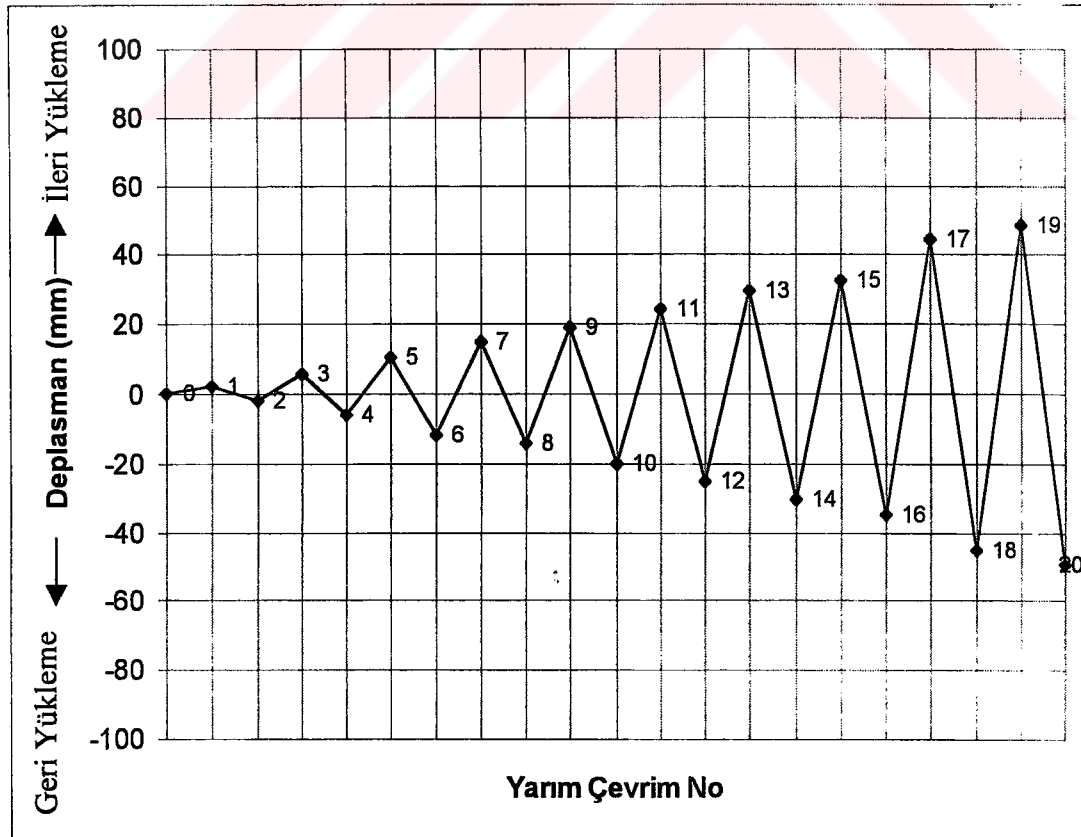
Deney programında ikinci kontrol elemanı olarak üretilmiştir. Bu elemanda kesme dayanımı C040 kontrol elemanına göre yaklaşık yarısı düzeyinde tasarlanarak üretilmiştir. C020 elemanında $\phi 6/18$ cm aralıklarda etriye donatısı bulunmaktadır. Bu donatı oranı C040 kontrol elemanında kullanılan etriye donatısı oranının yarısına eşittir. Deney elemanında yükleme ilk iki çevrim yük kontrollü olarak, bundan sonraki yüklemeler deplasman kontrollü yüklemeler halinde yapılmıştır. Her ileri ve geri yüklemede yaklaşık 0.5 cm deplasman yapacak şekilde yüklenmiştir. Yükleme geçmişiyle ilgili grafikler Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da sunulmuştur. Elemanın yük-deplasman ilişkisi Şekil 4.7'de sunulmuştur.

Test sırasında ilk çatlak 15 kN yük düzeyinde eğilme çatlakları olarak gözlenmiştir. Yüklemenin artan düzeylerinde eğilme çatlaklarının sayısında önemli artışlar gözlenmiştir. Üçüncü ileri çevrimde tatbik edilen yükün 25 kN seviyesine erişmesi ile kesme açıklığında eğik çatlaklar görülmüştür ve yükün 33 kN'e erişmesi ile çekme donatısı akmıştır. Yükteki artış, eğik çatlakların genişlenmesine neden olmuştur. Yükün 47 kN seviyesinde kesme çatlaklarında önemli genişlemeler gözlenmiştir.

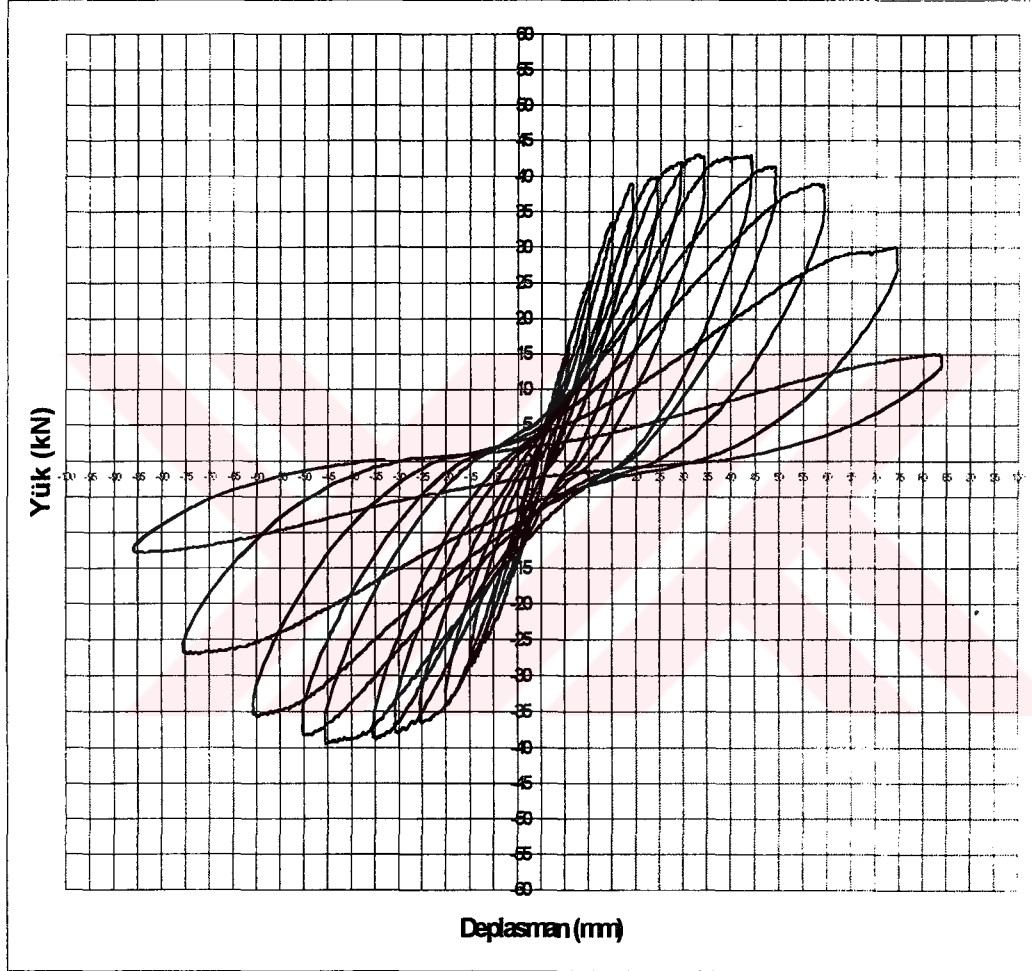
Sekizinci ileri çevrimde kesme çatlakları yükün 62 kN düzeyinde çok ciddi genişlemeler göstermiştir. Bu yükte kesme çatlakların genişliği 5 mm olarak ölçülmüştür. Yükleme devam ederken çatlaklardaki genişleme gözle takip edilebilecek hızda gelişmiştir. Dokuzuncu ileri çevrimde yükün 67 kN seviyesine ulaşması ile kesme çatlakları 10 mm olarak ölçülmüştür ve eleman yük taşıyamaya başlamıştır. Deneye dokuzuncu geri çevrimde son verildi.



Şekil 4.5. C020 (kontrol) deney elemanı yük çevrim grafiği



Şekil 4.6. C020 (kontrol) deney elemanı deplasman çevrim grafiği



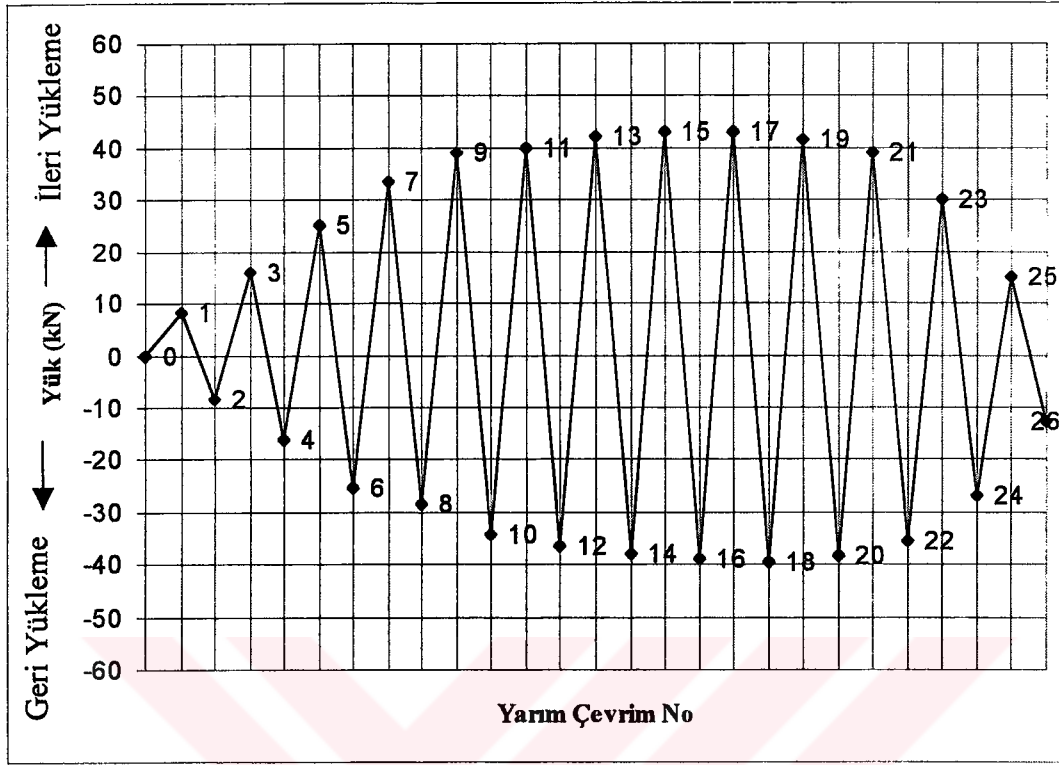
Şekil 4.7. C020 (kontrol) deney elemanı yük-deplasman ilişkisi

4.4. Deney Elemanı C220

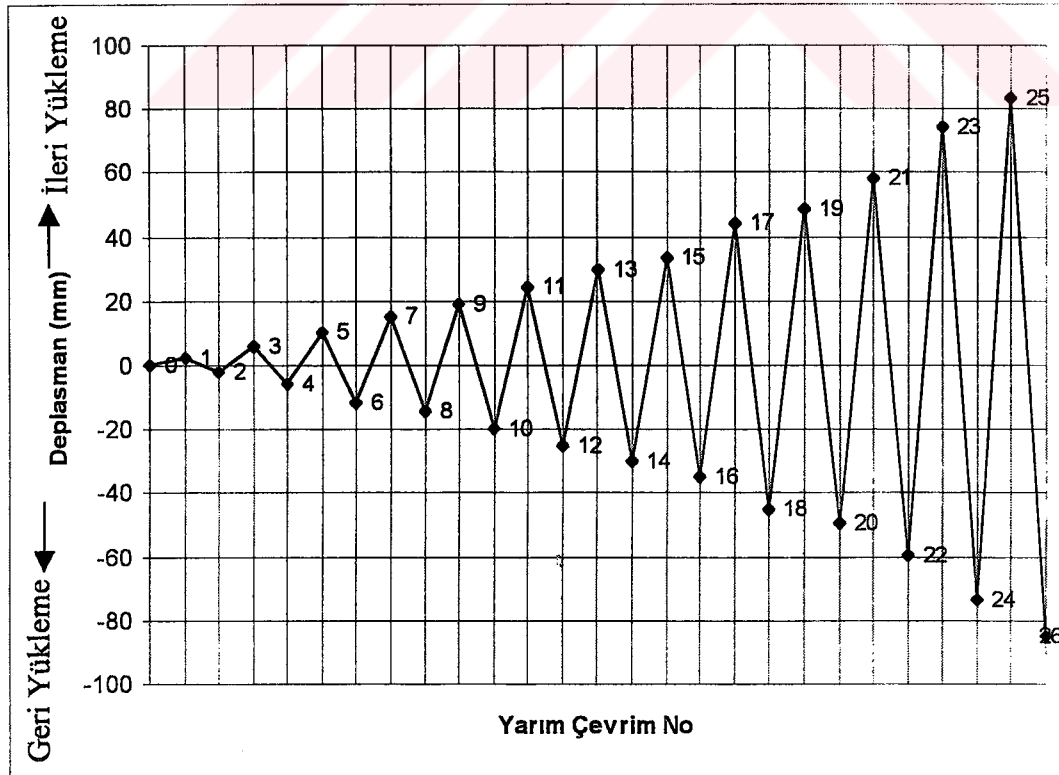
Deney programında güçlendirilme işlemi yapılan tek modeldir. Deney elemanında $\phi 6/18$ cm aralıklı etriye donatısı bulunmaktadır. Etriye donatısı oranı C040 ideal kontrol elemanında bulunan etriye donatısının yarısına eşittir. Bu elemanda etriye eksikliği dıştan yerleştirilen kelepçeler ile giderilmiştir. Kelepçeler eleman boyunca 18 cm aralıklı olacak şekilde yerleştirilmiştir. Böylece deney elemanı için gerekli olan etriye donatısının yarısı içte, diğer yarısı dıştan kelepçeler yerleştirilerek eleman donatılandırılmıştır.

Deney elemanının yükleme geçmişi ilk iki çevrim yük kontrollü olacak, bundan sonraki yüklemeler deplasman kontrollü yüklemeler halinde yapılmıştır. Her ileri ve geri yüklemede yaklaşık 0.5 cm deplasman yapacak şekilde yüklenmiştir. Deney elemanının yükleme geçmişiyle ilişkili grafikler Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da sunulmaktadır. Yük-deplasman ilişkisi Şekil 4.10'da görülmektedir.

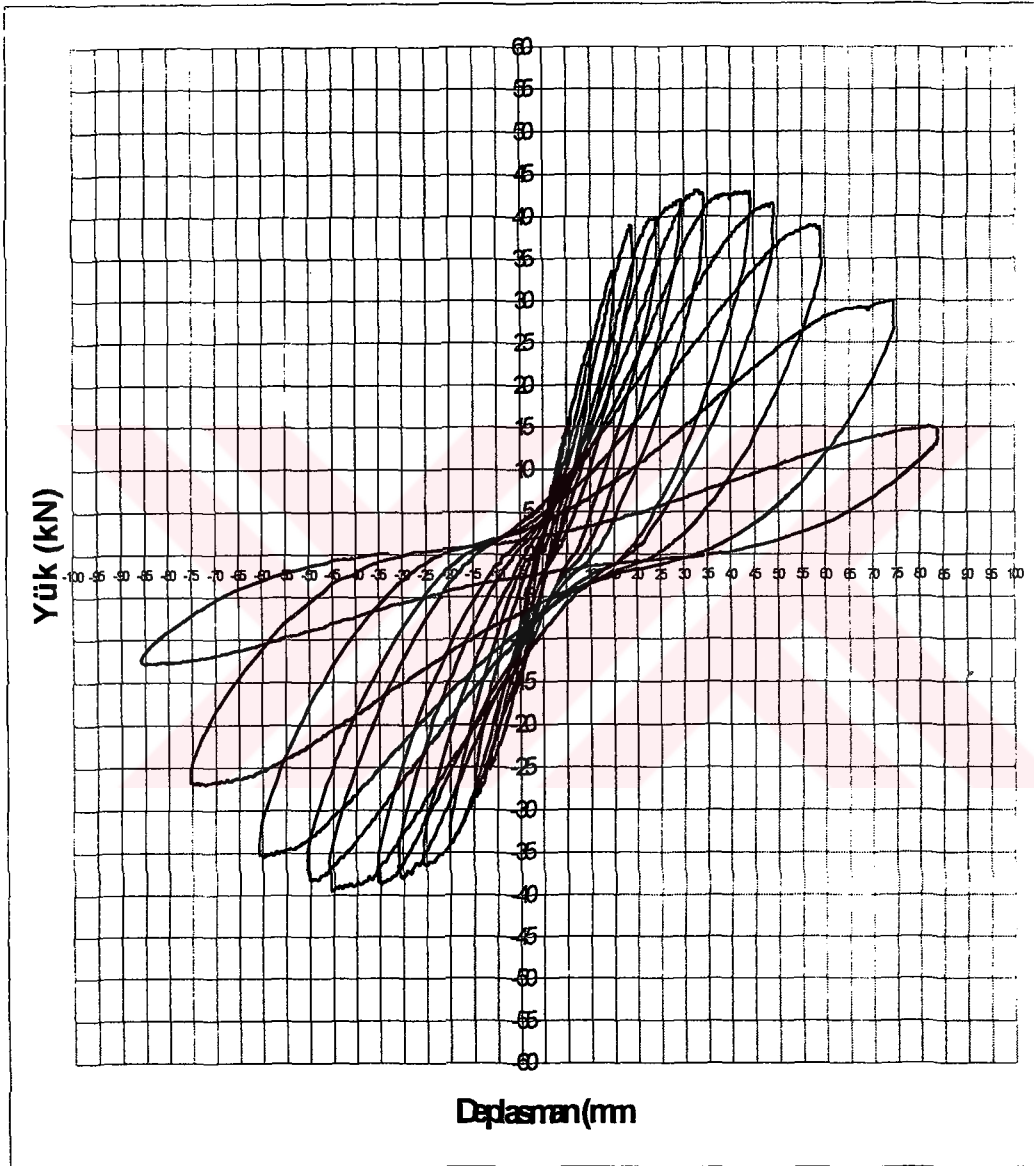
Model kirişte ilk çatlağın, eğilme çatlağı olarak ikinci geri çevrimde 14 kN kesme kuvveti altında maksimum moment bölgesinde gözlenmiştir. Yükün artışı ile ilk kesme çatlakları modelin üçüncü ileri çevrimde yükün 24 kN seviyesinde mesnetten itibaren üçüncü etriye bölgesine kadar kılcal seviyede oluşmuştur. Yükün 26 kN seviyesinde mesnetle birleşim bölgesinde beton kabuğunda yoğun çatlamlar görüldü. Yükün 35 kN seviyesinde de eğilme çatlakları bütün kolonda dağılım gösterdi. Beşinci geri çevrimde yükün 36 kN seviyesinde eğilme çatlaklarının genişliği mesnede yakın yerde yaklaşık 1 mm'ye ulaştıkları ölçülmüştür. Yükün 42.8 kN seviyesinde çekme donatısı akmıştır, çatlak genişlikleri artmıştır. Yedinci ileri çevrimde yükün 43 kN seviyesinde kesme çatlağı genişliği yaklaşık 1 mm olmuştur. Beton kabuğunda dökülme on birinci ileri çevrimde yükün 50 kN seviyesinde görüldü, burada



Şekil 4.8. C220 deney elemanı yük çevrim grafiği



Şekil 4.9. C220 deney elemanı deplasman çevrim grafiği



Şekil 4.10. Güçlendirilen C220 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

kayıt durduruldu ve çevrime eleman yük taşıma kapasitesini tamamen yitirene kadar devam edilmiştir. Kirişin en büyük yer değıştirmesi 88 mm olarak ölçölmüştür. Deneye on üçüncü çevrimde son verildi (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. C220 deney elemanı göçmeden sonra

Çizelge 4.1. Gözlemlenen sonuçlar

Eleman No.	İşlem cinsi	İlk eğilme çatlağı yükü (kN)	İlk kesme çatlağı yükü (kN)	Akma yükü (kN)	Akmada deplasman (mm)	Göçme yükü (kN)	Göçmede deplasman (mm)	Göçme mekanizması
C040	Kontrol	17.00	27.00	43.70	24.41	37.20	74.35	Eğilme
C020	Kontrol	15.00	25.00	33.00	17.90	28.00	41.90	Kesme
C220	Güçlendirme	14.00	24.00	42.80	25.00	30.00	74.00	Eğilme

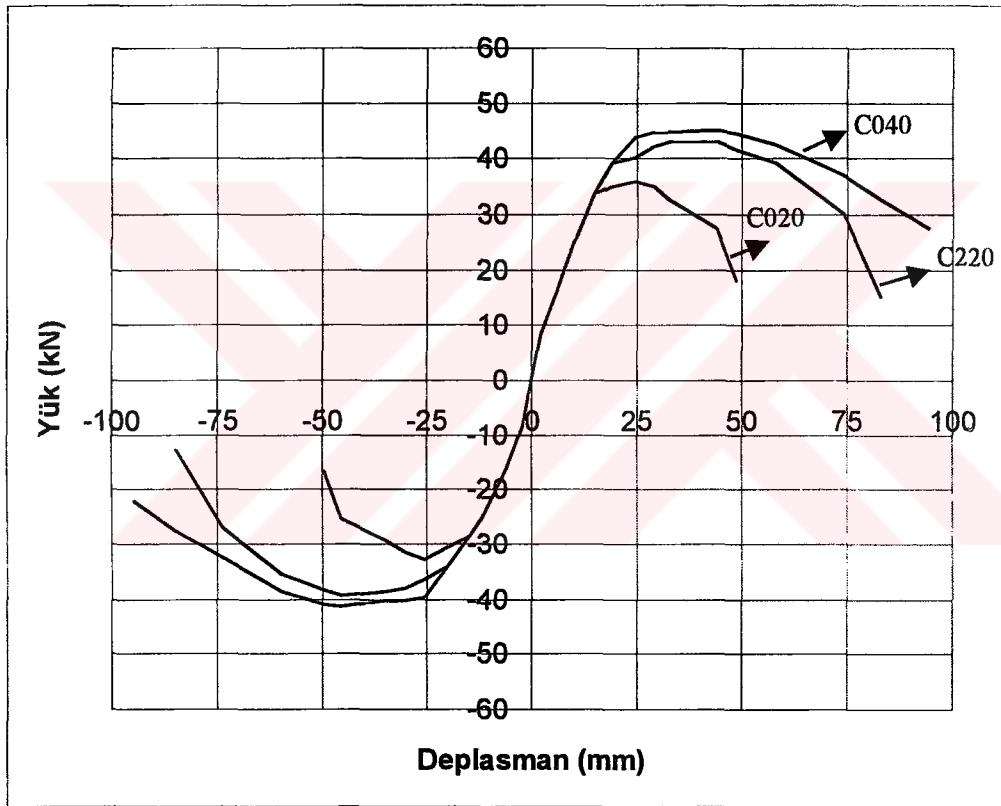
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Yetersiz kesme dayanımına sahip betonarme kirişlerin güçlendirilmesi amacıyla kullanılan dıştan kelepçeleme yönteminin, deprem yüklerini benzeştiren tersinir ve tekrarlanır yükler altındaki davranışı irdelenmiştir. Yalnızca 3 adet deney elemanı ile sınırlı kalan bu çalışmanın verileri bu bölümde yorumlanmıştır. Değerlendirmeler sadece test edilen 3 eleman ile sınırlıdır. Değerlendirmeler elemanların rijitlik, süneklik, enerji tüketimi ve göçme mekanizmaları üzerinde yapılacaktır. Bu değerlendirmelerde eleman uç noktası net deplasmanı grafikleri kullanılmıştır. Moment-eğrilik ve kesme deplasmanı ölçümleri devam eden çalışmanın bir sonraki adımında değerlendirilecektir.

5.1. Davranış ve Dayanım

Deney elemanlarının yük-deplasman grafiklerinin her bir çevrimindeki önemli değişimleri ve maksimum yüklerin birleştirilmesiyle elde edilen zarf eğrilerinden yararlanılacaktır. Deney elemanlarının zarf eğrileri karşılaştırmalı biçiminde Şekil 5.1'de verilmiştir. Deney elemanlarının elastik bölge içerisinde yer alan 5. çevrime kadar birbirleri ile çok az bir farkla özdeş davrandıkları aynı dayanım ve davranışı gösterdikleri görülmüştür. Kontrol elemanı C040 deney elemanı deney serisi içerisinde beklendiği gibi en büyük dayanım değerine ulaşmıştır. İleri ve geri çevrimlerde kesme donatısı olması gereken kesme donatının yarısına sahip C020 deney elemanından yaklaşık %20 daha büyük dayanım sergilemiştir.

Güçlendirilen deney elemanı C220 ise C040 kontrol elemanı dayanım değerine tam ulaşamamış olmasına rağmen iyi davranış sergileyerek C020'ün dayanım değerini %19 geçerek C040 elemanı dayanımına çok yaklaşmıştır.



Şekil 5.1. Zarf eğrileri

Deney elemanlarının ileri ve geri çevrimlerdeki davranışları iki yöndeki donatının da aynı olması sebebi ile birbirine çok yakın gelişmiştir.

5.2. Rijitlik

Elemanların rijitlik değişimlerini belirlemek amacıyla ileri ve geri çevrimlerdeki eğilme rijitlikleri bulunmuştur. Teorik olarak eğilme rijitliği, moment eğrilik ilişkisinin eğimine eşittir. Ancak deney elemanlarının çeşitli kesitlerinde ölçülerek hesaplanmış olan moment eğrilik ilişkisinin, betonarme davranışının belirsizliğinden ötürü tam doğru kabul etmek yanıltıcı olabilir. Bu belirsizliğe ek olarak moment eğrilik ölçümü alınacak olan bölgenin uzunluğunun deneysel araştırmalarda belirleme konusunda kesin bir yargıya varılmamıştır. Seçilen bölge içinde çatlak dağılımı ve genişliği ölçümleri ve dolayısıyla rijitlik değerini çok fazla etkilemektedir. Bu sebeple moment eğrilik ilişkisinin rijitlik tayini için kullanımı tartışmaya açık bir konudur.

Rijitlik tayini için yukarıda kısaca özetlenen sebeplerden ötürü yük-deplasman grafiklerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Çünkü yük-deplasman sonuçta moment ve eğrilik ile yakından ilişkili değerlerdir. Deney elemanları daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi ilk iki çevrimden sonra deplasman kontrollü deney yapıldığı için rijitlik değerleri ileri ve geri çevrimler için ayrı ayrı hesaplanıp grafik haline getirilmiştir. Eğilme rijitlikleri elastik bölgede kalan çevrimler için kolayca lineer bölgenin eğiminden yararlanılarak hesaplanmıştır. İlerleyen çevrimlerde betonda oluşan hasar ve plastik mafsall oluşumu sonucunda meydana kayma deformasyonlarının etkisiyle lineerlik bozulmuştur. Bu çevrimlerde kayma deformasyonlarından sonra deney elemanı tekrar yük almaya başladığında oluşan lineer bölgeden yararlanılarak rijitlik hesaplaması yapılmıştır.

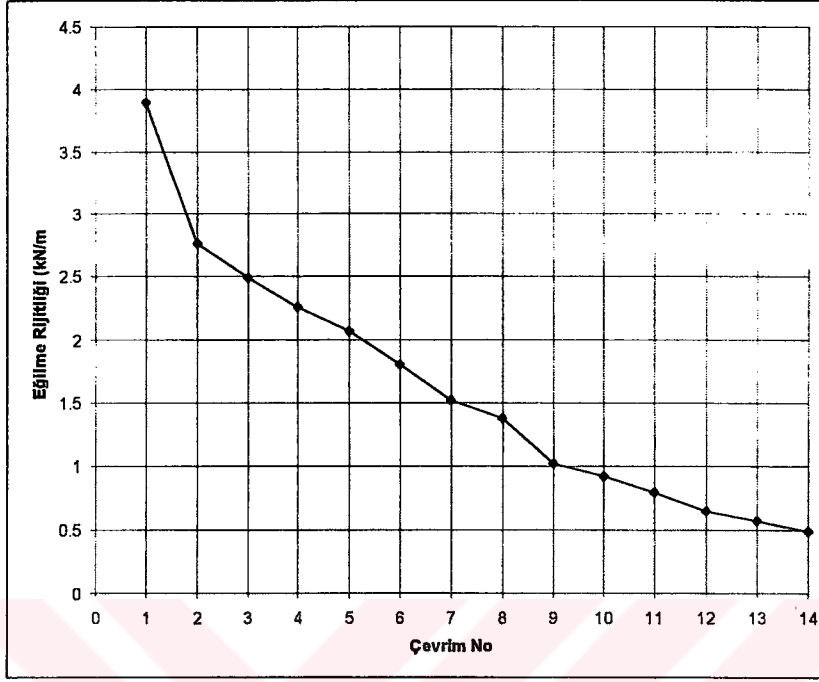
C040 , C020 ve C220 deney elemanları ileri ve geri çevrimleri için eğilme rijitliği grafikleri sırası ile Şekil 5.2, 5.3 ve Şekil 5.4 sunulmuştur. Tüm elemanların ileri ve geri çevrimlerinde rijitlik değerlerinin aynı eleman için yakın değerler aldığı dikkati çekmektedir. Rijitlik değişimi grafiklerinde güçlendirilen C220 elemanı ile C040 kontrol elemanının çok yakın bir davranış sergilediği görülmüştür.

5.3. Deney Elemanlarının Enerji Tüketim Kapasiteleri

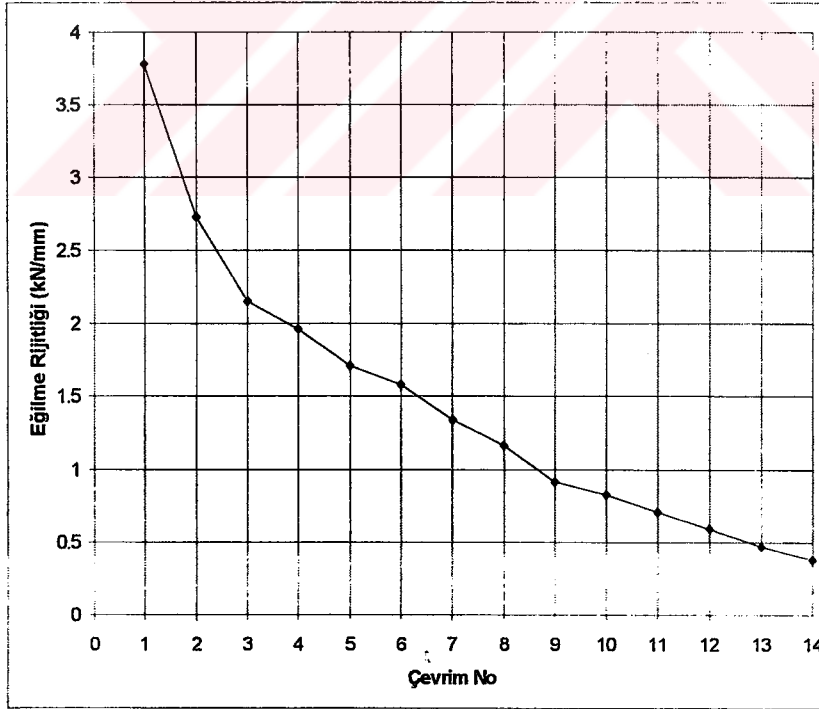
Deney elemanlarının enerji tüketim kapasiteleri yük-deplasman grafiğinin altında kalan alanlar hesaplanarak elde edilmiştir. Deney elemanlarına uygulanan yük geçmişlerinin özdeş olmaması nedeniyle enerji tüketim değerleri kümülatif olarak hesaplanmıştır. Her çevrimde tüketilen enerji bir önceki çevrimde tüketilen ile toplanarak kümülatif enerji tüketim değerinin çevrim sayısına göre grafiği her deney elemanı için çizilmiştir (Şekil 5.5).

Deney elemanlarının enerji tüketim kapasiteleri incelendiğinde elastik bölgeyi temsil eden 5. çevrim ve hatta 6. çevrime kadar 3 deney elemanında yaklaşık olarak aynı davranışı sergileyerek aynı miktarda enerji tükettikleri görülmüştür.

Bu çevrimden sonra C020 deney elemanının enerji tüketiminde bir azalma görülmüş ve kesme donatısı yetersiz olan deney elemanı kesme kırılması ile göçmüştür. Bu elemanın göçtüğü 10. çevrimde diğer iki deney elemanına göre %33 daha az enerji tüketerek göçtüğü Şekil 5.5'dan da görülebilmektedir. C040 kontrol elemanı ve C220 güçlendirilmiş deney elemanının enerji tüketim kapasiteleri arasındaki benzerlik elastik bölgedeki çevrimlerden sonra da devam etmiş ve C220 güçlendirilmiş deney elemanı C040 kontrol



(a)



(b)

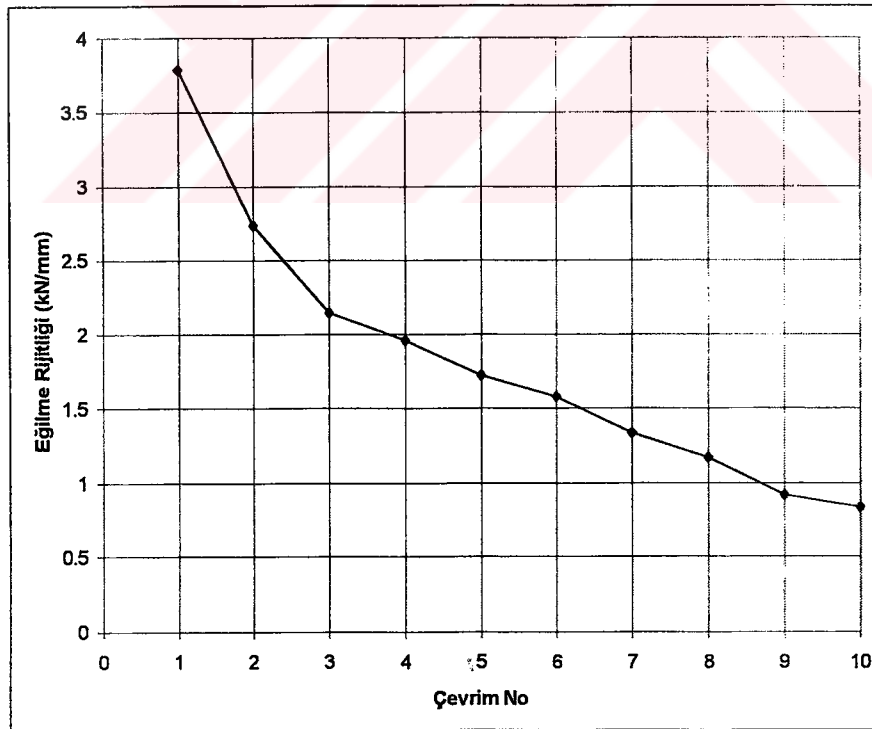
Şekil 5.2. C040 deney elemanı eğilme rijitliği değişim grafiği

a) İleri çevrim eğilme rijitliği değişimi

b) Geri çevrim eğilme rijitliği değişimi



(a)

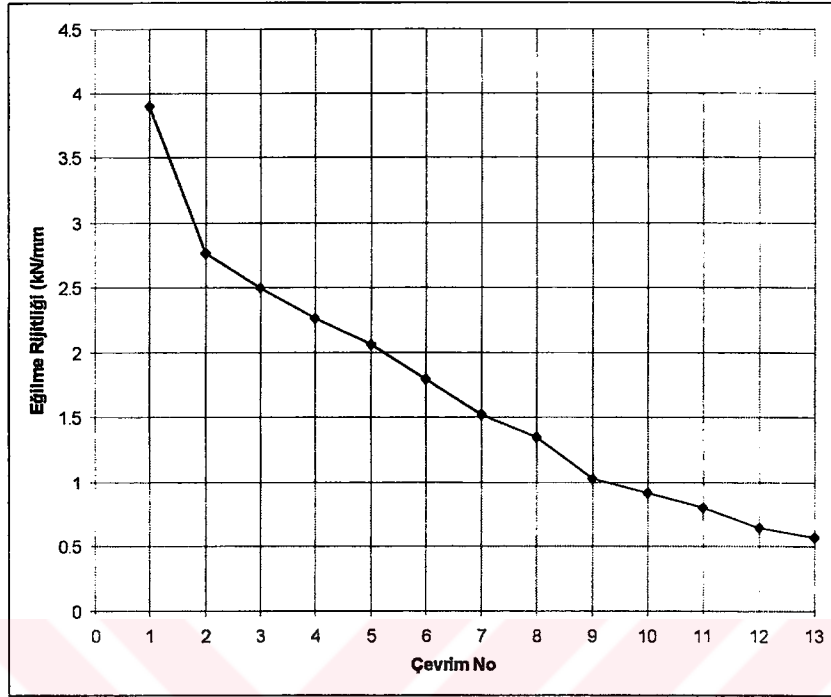


(b)

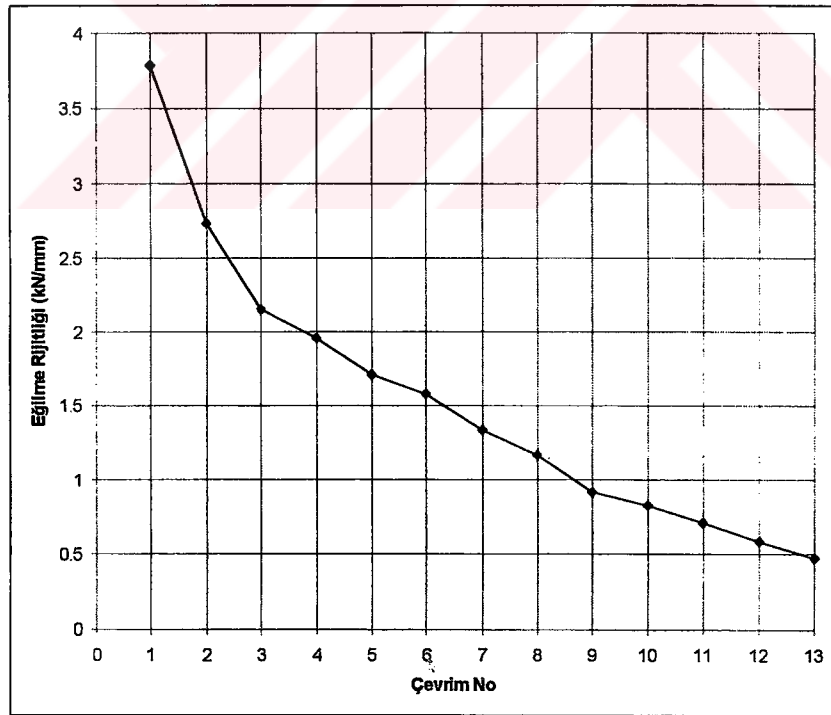
Şekil 5.3. C020 deney elemanı eğilme rijitliği değişim grafiği

a) İleri çevrim eğilme rijitliği değişimi

b) Geri çevrim eğilme rijitliği değişimi



(a)



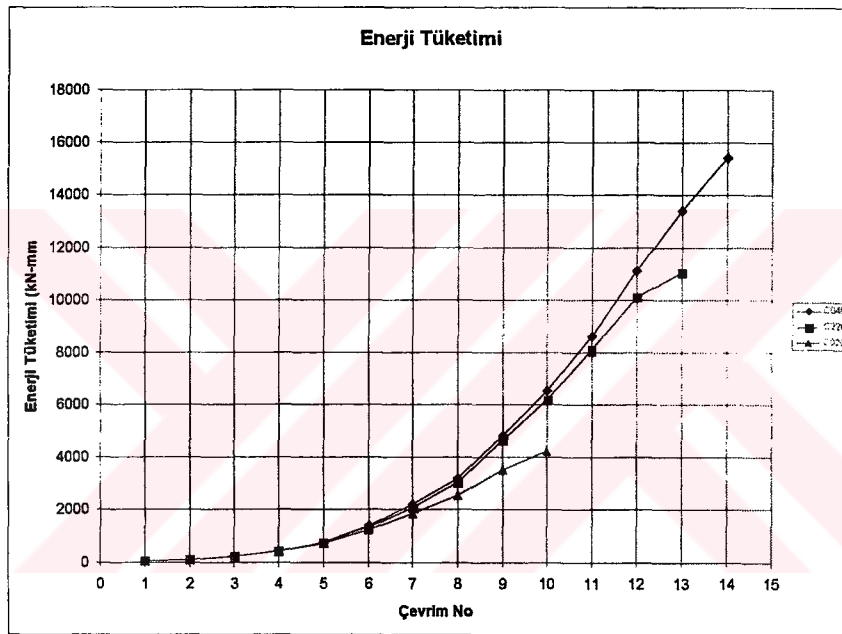
(b)

Şekil 5.4. C220 deney elemanı eğilme rijitliği değişim grafiği

a) İleri çevrim eğilme rijitliği değişimi

b) Geri çevrim eğilme rijitliği değişimi

elemanından bir çevrim önce ve %20 daha az enerji tüketerek göçmüştür (Şekil 5.5). Buna rağmen güçlendirilen C220 deney elemanının enerji tüketimi açısından kontrol elemanı C040'a yakın bir davranış sergilemesi güçlendirme yönteminin depremi benzeştiren tersinir ve tekrarlanır yükler için de açısında umut verici bir sonuçtur.



Şekil 5.5. Deney elemanlarının kümülatif enerji tüketim kapasiteleri

5.4. Deney Elemanlarının Deplasman Süneklikleri

Tanım olarak süneklik, öngörülen dayanımdan önemli bir kayıp olmaksızın deformasyon yapabilme yeteneğidir. Süneklik oranı ise öngörülen dayanımda önemli bir kayıp olmaksızın oluşan en büyük deformasyonun akma anındaki deformasyona oranıdır. Bu çalışmada dayanımda %15'e kadar olan kayıpların önemsiz olduğu kabul edilmiş ve süneklik oranları bu noktadaki deplasman

değerleri göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Yukarıda ifade edildiği gibi süneklik ve süneklik oranları her deney elemanının maksimum yük kapasitesi dikkate alınarak bu dayanım değerinde %15 kayıp sonucunda elde edilen değerden çizilen bir paralel çizginin deney elemanlarının grafiklerinde kestiği noktadan x eksenine indirilerek elde edilen deformasyon değerleri kullanılarak süneklik oranı değerleri hesaplanmıştır. Elemanların süneklik oranları Çizelge 5.1'de sunulmuştur. Güçlendirilen C220 elemanın deplasman süneklik oranı değerlerinin C040 kontrol elemanının deplasman süneklik oranı değerlerinden biraz daha büyük elde edilmesi dikkati çekmektedir.

Çizelge 5.1. Deney elemanları süneklik oranları

Deney Elemanı	Süneklik Oranı	
	İleri Çevrim	Geri Çevrim
C040	2.97	2.66
C020	2.49	2.52
C220	3.33	3.11

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Yeterli kesme dayanımına sahip olmayan betonarme kirişler için uygulamada da yaygın kullanılan güçlendirme tekniklerinden birisi de, eleman dışından kelepçe yerleştirilmesi yöntemidir. Çok sınırlı kalan araştırmalarda bu güçlendirme tekniği tekrarlanır yada tek düze yüklemeler altında çalışılmış yöntemin başarılı olduğu ortaya konulmuştur. Ancak bu yöntemin deprem yükleri altındaki performansı henüz araştırılmamıştır. Bu çalışmada; az sayıda deney elemanı da olsa bu güçlendirme yönteminin tersinir ve tekrarlanır yükler altındaki davranışı için bir görüş elde edilmiştir. Elde edilen görüş ve sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- Kesme dayanımı yetersiz kirişlerin dışarıdan yerleştirilen kelepçelerle kesme dayanımı yetersizliğinin giderilmesi amacıyla kullanılan bu yöntemin deprem yüklerini benzeştiren tersinir ve tekrarlanır yükler altında da iyi sonuçlar vermiştir.
- Yetersiz kesme donatılı kirişlere dıştan yerleştirilen kelepçelerle güçlendirme yöntemi uygulama açısından pratiktir.
- Kesme dayanımı yetersiz kiriş elemanlarının kesme kırılması biçiminde beklenen davranışı, elemanın kelepçelerle güçlendirilmesi ile farklılaşarak davranışa eğiliminin hakim olması sağlanmıştır.
- Kelepçeler eğik kesme çatlaklarını başarılı bir biçimde kontrol ederek çatlakların genişlemesini sınırlamışlardır.

- Güçlendirilen deney elemanın dayanım ve davranışı olması gerektiği gibi kesme donatılı kontrol deney elemanı ile yaklaşık aynı düzeyde gelişmiştir.

6.2. Öneriler

Deneyler sırasında yapılan gözlemler ve deney elemanlarının sergiledikleri davranış doğrultusunda aşağıdaki öneriler yapılmıştır.

- Deneyde incelenmesi planlanan parametreler hakkında daha belirgin bir yargıya varabilmesi için deney sayısının artırılması gereklidir. Bu amaca yönelik olarak öngerme kuvvetinin miktarının ve kelepçe sıklığı ile yerleşim biçiminin davranış üzerindeki etkilerinin daha belirgin olarak belirlenebilmesi için çalışma devam ettirilmelidir.
- Yürütülen deneysel çalışmada, tersinir yinelenir yükleme altında test edilen elemanlara göre monotonik yükleme altında test edilen elemanların farklı davranışlar sergiledikleri gözlenmiştir. Dıştan kelepçe düzenleme ve şeklinin ayrıca kelepçe ile deney elemanının birlikte bir davranış sergileyebilmesi için değişik kelepçe biçimi ve bağlantı elemanlarının tasarlanması ve test edilmesi başka çalışmalara konu oluşturabilir.
- Eleman dışından yerleştirilen kelepçelerin yangına ve korozyona karşı korunabilmesi için gerekli önlemlerin alınmasının gerektiği unutulmamalıdır.
- Dışarıdan kelepçe yerleştirilerek kesmeye karşı güçlendirme yapılması bu çalışmada ankastre olarak mesnetlenen bir deney elemanında test edilmiştir.

Başka bir çalışmada aynı yöntemin kolon-kiriş birleşiminde de denenmesi yapı davranışında daha uygun sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

- Yapılan araştırmada deney elemanlarının kesmeye karşı güçlendirilmesinde dışarıdan mekanik olarak yerleştirilen çelik elemanlardan oluşan kelepçeler kullanılmıştır. Kesmeye karşı dışarıda epoksi ile çelik levhaların yapıştırılması ve karbon fiber malzemelerin dışarıdan sargılanması gibi diğer yöntemlerinde davranışa etkisi araştırılabilir.



KAYNAKLAR

1. Özdemir P., 1998, **Kesme Dayanımı Yetersiz Kısa Kolonların Onarım ve Güçlendirilmesinde bir Uygulama Seçeneği**, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
2. Pulak T., 1996, **Betonarme Kirişler için Bir Güçlendirme Yöntemi**, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
3. Richard, C.E. and Hognestad, E., 1957, **Laboratory Investigation of Rigid Frame Failure**, Journal of American Concrete Institute (ACI), 28, 7, 637-667.
4. Raghuprasad, B.K. and Ramakrishna, B., 1986, **Rehabilitation of R.C. Structural Elements Under Repeated Monotonic Cyclic Loading with External Clamping**, Second International Conference on Concrete Technology for Developing Countries, Tripoli-Libya, 5.45-5.59.
5. Altın S., Tankut T. ve Demirel Y., 1996, **Betonarme Kirişlerin Kesme için Onarım / Güçlendirilmesi**, TÜBİTAK Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu projesi (Intag 536), Ankara.
6. Altın, S., Demirel, Y., 1997, **Kesmeye karşı güçlendirilen betonarme kirişlerin davranışı – $a / d = 3$** , İMO Teknik Dergi, 8, 3, 1471-1489, Ankara.
7. Ersoy, U., 1985, **Betonarme Temel ilkeler ve Taşıma Gücü Hesabı**, Evrim yayınevi, 377-472, İstanbul.

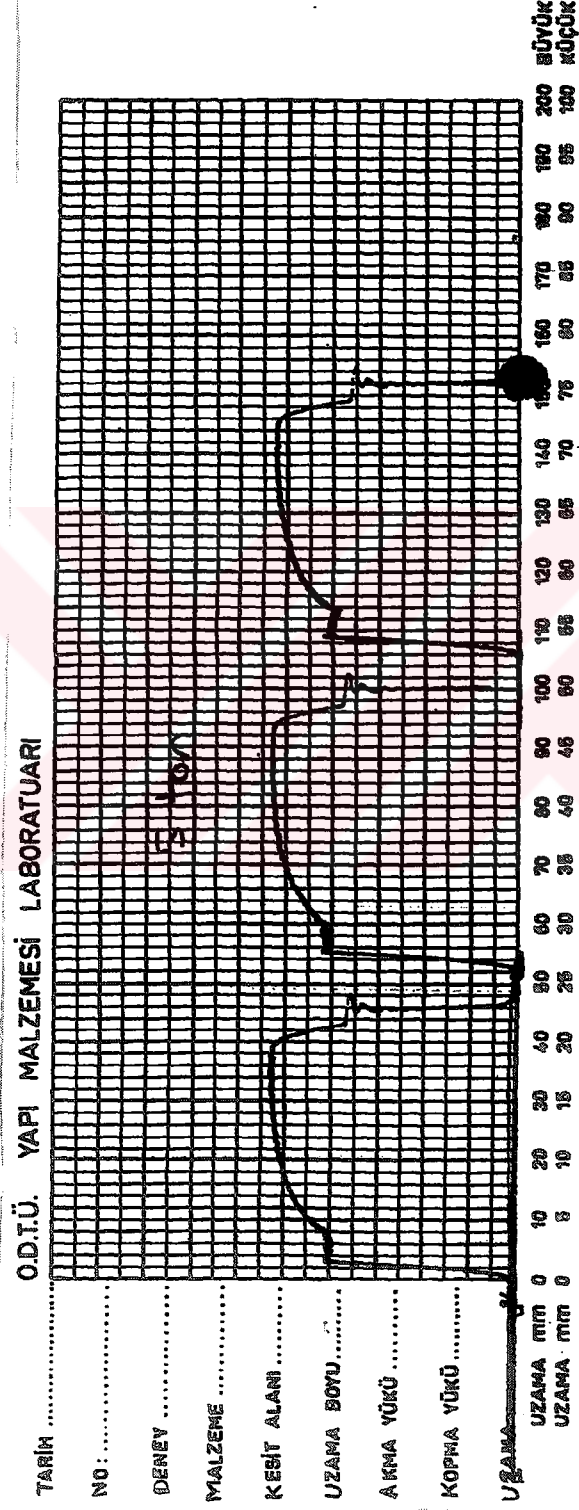


EKLER

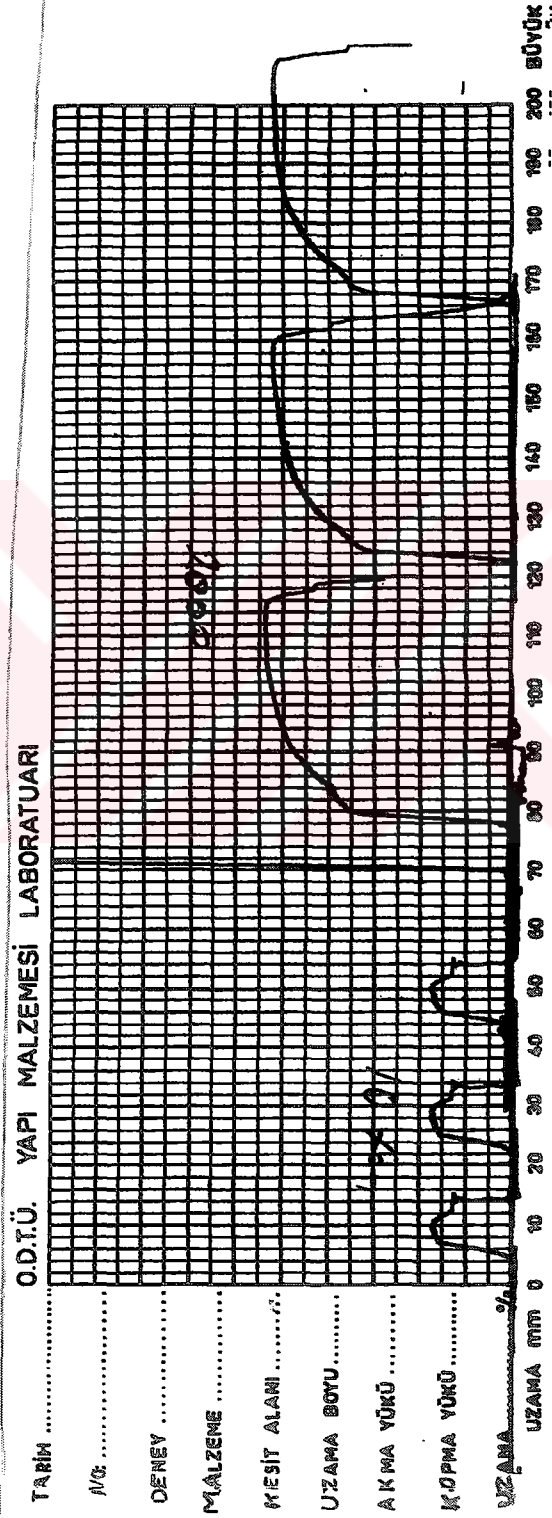
EK-1

BETONARME DONATILARININ ÇEKME DENEYLERİ

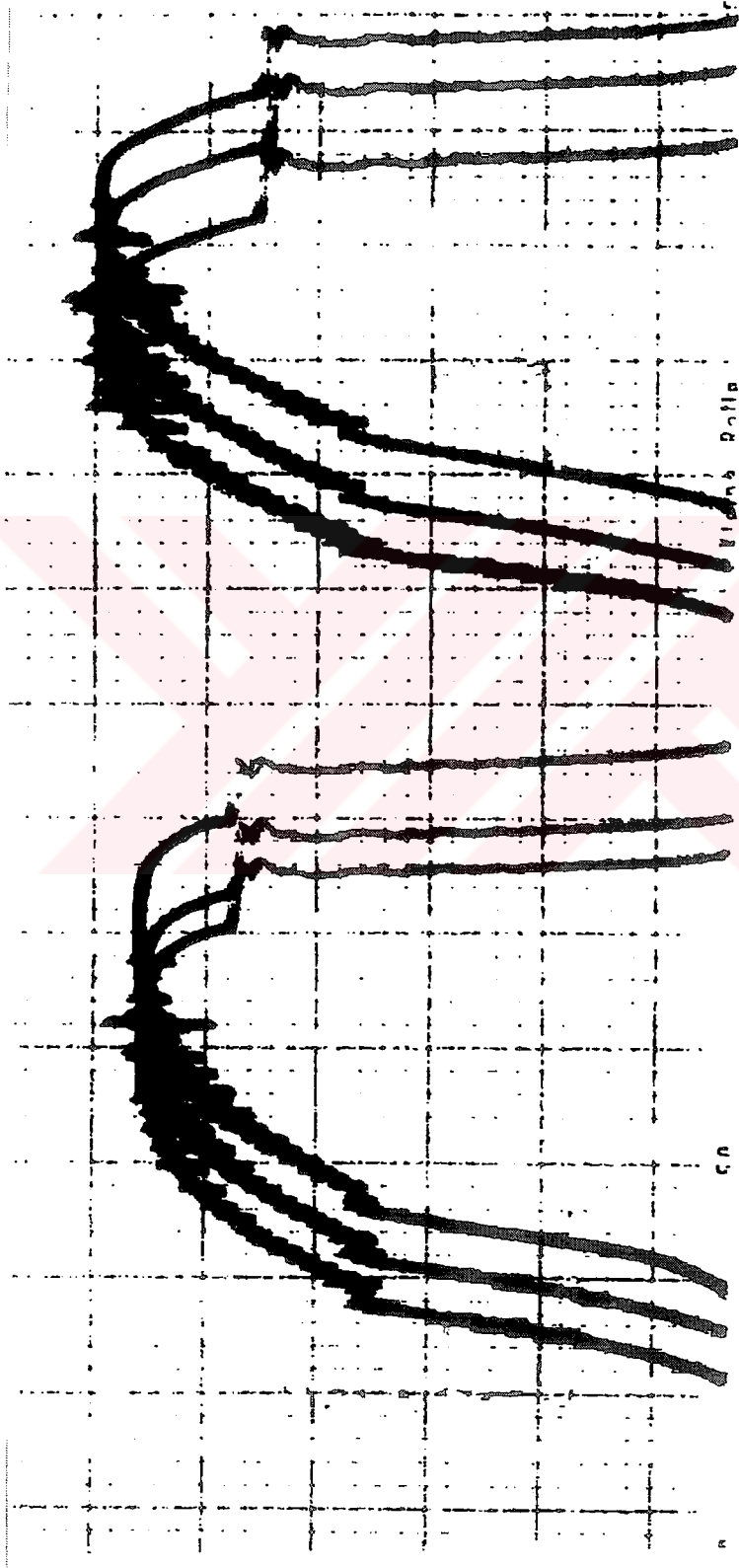
Deney elemanlarının üretiminde kullanılan donatıların mekanik karesterikleri, çekme deneyleri ile belirlenmiştir. Bütün donatı çeşitlerinden alınan numuneler, ODTÜ Malzeme Laboratuvarında 10 ton çekme kapasiteli Lasenhausen Maschinenbau A.G.-UHP10 test makinesinde, aynı yükleme hızında ve değişik yük düzeylerinde test edilmiştir. Donatı testlerinden elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme diyagramları Şekil Ek 1.1, 1.2, ve 1.3’de verilmiştir.



Şekil EK-1.1. $\phi 6$ mm donatı çekme deneyi



Şekil EK-1.2. φ8 mm donatı çekme deneyi



Şekil EK-1.3. $\phi 16$ mm donatı çekme deneyi

ÖZGEÇMİŞ

Nazik KH. HASAN, 14 Mayıs 1974 yılında Irak-Erbil şehrinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimi Erbil okullarında tamamladı. Salahaddin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 1996 yılında mezun oldu. 1997 yılında Türkiye'ye okumak amacıyla geldi ve Gazi Üniversitesi TÖMER bölümünden Türkçe hazırlığını okudu. Ekim 1998 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programına başladı.

