

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GÜÇLENDİRİLMİŞ ÜÇ BOYUTLU ÇERÇEVE YAPI
DEPREM DAVRANIŞININ DENEYSEL İNCELENMESİ**

**Hazırlayan
Hürmet KÜÇÜKGÖNCÜ**

**Danışman
Prof. Dr. Fatih ALTUN**

Doktora Tezi

**Kasım 2018
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GÜÇLENDİRİLMİŞ ÜÇ BOYUTLU ÇERÇEVE YAPI
DEPREM DAVRANIŞININ DENEYSEL İNCELENMESİ**

(Doktora Tezi)

**Hazırlayan
Hürmet KÜÇÜKGÖNCÜ**

**Danışman
Prof. Dr. Fatih ALTUN**

**Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
tarafından FDK-2017- 7722 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Kasım 2018
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

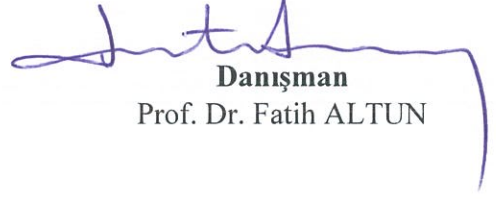
Hürmet KÜÇÜKGÖNCÜ



“Güçlendirilmiş Üç Boyutlu Çerçeve Yapı Deprem Davranışının Deneysel İncelenmesi” adlı Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.



Hazırlayan
Hürmet KÜÇÜKGÖNCÜ



Danışman
Prof. Dr. Fatih ALTUN



İnşaat Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Ahmet Alper ÖNER

Prof. Dr. Fatih ALTUN danışmanlığında **Hürmet KÜÇÜKGÖNCÜ** tarafından hazırlanan “**Güçlendirilmiş Üç Boyutlu Çerçeve Yapı Deprem Davranışının Deneysel İncelenmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalında **Doktora** tezi olarak kabul edilmiştir.

22/ 11/ 2018

JÜRİ:

Danışman : Prof. Dr. Fatih ALTUN

Üye : Prof. Dr. Mehmet KAMANLI

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ali BOZER

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hacı Bekir KARA

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Oğuz DÜĞENCİ

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun **27/11/2018** tarih ve **2018/54-04** sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini bir an olsun esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren değerli hocam Prof. Dr. Fatih ALTUN' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Erciyes Üniversitesi Melikgazi Belediyesi Deprem Araştırma Laboratuvarında, deneysel çalışmalarım sırasında her zaman yanımda olan, fikirlerini, yardımlarını ve emeğini esirgemeyen sayın İnş. Yük. Müh. Oğuzhan ATAŞ' a katkılarından dolayı teşekkür ederim. Yine deneysel çalışmalarımın gerçekleştirilmesinde emeği geçen Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü lisansüstü öğrencileri; Yaser ALHAMDAN, Ghamdan SLAMA, Ahmed M.I. ABUWARDA, Temur KHIMSHIASHVILI ve lisans öğrencimiz Ali Kemal DÜĞENCİ ile diğer öğrencilerimize teşekkür ederim.

Bununla birlikte çalışmalarım sırasında bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan sayın hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Tamer DİRİKGİL ve Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÖZBAYRAK ile aynı zamanda tez çalışmam süresince izleme komitesinde de yer alan Dr. Öğr. Üyesi Oğuz DÜĞENCİ' ye çok teşekkür ederim. Yine tez çalışmam süresince izleme komitesinde bulunan hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Hacı Bekir KARA 'ya katkılarından dolayı teşekkür ederim. Çalışmalarımnda daha ismini sayamadığım emeği geçen tüm firmalara ve çalışanlarına, üniversitemizin tüm akademik ve idari personeline içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

FDK-2017-7722 nolu proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Doktora eğitimim boyunca TÜBİTAK 2228 Bursiyeri olarak destek sağlayan TÜBİTAK-Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı'na (TÜBİTAK-BİDEB) teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın her döneminde olduğu gibi bu zorlu tez sürecinde de, maddi manevi desteğini esirgemeyen sevgili annem Şerife KÜÇÜKGÖNCÜ' ye, her zaman koşulsuz sevgi ve desteğini yanımda hissettiğim biricik kardeşim Beyza KÜÇÜKGÖNCÜ' ye en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı beni bugünlere getiren, başardığım her şeyde büyük payı olan hayatım boyunca gerek insani tutum ve davranışlarını gerekse mühendislik mesleğindeki bilgi ve becerilerini örnek aldığım sevgili babam Nevzat KÜÇÜKGÖNCÜ' ye ithaf ediyorum..

Hürmet KÜÇÜKGÖNCÜ

Kasım 2018, KAYSERİ



**GÜÇLENDİRİLMİŞ ÜÇ BOYUTLU ÇERÇEVE YAPI DEPREM
DAVRANIŞININ DENEYSEL İNCELENMESİ**
Hürmet KÜÇÜKGÖNCÜ

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezi, Kasım 2018
Danışman: Prof. Dr. Fatih ALTUN

ÖZET

Günümüzde betonarme yapıların depreme karşı davranışlarını iyileştirmek için pek çok güçlendirme yöntemi uygulanmaktadır. Fakat pek çoğu, güçlendirme işlemleri süresince yapının tahliye edilmesini gerektirmektedir. Bu durum da hem zaman kaybına hem de ek ağır maliyetlere yol açmaktadır. Bu sebeple mevcut sorunu ortadan kaldıracak yeterli ve etkili bir yöntem ihtiyacı duyulmaktadır.

Bu noktada çalışmada, yapının uygulama boyunca kullanılmasına imkan verirken dış cephesine perde ilave edildiği bir yöntem olan dış perde ile güçlendirme uygulaması araştırılmıştır. Bu amaçla her iki yönde iki açıklığa sahip tek katlı $\frac{1}{2}$ geometrik ölçekli, ülkemizde mevcut eski yapıları temsil eden yaygın kusurlara sahip 3 adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Bu çerçevelerden biri referans çerçeve diğeri referans çerçeveyle özdeş olan belli bir hasar sınırına kadar hasar verildikten sonra çelik bağ kirişli betonarme dış perdeyle güçlendirilen ve sonuncusu hasarsız çerçevenin aynı şekilde güçlendirildiği çerçevedir. Böylece tüm numuneler deprem hareketini simüle eden tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Sonrasında deney numunelerinin dış perde ilave edilerek güçlendirilmesiyle deprem etkisi altındaki davranışlarını belirlemek için bu numunelere ait histeresis eğrileri, zarf eğrileri, rijitlik, süneklik ve tüketilen enerji grafikleri elde edilmiştir. Son bölümde ise, elde edilen deneysel sonuçlar, irdelenerek değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kusurlu Yapı, Üç Boyutlu Çerçeve, Dış Perde, Güçlendirme.

**AN EXPERIMENTAL STUDY OF ANALYZING THE SEISMIC BEHAVIOR
OF STRENGTHENED THREE DIMENSIONAL FRAME STRUCTURE
Hürmet KÜÇÜKGÖNCÜ**

**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
PhD Thesis, November 2018
Supervisor: Prof. Dr. Fatih ALTUN**

ABSTRACT

Nowadays, many strengthening methods are applied for the improvement of the behavior of reinforced concrete structures against earthquakes. However many of them require the evacuation of the structure during the rehabilitation and they are both time consuming and lead to additional heavy costs. Thus it is needed to both sufficient and effective methods to solve this problem.

In this study, a strengthening method in which external shear walls are applied to the exterior sides of the structure while the structure can continue its function during the application is investigated. For this purpose, three , ½ scale, one story reinforced concrete frames are produced with two spans in both two directions, which contained common deficiencies to represent the existing older structures in our country. One of these frames is bare frame while the other one is tested to a certain damage state and then strengthened with external shear walls and tie beams. The last one is undamaged frame strengthened as the second frame. All specimens will be tested under reversed cyclic loading simulating the seismic action. Then, the hysteresis curves, relative displacement curves, stiffness curves, ductility curves and energy absorption curves are obtained to determinate the behavior of the frames strengthened with external shear wall. In the last chapter, the experimental results are evaluated and some suggestions are given.

Keywords: Nonconforming Structure, 3D Frame, External Shear Wall, Strengthening.

İÇİNDEKİLER

GÜÇLENDİRİLMİŞ ÜÇ BOYUTLU ÇERÇEVE YAPI DEPREM DAVRANIŞININ DENEYSEL İNCELENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET	vii
ABSTRACT.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR ve SİMGELER	xii
TABLolar LİSTESİ.....	xv
ŞEKİLLER LİSTESİ	xvii
GİRİŞ	1

1.BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

1.1.Onarım ve Güçlendirme Kavramları.....	3
1.2.Onarım ve Güçlendirme İlkeleri	4
1.3.Güçlendirme Yöntemleri.....	5
1.3.1.Mevcut Elemanların Güçlendirilmesi	6
1.3.1.1.Kirişlerin Güçlendirilmesi	6
1.3.1.2. Kolonların Güçlendirilmesi	7
1.3.1.3. Kolon-Kiriş Birleşim Bölgelerinin Güçlendirilmesi	9
1.3.1.4. Perdelerin Güçlendirilmesi	10
1.3.1.5. Temelin Güçlendirilmesi	11
1.3.2. Taşıyıcı Sistemin Yeni Elemanlarla Güçlendirilmesi.....	11
1.3.2.1. Yapı İçi Güçlendirme Yöntemleri	13
1.3.2.1.1. Taşıyıcı Sisteme Çerçeve Düzlemi İçinde Perde Eklenmesi.....	13
1.3.2.1.2. Taşıyıcı Sisteme Çerçeve Düzlemi İçinde Eksenel Perde Eklenmesi	14
1.3.2.1.3. Taşıyıcı Sistem İçinde Bölme Duvar Güçlendirmesi.....	14

1.3.2.1.4. Taşıyıcı Sistem İçinde Çelik Diyagonal Elemanlarla Güçlendirme	15
1.3.2.2. Yapı Dışından Uygulanan Güçlendirme Yöntemleri	15
1.3.2.2.1. Yapı Dışından Çerçeve Düzlemine Bitişik Perde (Dış Perde) Eklenmesi	16
1.3.2.2.2. Yapı Dışından Uzaysal Çerçeveler Eklenmesi	16
1.3.2.2.3. Yapı Dışından Payandalar Eklenmesi	17
1.3.3. Yapı Performansının Gelişmesini Sağlayan Diğer Teknikler	17
1.4.Literatür Çalışması	19
1.4.1. Mevcut Elemanların Güçlendirilmesiyle İlgili Yapılan Çalışmalar	19
1.4.1.1.Kirişlerin Güçlendirilmesiyle İlgili Yapılan Çalışmalar	19
1.4.1.2.Kolonların Güçlendirilmesiyle İlgili Yapılan Çalışmalar	21
1.4.1.3.Kolon-Kiriş Birleşim Bölgelerinin Güçlendirilmesiyle İlgili Yapılan Çalışmalar	23
1.4.2.Taşıyıcı Sistem Güçlendirmesiyle İlgili Yapılan Çalışmalar	25
1.4.2.1. Taşıyıcı Sistemin Çelik Elemanlarla Güçlendirilmesiyle İlgili Yapılan Çalışmalar	26
1.4.2.2. Taşıyıcı Sistemin Lif Takviyeli Kompozitlerle Güçlendirilmesiyle İlgili Yapılan Çalışmalar	27
1.4.2.3. Taşıyıcı Sistemin Dolgu Duvar İlave Edilerek Güçlendirilmesiyle İlgili Yapılan Çalışmalar	30
1.4.2.4. Taşıyıcı Sistemin Perde Elemanlarla Güçlendirilmesiyle İlgili Yapılan Çalışmalar	33
1.4.2.4.1.Taşıyıcı Sistemin Dış Perde Elemanlarla Güçlendirilmesiyle İlgili Yapılan Çalışmalar	37
1.4.3. Literatür Değerlendirmesi	45

2.BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Deney Numuneleri	47
2.1.1. Deney Numunelerinin Boyutları	48
2.1.2. Deney Numunelerinin Ölçeklendirilmesi	50
2.1.2.1. Ölçeklendirilmiş Deney Numunelerine Ait Çizimler	53
2.1.3. Deney Numunelerinin İmal Edilmesi	62
2.2. Deney Numunelerinin Malzeme Özellikleri	69
2.2.1.Beton Numune Deneyleri	69
2.2.1.1.Beton Basınç Dayanımı	69

2.2.1.2.Beton Yarmada Çekme Dayanımı	77
3.2.2. Donatı Çeliği Akma Dayanımı	77
2.3. Deney Düzenegi ve Ölçüm Elemanları.....	81
2.3.1.Eksenel Yükleme Düzenekleri.....	83
3.3.2.Yatay Yükleme Düzenegi.....	88
2.3.3. Ölçüm Elemanları	91
2.3.3.1.Yük Ölçümleri.....	92
2.3.3.2.Potansiyometrik Cetvel ve LVDT	93
2.3.3.3.Strain Gauge.....	94
2.3.3.4.Veri Toplama Sistemi	96
2.4.Deney Düzenegi Kurulumu	97
2.5. Deneylerin Uygulanması.....	114

3.BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1.Deneysel Bulgular	116
3.1.1.Deneysel Yükleme Programları	117
3.1.2.Deneysel Kuvvet Deplasman İlişkisi	122
3.1.3. Deneysel Dayanım Zarfı.....	124
3.1.4. Deneysel Rijitlik Azalımı	125
3.1.5. Deneysel Eğim Açısı Grafiklerinin Çizilmesi.....	127
3.1.6. Deneysel Tüketilen Enerji.....	128
3.1.7. Deneysel Düktilite Grafikleri	140
3.1.8. Deneysel Çatlak Gelişimi	142
3.1.9. Deneysel Birim Deformasyon Ölçümü	217
3.2. Deneysel Verilerin Karşılaştırılması	263
3.2.1. Deneysel Kuvvet Deplasman İlişkisinin Karşılaştırılması.....	264
3.2.2. Deneysel Dayanım Zarf Eğrilerinin Karşılaştırılması	267
3.2.3. Deneysel Rijitlik Azalım Grafiklerinin Karşılaştırılması.....	270
3.2.4. Deneysel Eğim Açısı Grafiklerinin Karşılaştırılması.....	273
3.2.5. Deneylerde Tüketilen Enerji Grafiklerinin Karşılaştırılması.....	276
3.2.6. Kümülatif Enerji Tüketim Grafiklerinin Karşılaştırılması	279

4.BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1.Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi	282
4.2.Öneriler	286
KAYNAKÇA	288
ÖZGEÇMİŞ.....	302



KISALTMALAR ve SİMGELER

Ac	: Kolon kesit alanı
bw	: Genişlik
CFRP	: Karbon fiber takviyeli kompozit
dB	: Desibel
f _{ck}	: Karakteristik beton basınç dayanımı
f _{cm}	: Beton numunelerin basınç dayanımı
F	: Yatay yük değeri
FRP	: Fiber takviyeli kompozit
GÇ	: Göçme sınırı
GÇN	: Güçlendirilmiş Çerçeve Numunesi
GV	: Güvenlik sınırı
H	: Kat yüksekliği
H _w	: Perde yüksekliği
h	: Kolonun yüksekliği
HÇN	: Hasarlandırılmış Çerçeve Numunesi
HGÇN	: Hasarlı Güçlendirilmiş Çerçeve Numunesi
kN	: Kilo Newton
l	: Uzunluk
l _w	: Perde uzunluğu
LP	: Lifli polimer
LTK	: Lif takviyeli kompozit
LVDT	: Linear Variable Differential transformer
m	: Metre
mm	: Milimetre
miliV	: Milivolt
MPa	: Mega Pascal
MN	: Minimum hasar sınırı

N	: Newton
Nd	: TS500'e göre kesitin taşıyabileceği maksimum eksenel yük
PVC	: Polivinil Klorür (Plastik)
RÇN	: Referans Çerçeve Numunesi
TDY- 2007	: Türk Deprem Yönetmeliği 2007
TRM	: Tekstil takviyeli kompozit
TS 500	: Betonarme yapıların tasarım ve yapım kurallarına ilişkin Türk standartı
TS EN 206-1	: Betonların hazır beton tesislerinde üretimlerine ilişkin Türk standartı
TS EN 12390-6	: Beton: Sertleşmiş beton deneyleri ilişkin Türk standartı
TS-708	: Betonarme çelik çubuklarına ilişkin Türk standartı
UV	: Ultra Viole ışın
Δ_{max}	: Maksimum deplasman
Δ_y	: Akma deplasmanı
Ω	: Direnç birimi Ohm
δ	: Ötelenme hareketi
ε	: Birim deformasyon
ε_{cu}	: Beton ve Donatı çeliği için basınç kısalması (Minimum hasar sınırı)
ε_{cg}	: Beton ve Donatı çeliği için basınç kısalması (Göçme ve Güvenlik sınırı)
ε_s	: Donatı Çeliği için çekme uzaması
θ	: Eğim açısı
μ	: Düktilite katsayısı
ρ	: Donatı oranı
ρ_{min}	: Minimum donatı oranı
ρ_{max}	: Maksimum donatı oranı
σ	: Standart sapma
$\emptyset$	: Donatı çapı
ϕ	: Rijitlik değeri

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Deney yapılış sırası ve deney numunelerinin özellikleri.....	48
Tablo 2.2.	Pratik gerçek model ölçekleme katsayıları.....	51
Tablo 2.3.	Pratik ve gerçek model ölçekleme katsayıları kullanılarak ölçeklenen deney modelleri	52
Tablo 2.4.	Küp numuneler için TS500'e göre temel beton basınç dayanımı	70
Tablo 2.5.	Küp numuneler için TS EN 206-1'e göre temel beton basınç dayanımı	70
Tablo 2.6.	Küp numuneler için TS500'e göre çerçeve beton basınç dayanımı ...	70
Tablo 2.7.	Küp numuneler için TS EN 206-1'e göre çerçeve beton basınç dayanımı	71
Tablo 2.8.	Küp numuneler için TS500'e göre perde beton basınç dayanımı	71
Tablo 2.9.	Küp numuneler için TS EN 206-1'e göre perde beton basınç dayanımı	71
Tablo 2.10.	Silindir numuneler için TS500'e göre temel beton basınç dayanımı .	73
Tablo 2.11.	Silindir numuneler için TS EN 206-1'e göre temel beton basınç dayanımı	73
Tablo 2.12.	Silindir numuneler için TS500'e göre çerçeve beton basınç dayanımı	73
Tablo 2.13.	Silindir numuneler için TSEN 206-1'e göre çerçeve beton basınç dayanımı	74
Tablo 2.14.	Silindir numuneler için TS500'e göre perde beton basınç dayanımı .	74
Tablo 2.15.	Silindir numuneler için TS EN 206-1'e göre perde beton basınç dayanımı	74
Tablo 2.16.	Silindir numuneler için TS EN 12390-6'ya göre çekme dayanımları	77
Tablo 2.17.	Kullanılan donatı çeliklerinin karakteristik özellikleri.....	78
Tablo 2.18.	Deney düzeneğini oluşturan elemanlar	102
Tablo 3.1.	Deney numunelerinin duktilite katsayılarının karşılaştırılması.....	141
Tablo 3.2.	Elemanlarda ilk çatlakların oluştuğu döngüler.....	142
Tablo 3.3.	1.Deney numunesinde döngülerde gözlenen davranış.	145
Tablo 3.4.	2.Deney numunesinde döngülerde gözlenen davranış	161
Tablo 3.5.	3.Deney numunesinde döngülerde gözlenen davranış.	171

Tablo 3.6.	4.Deney numunesinde döngülerde gözlenen davranış	188
Tablo 3.7.	TDY 2007'ye göre birim şekil değiştirme ve görelî kat ötelemesi sınırları.....	219
Tablo 3.8.	1.Deney için farklı hasar sınırlarında kolonlardaki birim deformasyonlar	226
Tablo 3.9.	2.Deney için farklı hasar sınırlarında kolonlardaki birim deformasyonlar	234
Tablo 3.10.	3.Deney için farklı hasar sınırlarında kolonlardaki birim deformasyonlar	241
Tablo 3.11.	3.Deney farklı hasar sınırlarında perdelerdeki birim deformasyonlar	248
Tablo 3.12.	4.Deney için farklı hasar sınırlarında kolonlardaki birim deformasyonlar	255
Tablo 3.13.	4.Deney için farklı hasar sınırlarında perdelerdeki birim deformasyonlar	262
Tablo 3.14.	Deneylerde kullanılan çerçevelerin akma yükü ve deplasmanları. ..	266
Tablo 3.15.	Deney numunelerinin yatay yük taşıma kapasitelerinin karşılaştırılması	268
Tablo 3.16.	Deney numunelerinin rijitliklerinin karşılaştırılması.	271
Tablo 3.17.	Deney numunelerinin enerji tüketim kapasitelerinin karşılaştırılması.....	277

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Yapılar için geliştirilen sismik iyileştirme stratejisi	4
Şekil 1.2.	Sismik güçlendirme kavramı	5
Şekil 1.3.	Kirişlerin güçlendirilmesinde lifli dokuma ve lifli şerit kullanımı	6
Şekil 1.4.	Kiriş mantolanmasında donatılarda sürekliliğin sağlanması	7
Şekil.1.5.	Kolonun betonarme ile mantolanması uygulaması.....	8
Şekil.1.6.	Kolonun lifli polimer (LP) ile sarılması.....	9
Şekil 1.7.	Betonarme çerçeve güçlendirme türleri ile yapı davranışının değişimi.	12
Şekil 1.8.	Güçlendirme amacıyla yerinde dökme perde uygulaması	14
Şekil 1.9.	Güçlendirme amacıyla yapıya dıştan uzaysal çerçeve sistem eklenmesi.....	16
Şekil.1.10.	İstanbul Üniversitesi'nde dış payandalar ile güçlendirilmiş bina uygulaması	17
Şekil 1.11.	Yapıların sismik izolasyonu için kullanılan elemanlar.....	19
Şekil 2.1.	Çerçeve numunelerinin kalıp planı	49
Şekil 2.2.	Bağ kirişli dış perde uygulamasıyla güçlendirilmiş çerçeve numunelerinin kalıp planı.....	50
Şekil 2.3.	Çerçeve numunelere ait temel aplikasyon planı	53
Şekil 2.4.	Çerçeve numunelerin x ve y doğrultularına ait temel donatıları.....	54
Şekil 2.5.	Perde numunelerinin x ve y doğrultularına ait temel donatıları	54
Şekil 2.6.	Perde numunelerine ait temel aplikasyon planı	55
Şekil 2.7.	Çerçeve numunelerine ait temel donatı detayları.....	56
Şekil 2.8.	Perde numunelerine ait temel donatı detayları.....	56
Şekil 2.9.	Çerçeve kolonları ve perde elemanları için etriye detayları	56
Şekil 2.10.	Çerçeve numunelerine ait kolon aplikasyon planı	57
Şekil 2.11.	Çerçeve numunelerine ait kolon kesiti donatı detayı.....	57
Şekil 2.12.	Perde numunelerine ait aplikasyon planı	58
Şekil 2.13.	Perde numunelerine ait donatı detayı.....	58
Şekil 2.14.	Perde elemanlarıyla güçlendirilmiş çerçeve numunelerine ait kolon aplikasyon planı.....	59
Şekil 2.15.	Çerçeve numunelerine ait kalıp planı	59
Şekil 2.16.	Dış perdeyle güçlendirilmiş çerçeve numunelerine ait kalıp planı.....	60

Şekil 2.17.	Çerçeve numunelerine ait kiriş donatı detayları	60
Şekil 2.18.	Çerçeve numunelerine ait kiriş donatı detayları	61
Şekil 2.19	Çerçeve numunelerini dış perde ile bağlayan çelik bağ kirişlere ait kesit ve birleşim detayları	61
Şekil 2.20.	Deney numunelerinin temelleri için kalıpların hazırlanması.....	62
Şekil 2.21.	Deney numunelerinin temel donatılarının yerleştirilmesi ve kolon-perde filizlerinin bağlanması.....	62
Şekil 2.22.	Deney numunelerinin temelleri içine PVC boruların yerleştirilmesi	63
Şekil 2.23.	Deney numune temelleri içine kancaların bağlanması	63
Şekil 2.24.	Deney numune temellerinin betonlarının dökülmesi.....	63
Şekil 2.25.	Deney numunelerine ait temeller	64
Şekil 2.26.	Üst yapı için donatıların hazırlanması	64
Şekil 2.27.	Strain gaugelerin hazırlanışı ve montajı	65
Şekil 2.28.	Üst yapıların donatı ve kalıplarının hazırlanması	66
Şekil 2.29.	Deney numunelerinin betonarme taşıyıcı sistemlerinin imal edilmesi ..	67
Şekil 2.30.	Deney numunelerinden beton numunesi alınması ve kür havuzuna bırakılan numuneler.....	68
Şekil 2.31.	Deney numunelerinin yapı mekaniği laboratuvarına taşınması.....	68
Şekil 2.32.	Küp numunelerin beton basınç deneyi.....	72
Şekil 2.33.	Silindir numunelere kükürt başlık yapılması ve uzama okumaları için saat bağlanması.....	72
Şekil 2.34.	Dış ortamda bekletilen silindirik çerçeve beton numunelerin gerilme şekil değiştirme grafikleri.	75
Şekil 2.35.	Kür havuzunda bekletilen silindirik çerçeve beton numunelerin gerilme şekil değiştirme grafikleri.....	75
Şekil 2.36.	Dış ortamda bekletilen silindirik perde beton numunelerin gerilme şekil değiştirme grafikleri	75
Şekil 2.37.	Kür havuzunda bekletilen silindirik perde beton numunelerin gerilme şekil değiştirme grafikleri.....	76
Şekil 2.38.	Dış ortamda bekletilen silindirik temel beton numunelerin gerilme şekil değiştirme grafikleri.	76
Şekil 2.39.	Kür havuzunda bekletilen silindirik temel beton numunelerin gerilme şekil değiştirme grafikleri.....	76

Şekil 2.40.	Beton yarmada çekme dayanımı deneyi	77
Şekil 2.41.	Donatı çeliklerinin çekme dayanımı deneyi	78
Şekil 2.42.	Ø4 çapında nervürlü donatılardan alınan kuponların gerilme şekil değiştirme grafiği	79
Şekil 2.43.	Ø6 çapında nervürsüz donatılardan alınan kuponların gerilme şekil değiştirme grafiği	79
Şekil 2.44.	Ø8 çapında nervürsüz donatılardan alınan kuponların gerilme şekil değiştirme grafiği	79
Şekil 2.45.	Ø8 çapında nervürlü donatılardan alınan kuponların gerilme şekil değiştirme grafiği	80
Şekil 2.46.	Ø12 çapında nervürlü donatılardan alınan kuponların gerilme şekil değiştirme grafiği	80
Şekil 2.47.	Ø14 çapında nervürlü donatılardan alınan kuponların gerilme şekil değiştirme grafiği	80
Şekil 2.48.	Referans çerçeve deney modeli ve düzeneğinin üç boyutlu gösterimi ..	82
Şekil 2.49.	Dış perde ile güçlendirilmiş çerçeve ve deney modeli ve düzeneğinin üç boyutlu gösterimi.....	82
Şekil 2.50.	Deney çerçevelerinde her bir kolon için eksenel yük değeri	83
Şekil 2.51.	Deneylerde kullanılan eksenel yükleme düzeneği	83
Şekil 2.52.	Deneylerde kullanılan eksenel yükleme çerçevesi	84
Şekil 2.53.	Eksenel yükleme düzeneği kolon aplikasyon planı	85
Şekil 2.54.	Eksenel yükleme düzeneği konstrüksiyon planı	86
Şekil 2.55.	Eksenel yükleme düzeneği kesit ve detayları	86
Şekil 2.56.	Eksenel yükleme çerçevesi konstrüksiyon planı.....	87
Şekil 2.57.	Eksenel yükleme çerçevesi mesnet detayı	88
Şekil 2.58.	Temel ve beton kütle ankraj detayı	88
Şekil 2.59.	Deneylerde kullanılan yatay yükleme levhaları.....	89
Şekil 2.60.	Yatay yükleme düzeneği yan görünüş	90
Şekil 2.61.	Yatay yükleme düzeneği kesit ve detayları	90
Şekil 2.62.	Yatay yükleme düzeneği planı.....	90
Şekil 2.63.	Yatay yükleme düzeneği ön görünüş.....	90
Şekil 2.64.	Yatay yükleme düzeneği arka görünüş.....	91
Şekil 2.65.	Deneylerde kullanılan veri toplama (Data Logger) sistemi.....	91

Şekil 2.66.	Cihaz ve ölçüm aletlerinin yerleşim planı	92
Şekil 2.67.	Deneylerde kullanılan yük hücreleri	92
Şekil 2.68.	Deneylerde kullanılan potansiyometrik cetveller.....	93
Şekil 2.69.	Deneylerde kullanılan LVDT	94
Şekil 2.70.	Deney numunelerine yerleştirilen strain gaugeler	95
Şekil 2.71.	FLAB-6 ve FLAB-2 strain gaugeler	95
Şekil 2.72.	Deney alanı ve deney alanına taşınan numuneler	97
Şekil 2.73.	Deney numunelerinin rijit döşeme üzerine ankrajlanması.....	97
Şekil 2.74.	Yatay yükleme düzeneklerinin deney numunelerine sabitlenmesi.....	98
Şekil 2.75.	Eksenel yükleme düzeneği ve çerçevesinin yerleştirilmesi.....	99
Şekil 2.76.	Yatay yükleme için kullanılan hidrolik krik o ve bağlantı detayı.....	100
Şekil 2.77.	Ölçüm cihazlarının montaj ve bağlantılarının yapılması	101
Şekil 2.78.	Strain Gauge köprü kablolarının bağlantılarının yapılması	101
Şekil 2.79.	Strain Gauge köprü kablolarının bağlantılarının yapılması	102
Şekil 2.80.	Çerçeveleri güçlendirme perdelerine bağlayan çelik bağ kirişlerin montajı	108
Şekil 2.81.	Çerçevelerin güçlendirme perdeleriyle bağlandığı deneylerde düşey yükleme düzeneğinin kurulması.....	108
Şekil 2.82.	Çerçevelerin güçlendirme perdeleriyle bağlandığı deneylerde yatay yükleme levhalarının montajı.....	109
Şekil 2.83.	Yatay yükleme levhalarının perdeler e bağlanması	109
Şekil 2.84.	Çerçevelerin güçlendirme perdeleriyle bağlandığı deneylerde kullanılan transmisyon millerine manşonlu ek yapılması	110
Şekil 2.85.	Çerçevelerin güçlendirme perdeleriyle bağlandığı deneylerde kullanılan yatay yükleme düzeneğinin kurulması	111
Şekil 2.86.	Çerçevelerin güçlendirme perdeleriyle bağlandığı deneylerde kullanılan ölçüm düzeneğinin kurulması	112
Şekil 2.87.	Güçlendirme deneylerinde kullanılan veri toplama (Data Logger) sistemi	112
Şekil 2.88.	Hasarlı çerçevenin dış perdelerle güçlendirilmesi deneyinde kullanılan deney düzeneği.....	113
Şekil 2.89.	Hasarsız çerçevenin dış perdelerle güçlendirilmesi deneyinde kullanılan deney düzeneği.....	113

Şekil 3.1.	Deneylerin ve deney modellerinin isimlendirilmesi	116
Şekil 3.2.	1. Deneyin yatay yük ve tepe deplasmanına göre yükleme geçmişi.....	118
Şekil 3.3.	2. Deneyin yatay yük ve tepe deplasmanına göre yükleme geçmişi.....	119
Şekil 3.4.	3. Deneyin yatay yük ve tepe deplasmanına göre yükleme geçmişi.....	120
Şekil 3.5.	4. Deneyin yatay yük ve tepe deplasmanına göre yükleme geçmişi.....	122
Şekil 3.6.	Tüm deneylere ait çerçevelerde yatay kuvvet-deplasman ilişkisi (Histerisis Eğrileri).	123
Şekil 3.7.	Güçlendirme deneylerinde kullanılan perdelerde yatay kuvvet-deplasman ilişkisi (Histerisis Eğrileri)	123
Şekil 3.8.	Tüm deneyler için çerçevelere ait dayanım zarf eğrileri	124
Şekil 3.9.	Güçlendirme deneylerinde kullanılan perdeler için dayanım zarf eğrileri.	125
Şekil 3.10.	Tüm deneyler için çerçevelere ait rijitlik azalım grafikleri	126
Şekil 3.11.	Güçlendirme deneylerinde kullanılan perdeler için rijitlik azalım grafikleri	126
Şekil 3.12.	Tüm deneyler için çerçevelere ait eğim açısı grafikleri.....	127
Şekil 3.13.	Güçlendirme deneylerinde kullanılan perdeler için eğim açısı grafikleri	128
Şekil 3.14.	1.Deney için çerçeveye ait döngü başına düşen enerji miktarları.....	129
Şekil 3.15.	2.Deney için çerçeveye ait döngü başına düşen enerji miktarları.....	130
Şekil 3.16.	3.Deney için çerçeveye ait döngü başına düşen enerji miktarları.....	132
Şekil 3.17.	4.Deney için çerçeveye ait döngü başına düşen enerji miktarları.....	133
Şekil 3.18.	3.Deney için perdeye ait döngü başına düşen enerji miktarları.	135
Şekil 3.19.	4.Deney için perdeye ait döngü başına düşen enerji miktarları	136
Şekil 3.20.	Tüm deneyler için çerçevelere ait kümülatif enerji tüketim grafikleri.	138
Şekil 3.21.	Güçlendirme deneylerinde kullanılan perdeler için kümülatif enerji tüketim grafikleri.....	138
Şekil 3.22.	Tüm deneyler için çerçevelere ait tüketilen enerji grafikleri	139
Şekil 3.23.	Güçlendirme deneylerinde kullanılan perdeler için tüketilen enerji grafikleri	139
Şekil 3.24.	Tüm deneyler için çerçevelere ait düktilite grafiklerinin çizimi.....	141
Şekil 3.25.	Güçlendirme deneylerinde kullanılan perdeler için düktilite grafiklerinin çizimi.....	141

Şekil 3.26.	Deney modellerinde eleman isimlendirilmesi ve yükleme yönleri.....	143
Şekil.3.27.	1.Deney (Referans Çerçeve) başlangıcında taşıyıcı sistemin görünümü	144
Şekil 3.28.	1.Deneyde 13.döngü sonunda referans çerçevede çatlak gelişimi.....	151
Şekil 3.29.	1.Deneyde 19.döngü sonunda referans çerçevede çatlak gelişimi.....	154
Şekil 3.30.	1.Deney sonunda (26.Döngü) referans çerçevede izlenen çatlak gelişimi	157
Şekil 3.31.	1.Deney için kolonların itme yüzü çatlak skalası	158
Şekil 3.32.	1.Deney için kolonların çekme yüzü çatlak skalası	158
Şekil 3.33.	1.Deney (Referans Çerçeve) sonunda taşıyıcı sistemin görünümü.	159
Şekil 3.34.	1.Deney 19.döngüde döşemelerde çatlak oluşumu.....	159
Şekil 3.35.	2.Deney başlangıcında taşıyıcı sistemin görünümü.....	160
Şekil 3.36.	2.Deney sonunda (19.Döngü) hasarlandırılan çerçevede izlenen çatlak gelişimi.....	167
Şekil 3.37.	2.Deney için kolonların itme yüzü çatlak skalası	168
Şekil 3.38.	2.Deney için kolonların çekme yüzü çatlak skalası	168
Şekil 3.39.	2.Deney sonunda taşıyıcı sistemin görünümü	169
Şekil 3.40.	2.Deney sonunda S3 kolonu ve bu kolonun birleştiği kirişlerin durumu	169
Şekil 3.41.	3.Deney başlangıcında taşıyıcı sistemin görünümü.....	170
Şekil 3.42.	3.Deney sonunda (41.Döngü) dış perde ile güçlendirilen hasarlı çerçevede izlenen çatlak gelişimi.....	177
Şekil 3.43.	3.Deney sonunda (41.Döngü) hasarlı çerçevede güçlendirme için kullanılan dış perdelerde izlenen çatlak gelişimi.	179
Şekil 3.44.	3.Deney için kolonların itme yüzü çatlak skalası	180
Şekil 3.45.	3.Deney için kolonların çekme yüzü çatlak skalası.	180
Şekil 3.46.	3.Deney için perdelerin itme yüzü çatlak skalası.....	181
Şekil 3.47.	3.Deney için perdelerin itme yüzü çatlak skalası.....	181
Şekil 3.48.	Çerçeve ve dış perdeleri birbirlerine bağlayan bağ kirişlerin ankrajları.....	182
Şekil 3.49.	3.Deneyde güçlendirme için kullanılan 2 nolu dış perde tabanından kopan boyuna donatılar	183

Şekil 3.50.	3.Deneyde güçlendirme için kullanılan 2 nolu dış perde tabanından dökülen kabuk betonu	184
Şekil 3.51.	3.Deneyde güçlendirme için kullanılan 1 nolu dış perde tabanındaki ayrılma miktarının ölçülmesi	184
Şekil 3.52.	3.Deneyde güçlendirme için kullanılan 1 nolu dış perde tabanındaki ayrılma ve tabanda burkulan donatılar	185
Şekil 3.53.	3.Deney sonunda çelik bağ kirişlerle bağlanan dış perdelerle güçlendirilmiş taşıyıcı sistemin görünümü..	186
Şekil 3.54.	4.Deney başlangıcında taşıyıcı sistemin görünümü.....	187
Şekil 3.55.	4.Deney sonunda (42.Döngü) dış perde ile güçlendirilen hasarsız çerçevede izlenen çatlak gelişimi.....	194
Şekil 3.56.	4.Deney sonunda (42.Döngü) hasarsız çerçevede güçlendirme için kullanılan dış perdelerde izlenen çatlak gelişimi	196
Şekil 3.57.	4.Deney için kolonların itme yüzü çatlak skalası	197
Şekil 3.58.	4.Deney için kolonların çekme yüzü çatlak skalası	197
Şekil 3.59.	4.Deney için perde itme yüzü çatlak skalası.....	198
Şekil 3.60.	4.Deney için perde çekme yüzü çatlak skalası.....	198
Şekil 3.61.	P1 perdesinin tabanı-temel birleşim bölgesindeki ayrılma.....	199
Şekil.3.62.	4.Deney sonunda çelik bağ kirişlerle bağlanan dış perdelerle güçlendirilmiş taşıyıcı sistemin görünümü	200
Şekil 3.63.	40. itme döngüsünde D1 ve D3 döşemelerinde gelişen çatlaklar.	200
Şekil 3.64.	S101 kolonu çekme yüzü çatlak gelişimi.....	201
Şekil 3.65.	S101 kolonu itme yüzü çatlak gelişimi.....	201
Şekil 3.66.	S102 kolonu çekme yüzü çatlak gelişimi.....	202
Şekil 3.67.	S102 kolonu itme yüzü çatlak gelişimi.....	203
Şekil 3.68.	S103 kolonu çekme yüzü çatlak gelişimi.....	204
Şekil 3.69.	S103 kolonu itme yüzü çatlak gelişimi.....	204
Şekil 3.70.	S104 kolonu çekme yüzü çatlak gelişimi.....	205
Şekil 3.71.	S104 kolonu itme yüzü çatlak gelişimi.....	206
Şekil 3.72.	S105 kolonu çekme yüzü çatlak gelişimi.....	207
Şekil 3.73.	S105 kolonu itme yüzü çatlak gelişimi.....	207
Şekil 3.74.	S106 kolonu çekme yüzü çatlak gelişimi.....	208
Şekil 3.75.	S106 kolonu itme yüzü çatlak gelişimi.....	209

Şekil 3.76.	S107 kolonu çekme yüzü çatlak gelişimi.....	210
Şekil 3.77.	S107 kolonu itme yüzü çatlak gelişimi.....	210
Şekil 3.78.	S108 kolonu çekme yüzü çatlak gelişimi.....	211
Şekil 3.79.	S108 kolonu itme yüzü çatlak gelişimi.....	212
Şekil 3.80.	S109 kolonu çekme yüzü çatlak gelişimi.....	213
Şekil 3.81.	S109 kolonu itme yüzü çatlak gelişimi.....	213
Şekil 3.82.	P1 perdesi çekme yüzü çatlak gelişimi	214
Şekil 3.83.	P1 perdesi itme yüzü çatlak gelişimi	215
Şekil 3.84.	P2 perdesi çekme yüzü çatlak gelişimi	216
Şekil 3.85.	P2 perdesi itme yüzü çatlak gelişimi.	216
Şekil 3.86.	Kolonlara ve perdelere temel seviyesinde yerleştirilen strain gaugeler	217
Şekil 3.87.	Çerçevelerin kolonlarına yerleştirilen strain gaugeler	218
Şekil 3.88.	Perdelere yerleştirilen strain gaugeler.....	218
Şekil 3.89.	1.Deney yatay yük ve kolon boyuna donatı birim şekil değiştirme eğrisi.	220
Şekil 3.90.	1.Deney için yatay yük ve kolon etriye birim şekil değiştirme eğrisi.	221
Şekil 3.91.	1.Deney için kolon boyuna donatı birim şekil değiştirme zaman grafığı	222
Şekil 3.92.	1.Deney için kolon etriye birim şekil değiştirme zaman grafığı.....	223
Şekil 3.93.	1.Deney için kolon boyuna donatı birim şekil değiştirme ötelenme oranı eğrisi.....	224
Şekil 3.94.	1.Deney için kolon etriye birim şekil değiştirme ötelenme oranı eğrisi	225
Şekil 3.95.	2.Deney için yatay yük ve kolon boyuna donatı birim şekil değiştirme eğrisi	228
Şekil 3.96.	2.Deney için yatay yük ve kolon etriye birim şekil değiştirme eğrisi .	229
Şekil 3.97.	2.Deney için kolon boyuna donatı birim şekil değiştirme zaman grafığı	230
Şekil 3.98.	2.Deney için kolon etriye birim şekil değiştirme zaman grafığı.....	231
Şekil 3.99.	2.Deney için kolon boyuna donatı birim şekil değiştirme ötelenme oranı eğrisi	232

Şekil 3.100.	2.Deney için kolon etriye birim şekil değiştirme ötelenme oranı eğrisi.....	233
Şekil 3.101.	3.Deney için yatay yük ve kolon boyuna donatı birim şekil değiştirme eğrisi.....	235
Şekil 3.102.	3.Deney için yatay yük ve kolon etriye birim şekil değiştirme eğrisi	236
Şekil 3.103.	3.Deney için kolon boyuna donatı birim şekil değiştirme zaman grafiği.	237
Şekil 3.104.	3.Deney için kolon etriye birim şekil değiştirme zaman grafiği.....	238
Şekil 3.105.	3.Deney için kolon boyuna donatı birim şekil değiştirme ötelenme oranı eğrisi.....	239
Şekil 3.106.	3.Deney için kolon etriye birim şekil değiştirme ötelenme oranı eğrisi.....	240
Şekil 3.107.	3.Deney için yatay yük ve perde boyuna donatı birim şekil değiştirme eğrisi.....	242
Şekil 3.108.	3.Deney için yatay yük ve perde enine donatı birim şekil değiştirme eğrisi.....	243
Şekil 3.109.	3.Deney için perde boyuna donatı birim şekil değiştirme zaman grafiği	244
Şekil 3.110.	3.Deney için perde enine donatı birim şekil değiştirme zaman grafiği.	245
Şekil 3.111.	3.Deney için perde boyuna donatı birim şekil değiştirme ötelenme oranı eğrisi.....	246
Şekil 3.112.	3.Deney için perde enine donatı birim şekil değiştirme ötelenme oranı eğrisi.....	247
Şekil 3.113.	4.Deney için yatay yük ve kolon boyuna donatı birim şekil değiştirme eğrisi.....	249
Şekil 3.114.	4.Deney için yatay yük ve kolon etriye birim şekil değiştirme eğrisi	250
Şekil 3.115.	4.Deney için kolon boyuna donatı birim şekil değiştirme zaman grafiği..	251
Şekil 3.116.	4.Deney için kolon etriye birim şekil değiştirme zaman grafiği.....	252
Şekil 3.117.	4.Deney için kolon boyuna donatı birim şekil değiştirme ötelenme oranı eğrisi.....	253

Şekil 3.118. 4.Deney için kolon etriye birim şekil değiştirme ötelenme oranı eğrisi	254
Şekil 3.119. 4.Deney için yatay yük ve perde boyuna donatı birim şekil değiştirme eğrisi.....	256
Şekil 3.120. 4.Deney için yatay yük ve perde enine donatı birim şekil değiştirme eğrisi	257
Şekil 3.121. 4.Deney için perde boyuna donatı birim şekil .değiştirme .zaman .grafığı	258
Şekil 3.122. 4.Deney için perde enine donatı birim şekil değiştirme zaman grafiği	259
Şekil 3.123. 4.Deney için perde boyuna donatı birim şekil değiştirme ötelenme oranı eğrisi.....	260
Şekil 3.124. 4.Deney için perde enine donatı birim şekil değiştirme ötelenme oranı eğrisi.....	261
Şekil 3.125. 1.Deneyin yatay kuvvet- deplasman grafiklerinin diğer deneylerle karşılaştırılması.	264
Şekil 3.126. Tüm deneylerin yatay kuvvet- deplasman grafiklerinin karşılaştırılması	265
Şekil 3.127. 3.ve 4. Deneyde kullanılan perdelerin yatay kuvvet-deplasman grafiklerinin karşılaştırılması	266
Şekil 3.128. 1.Deneyin dayanım zarf eğrilerinin diğer deneylerle karşılaştırılması	267
Şekil 3.129. Tüm deneylerin dayanım zarf eğrilerinin karşılaştırılması.....	269
Şekil 3.130. 3. ve 4. Deneyde kullanılan perdelerin dayanım zarf eğrilerinin karşılaştırılması	269
Şekil 3.131. 1.Deneyin rijitlik azalım grafiklerinin diğer deneylerle karşılaştırılması	270
Şekil 3.132 Tüm deneylerin rijitlik azalım grafiklerinin karşılaştırılması.....	272
Şekil 3.133. 3. ve 4. Deneyde kullanılan perdelerin rijitlik azalım grafiklerinin karşılaştırılması.	272
Şekil 3.134. 1.Deneyin eğim açısı grafiklerinin diğer deneylerle karşılaştırılması	273
Şekil 3.135. Tüm deneylerin eğim açısı grafiklerinin karşılaştırılması.	274
Şekil 3.136. 3. ve 4. Deneyde kullanılan perdelerin eğim açısı grafiklerinin karşılaştırılması	275

Şekil 3.137. 1.Deneyin tüketilen enerji grafiklerinin diğer deneylerle karşılaştırılması	276
Şekil 3.138. Tüm deneylerin tüketilen enerji grafiklerinin karşılaştırılması	278
Şekil 3.139. 3. ve 4. Deneyde kullanılan perdelerin tüketilen enerji grafiklerinin karşılaştırılması	278
Şekil 3.140. 1.Deneyin kümülatif enerji tüketim grafiklerinin diğer deneylerle karşılaştırılması.	279
Şekil 3.141. Tüm deneylerin kümülatif enerji tüketim grafiklerinin karşılaştırılması	281
Şekil 3.142. 3. ve 4. Deneyde kullanılan perdelerin kümülatif enerji tüketim grafiklerinin karşılaştırılması	281

GİRİŞ

Ülkemiz, deprem kuşağı açısından oldukça aktif bir bölgede yer almasına rağmen son yıllarda meydana gelen depremlerden sonra yapılan incelemeler, özellikle deprem bölgelerinde inşa edilen yapıların birçoğunun yeterli dayanıma sahip olmadığını göstermiştir. Deprem sonrasında hasar görmemiş ve halen kullanımda olan yapıların büyük bir kısmının da yeterli dayanıma sahip olmadıkları görülmüştür. Bu nedenle daha önce meydana gelen depremlerde yaşanan ağır can ve mal kayıplarının önlenmesi ve betonarme binaların deprem davranışlarının iyileştirilmesi için çeşitli güçlendirme yöntemleri uygulanmaktadır. Ancak mevcut birçok güçlendirme çalışmasında güçlendirme işlemleri süresince binanın kullanımı engellenmekte, aynı zamanda bina içinde yapılan güçlendirmeler ağır ek maliyet getirmektedir. Bu nedenle hem konut türündeki binaların hızlı ve uygun bir şekilde güçlendirilmesini sağlamak; hem de okul, hastane gibi sürekli kullanımda olan ve boşaltılması mümkün olmayan kamu binalarını güçlendirmek için etkili ve pratik güçlendirme yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Böylece binanın dayanım ve rijitliğini artırmak, deprem davranışındaki olumsuzlukları gidererek davranışı iyileştirmek amacıyla sisteme dışarıdan perde ilave edilmesi üzerine kurulu alternatif güçlendirme yöntemleri tercih edilebilmektedir.

Tez çalışması kapsamında; üç boyutlu, tek katlı, iki açıklıklı betonarme taşıyıcı sisteme sahip üç adet çerçeve üretilmiş ve üretilen bu çerçevelerden bir tanesi referans olarak seçilirken; kalan ikisinden biri hasarlı bir diğeri hasarsız olarak çelik bağ kirişlerle dış perdelerle bağlanmak suretiyle güçlendirilmiştir. Literatürdeki mevcut çalışmalara bakıldığında ise güçlendirme uygulamasının bina dışına çıkarıldığı ilk sistematik güçlendirme yönteminin “dış perde uygulaması” olduğu görülmektedir. Ancak bu çalışmaların büyük kısmı iki boyutlu çerçeveler için yapılan deneylerle gerçekleştirilmiştir. Üç boyutlu modellerle yapılan deneylerde ise dış çelik perde kullanımı, taşıyıcı sistem ve perdelerin bağ kirişsiz bağlanması gibi eleman, malzeme ve

bağlantı şekli açısından farklılıklar mevcuttur. Böylece üç boyutlu modeller üzerinde yapılan deneysel çalışmalar ışığında gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmiş olup hem çerçevelere hem de güçlendirilmiş sisteme ait gerçek davranışı net bir şekilde kavrayarak analitik çalışmalarda kullanılmak üzere daha daha fazla ve doğru parametre elde etmek mümkün olacaktır.

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere modellenen numuneler deney düzenekleri ve laboratuvar imkânları göz önünde bulundurularak $\frac{1}{2}$ geometrik ölçekli, tek katlı, x ve y yönünde iki açıklıklı, betonarme taşıyıcı sistemli çerçevelerdir. Bununla birlikte betonarme çerçeveler, ülkemizde uygulamada yaygın olarak görülen bir takım hata ve kusurlara sahip şekilde üretilmiştir. Betonarme perdeler ise yine $\frac{1}{2}$ geometrik ölçekli, her bir temel üzerinde iki tane olmak üzere toplamda dört adet üretilmiştir. Betonarme çerçevelerle betonarme perdeleri birbirine bağlayan bağ kirişler içinse çelik profil kullanımı tercih edilmiştir.

Tez çalışması kapsamında deneylerin tümü Erciyes Üniversitesi Melikgazi Belediyesi Deprem Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasıyla; referans çerçeve deneyi, referans çerçeveyle özdeş numunenin minimum hasar sınırı ile güvenlik hasar sınırı arasında güvenlik hasar sınırına daha yakın olduğu bir seviyede hasarlandırılması, söz konusu hasarlı çerçevenin çelik bağ kirişli dış perdelerle güçlendirilmesi ve son olarak hasarsız çerçevenin aynı şekilde çelik bağ kirişli dış perdelerle güçlendirilmesi deneyleri şeklinde yürütülmüştür.

Deprem etkisini simule eden tersinir-tekrarlanır yatay yükler, betonarme taşıyıcı sisteme akma gerçekleşene kadar yük kontrollü, akma gerçekleşikten sonra ise deplasman kontrollü olarak verilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi için LVDT, Potansiyometrik Cetvel ve Strain Gauge okumaları yapılmıştır. Ayrıca her bir itme ve çekme döngüsü sonrasında deneyler durdurularak meydana gelen çatlak gelişimi izlenmiş ve kayıt altına alınmıştır. Deneysel çalışma sonuçlarından elde edilen veriler hem ayrı ayrı değerlendirilmiş hem de kendi aralarında bir karşılaştırma yapılmıştır. Böylece bir takım kusurlara sahip hasarlı/hasarsız betonarme yapıların çelik bağ kirişli dış perdelerle güçlendirilmesi sonucu sahip olduğu deprem davranışı ortaya konmuştur. Bu sonuçlar ışığında devamı çalışmalar için bazı önerilerde bulunulmuştur.

1.BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Betonarme yapılar ömürleri boyunca zati ağırlık ve hareketli yüklerin yanı sıra deprem ve rüzgâr etkileri gibi büyük ve beklenmedik dış etkilere maruz kalabilmekte ve meydana gelen yapısal hasarlardan ya da yetersizliklerinden dolayı taşıma kapasitelerinin artırılması gereği ortaya çıkabilmektedir. Betonarme bir yapının taşıyıcı sisteminde, proje veya yapım aşamasındaki hata ve kusurlar yapının yük taşıma kapasitesini önemli oranda azaltabilmektedir. Bu durum özellikle yapıların deprem gibi doğal afetler karşısında dayanımını oldukça düşürmektedir. Bu nedenle 2007 yılında yayınlanan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik ile taşıyıcı sistem için dikkate alınacak deprem kuvvetleri artırılmış ve deprem performans kriterleri yeniden düzenlenmiştir. Ancak yeterli mühendislik hizmeti olmaması veya yapım kusurları nedeniyle ülkemizde, yönetmeliklere ve mühendislik prensiplerine uymayan önemli miktarda yapı stoğu mevcuttur. Kusurlara sahip yapılar depremlerde daha fazla zorlanarak hasara uğradığından, en çok can ve mal kaybının yaşandığı yapılardır. Ancak bu yapıların deprem öncesinde henüz hasar görmeden ya da hasar gördükten sonra ve/veya güçlendirme işlemleri yardımıyla dayanım ve rijitliklerini artırmak suretiyle, yapı yönetmeliklerde öngörülen kullanım amacına ulaşabilmektedir.

1.1.Onarım ve Güçlendirme Kavramları

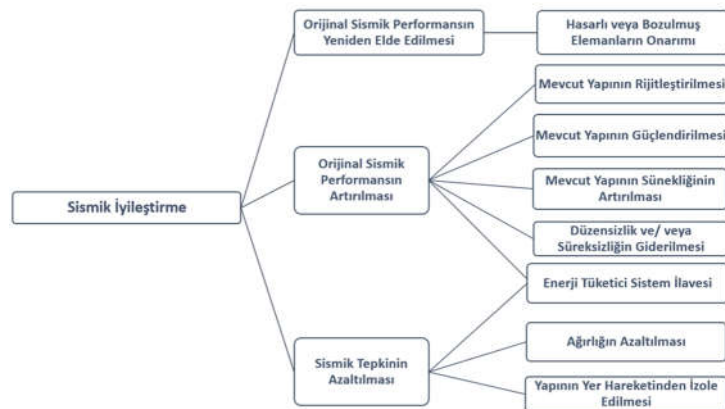
Depreme karşı dayanımı zayıf yapılarda veya deprem sonrası hasarların olduğu yapılarda, yetersizlikleri ve hasarları gidermek, yapıları güvenli olarak kullanılabilir duruma getirmek gerekmektedir. Bu amaçla söz konusu yapının veya yapı elemanlarının onarımı ve/veya güçlendirilmesi uygulamalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Yapının kullanım amacının değişmesi, eski yönetmeliklere göre yapılan yapıların yetersiz kalması yapıların projelendirme ve yapım aşamasında yönetmeliklere uygun olarak yapılmadığı durumlarda yapıların hasar görmeden güçlendirilmesi de mümkün olmaktadır

Güçlendirme, bir yapının yük taşıma kapasitesini, rijitliğini, sünekliğini ve stabilitesini veya bunlardan bazılarını, hasar öncesi veya hasar sonrası istenilen düzeye çıkarmak amacıyla yapılan değişikliklerdir. Onarım ise; hasar görmüş bir yapı veya yapı elemanının, kapasitelerinin, rijitliklerinin ve dayanımlarının öngörülen yeterli güvenlik düzeyine çıkarmak için yapılan işlemlerdir. Güçlendirme ile onarım arasındaki temel farksa; onarım, hasar görmüş yapıya uygulanırken; güçlendirme hasarlı ya da henüz hasar görmemiş ancak taşıma gücünün yetersiz olduğu sonucuna ulaşılan yapılara uygulanır. Bir yapıda yapılabilecek onarım ve/veya güçlendirme ile iyileştirme işlemlerinin bütünü, “sismik iyileştirme” olarak adlandırılmaktadır [1].

1.2. Onarım ve Güçlendirme İlkeleri

Yukarıda bahsedildiği üzere sismik iyileştirmenin amacı; yapının hasar görmeden önceki performansına ulaştırılması (onarım), yapının taşıma gücünün orijinal performansının üstüne çıkarılması ve yapının depremde hasar görmesinin ve sismik tepkinin azaltılmasıdır (güçlendirme). Sismik iyileştirme stratejisi Şekil 1.1’ de şematik olarak gösterilmiştir [2]. Yapılara uygulanacak farklı güçlendirme sistemleri için uygulanabilecek temel ilkeler şunlardır:

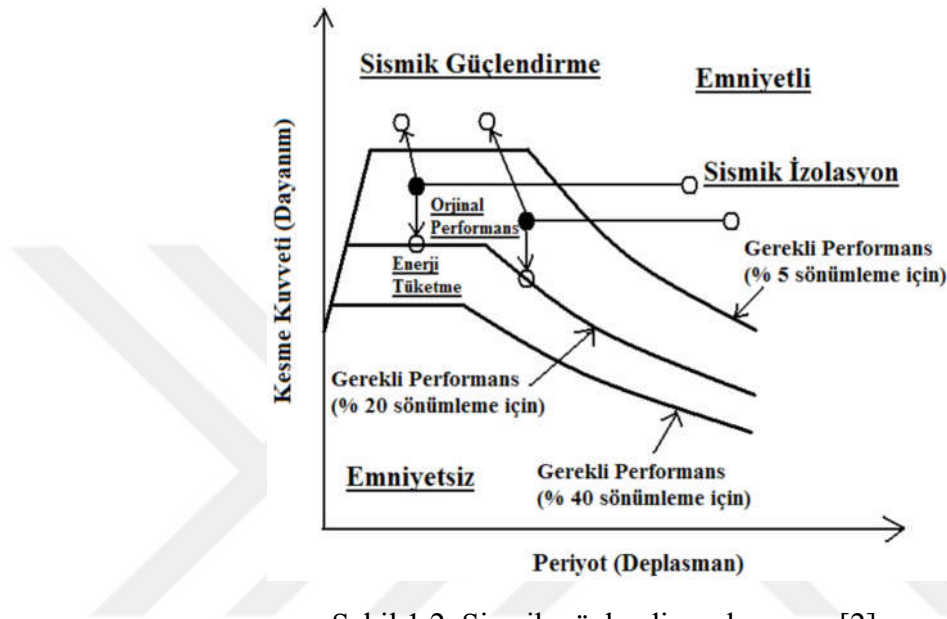
- ✓ Yapının dinamik özelliklerinin iyileştirilmesi,
- ✓ Yapının sünekliğinin artırılması,
- ✓ Yapının ağırlığının azaltılması,
- ✓ Yapının taşıma gücünün artırılması,
- ✓ Yapıdaki burulma etkilerinin azaltılmasıdır [3].



Şekil 1.1 Yapılar için geliştirilen sismik iyileştirme stratejisi [2].

1.3.Güçlendirme Yöntemleri

Sismik güçlendirme yönteminde üç temel amaç vardır. İlki yapının mevcut dayanımının artırılması, ikincisi yapının mevcut sünekliğinin artırılması, üçüncüsü ise hem mevcut dayanımın hem de sünekliğin artırılması olarak sıralanabilir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Sismik güçlendirme kavramı [2].

Güçlendirilmesine karar verilen bir bina, kendi içinde değerlendirilerek binaya uygun güçlendirme metodu seçilir. Taşıyıcı sistem bir bütün olarak güçlendirilirken, bazı elemanlarda kapasite eksikliği görülürse, bunların ayrıca güçlendirilmesi yoluna gidilir.

Betonarme yapıların güçlendirilmesi için gerçekleştirilen uygulamalar iki gruba ayrılırlar. Birincisi, yapının kolon, kiriş, perde ve kolon-kiriş birleşim bölgesi gibi deprem yüklerini karşılayan elemanların dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerinin artırılmasına yönelik olarak uygulanan işlemler eleman iyileştirilmesi olarak tanımlanmaktadır. İkincisi, yapının taşıyıcı sisteminin dayanım ve şekil değiştirme kapasitesinin artırılması ve iç kuvvetlerin dağılımında sürekliliğin sağlanması, binaya yeni elemanlar eklenmesi, birleşim bölgelerinin güçlendirilmesi, deprem etkilerinin azaltılması amacıyla binanın kütlelerinin azaltılması işlemleri olup sistem iyileştirilmesi ile güçlendirme olarak tanımlanır [4].

1.3.1.Mevcut Elemanların Güçlendirilmesi

Sismik iyileştirmede esas amaç; bazı çerçevelerin/elemanların ya da yapının tamamının kuvvetlendirilip, rijitleştirilmesidir. Mevcut bir betonarme yapının güçlendirilmesi, genel olarak betonarme perdeyle gerçekleştirilir. Taşıyıcı sistem bir bütün olarak güçlendirilirken, bazı elemanlarda kapasite eksikliği görülebilir ve bunların ayrıca güçlendirilmesi yoluna gidilir. Bu şekilde taşıyıcı elemanın sünekliği artırılarak eleman bazında hasar oluşumu geciktirilir. Eleman iyileştirmesinde elemanın sünek davranışı ile yapı sünekliği artırılır, yapının yatay yük taşıma kapasitesinde perde ilavesiyle güçlendirmeye göre ciddi bir değişim olmaz. Güçlendirme ile yapının hedef deplasmana ulaşması sağlanır. Yapısal elemanlar için yapılan bazı güçlendirme çalışmaları şu şekildedir.

1.3.1.1.Kirişlerin Güçlendirilmesi

Kirişlerde meydana gelebilecek göçmeler yapıda genelde bölgesel çökmelere neden olmakla birlikte, bazen de yapının tamamının çökmesine sebep olabilirler. Güçlendirme işlemi genellikle kirişin eğilme momenti ya da kesme kuvveti taşıma kapasitesinin artırılması amacıyla yapılır. Bu amaçla dayanımı yeterli olmayan kirişler çelik elemanlar ile sarılma, Lifli polimer ile sarma ve kirişlerin mantolanması gibi farklı şekillerde güçlendirilirler. Günümüzde yaygın olarak kullanılan Lifli polimer yönteminde, kompozit malzemelerin diğer malzemelere göre yüksek dayanım; UV ışınlarına, alkali maddelere ve asitlere karşı dayanıklılık ve lineer elastik davranışa sahip olma gibi pek çok avantaja sahip olduğu bilinmektedir. Şekil 1.3.'de görüldüğü gibi lifli polimerin enine yerleştirilmesi kirişlerde kesmeye karşı kullanılırken, boyuna yerleştirilmesi ise kirişlerin eğilme kapasitelerinin artırılması işlemi için kullanılır [5].



lifli dokuma



lifli şerit

Şekil 1.3.Kirişlerin güçlendirilmesinde lifli dokuma ve lifli şerit kullanımı [5].

Kirişlerin hem kesme dayanımlarının hem de eğilme kapasitelerinin arttırılması amacıyla mevcut kirişe yeni bir betonarme katman eklenmesi işlemine betonarme mantolama denilmektedir. Bu işlem sırasında dikkat edilmesi gereken en temel husus eski kiriş ile yeni kiriş arasında tam bir aderansın oluşması ve kiriş donatılarının eğilmeyi alabilecek şekilde komşu açıklıklara devam ettirilmesidir. Bunun içinde mevcut kirişte sıvanın iyice sıyırılması ve çekirdek betonun temizlenmesi, mevcut kirişin çekirdek betonunda çentikler açılması, eklenecek donatının komşu açıklıklarda da devam etmesini sağlamak ya da bir sarsıntı halinde yeni manto donatılarının betondan sıyrılmadan kolon içine ve komşu kirişe devam ettirilmesi gereklidir.

Bunun dışında kiriş içinde olması gereken sargı donatısının, çelik bantlar kullanılarak elemanın dışından sağlandığı bir yöntem olan çelik mantolama yöntemi de mevcuttur. Çelik manto, kolonun dört köşesine oturtulan çelik köşebentlerin, belirli sıklıkta çelik lamalarla birleştirilmesiyle oluşturulur. Lamalar köşebentlere kaynaklanarak birleştirilir. Bu tür mantoda önemli olan, düşey olarak köşelere yerleştirilen köşebentlerin, üstte ve altta konulan plakalarla betonarme elemanlara sıkıca oturtulmasıdır. Çelik manto, dört köşesine giydirilen çelik köşebentlerin sağladığı alanla kolonun eksenel yük kapasitesini artırır. Enine düzenlenen lamalar, sık olarak yerleştirilir ve altına konulan harçla lamaların beton yüzeye tam olarak yaslanması sağlandığında bu imalat kolonun sünekliğini de artırmaktadır [6].

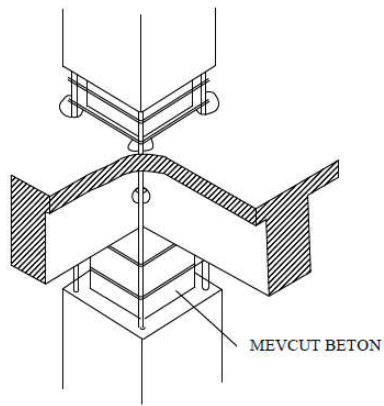


Şekil 1.4. Kiriş mantolanmasında donatılarda sürekliliğin sağlanması [6].

1.3.1.2. Kolonların Güçlendirilmesi

Kapasitesi yetersiz bir kolonun taşıma kapasitesi, kesit alanının büyütülmesiyle ve yeni boyuna donatılar ilave edilerek artırılabilir. Örneğin; kolonda eğilme kapasitesinin

artırılması bekleniyorsa, kolona eklenen yeni boyuna donatıların katlar arasında sürekliliğinin sağlanması gereklidir. Buna karşılık, kesme kapasitesi dayanımı ve sünekliği, enine donatının sıklaştırılmasıyla gerçekleştirilir. Ayrıca amaç sadece sünekliğe katkıda bulunulması ise çelik lamalarla kolon eksenel yük taşıma kapasitesi artırılabilir. Kolonun taşıma gücü çelik şeritler kullanılarak arttırılsa da; yaygın olarak kullanılan yöntem, kolonun mantolanmasıdır [3].



Şekil.1.5. Kolonun betonarme ile mantolanması uygulaması [3].

Kolonun uygulamadaki durumuna göre betonarme mantolama uygulamaları farklı şekillerde olabilmektedir. Tüm çevreyi kaplayan bir mantolama ile mevcut ve yeni beton arasında tam bir kuvvet iletişimi sağlanabilir. Tüm çevrenin mantolanmaması durumunda, mevcut kolonun boyuna donatısının ve etriyesinin meydana çıkarılarak, yeni donatılarla mevcut donatıların bağlantısının yapılması gereklidir. Kolonun normal ve kesme kuvvet kapasitelerinin artırılmasında, manto donatılarının döşemeyi delerek kiriş-kolon birleşim bölgesini geçmesine ihtiyaç olmayabilir. Ancak, bu durumda kolonun moment kapasitesi arttırılmadığı gibi birleşim bölgesi de güçlendirilmemiş olur [7].

Kolonların güçlendirilmesi için kullanılan yöntemlerden bir diğeri de kolonların lifli polimerle sarılmasıdır. Yöntemde Lifli Polimer tabakasının kolonların çevresine, lifler enine donatılara paralel olacak şekilde, sarılması ve yapıştırılması ile sargılama sağlanır (Şekil 1.6). Lifli Polimer sargısı ile betonarme kolonların süneklik kapasitesi, kesme ve basınç dayanımları ile boyuna donatı bindirme boyunun yetersiz olduğu durumlarda donatı kenetlenme dayanımı arttırılır. Ancak kolon rijitliği değişmediğinden sistem içinde

kuvvet değişimi de olmaz. Yapıya ek bir ağırlık getirmediğinden yapıya etkiyecek deprem kuvvetinde bir artış yaşanmaz.



Şekil.1.6. Kolonun lifli polimer (LP) ile sarılması [7].

Kolon kesitleri için lifli polimer sargılama ile yapılan güçlendirmelerde tam sargı (tüm kesit çevresinin sarılması) yöntemi kullanılarak sargı sonunda en az 200 mm bindirme yapılmalıdır. Ayrıca Lifli Polimer sarılacak dikdörtgen kolonun çekirdek kısmına ulaşp kolon köşelerinin en az 30 mm yarıçapında yuvarlatılması gerekmektedir. Aksi takdirde lifli polimer bezi köşelerde oluşacak keskin uçlardan dolayı yırtılabilir ve kolona herhangi bir katkı sağlamamış olur. Tıpkı kirişlerde olduğu gibi kolonlarda da Lifli Polimer uygulaması üretici firma tarafından önerilen yöntemle uygun olarak gerçekleştirilmelidir [8]. Kolonların güçlendirilmesi çalışmalarında yukarıda anlatılan yöntemlere ilave olarak özellikle elemanlar ve katlar arası moment aktarımından ziyade eksenel yük kapasitesinin arttırılmak istendiğı durumlarda çelik sargı ile güçlendirme yöntemi de tercih edilmektedir. Çelik sargı dikdörtgen betonarme kolonların köşelerine dört adet boyuna köşebent yerleştirilmesi ve köşebentlerin belirli aralıklarla düzenlenen yatay plakalarla kaynaklanması ile oluşturulur. [9].

1.3.1.3. Kolon-Kiriş Birleşim Bölgelerinin Güçlendirilmesi

Depremde en fazla hasar gören kiriş-kolon birleşim bölgeleri, taşıyıcı sistemin en çok zorlanan ve donatıların yerleştirilmesi veya ankrajı düğüm bölgesinin dar oluşu nedeniyle güçlendirilmesi en zor olan kısımlarını oluşturur. Bu durumun başlıca nedenleri arasında birleşim bölgelerinde, kesme kuvveti dayanımının ve donatı kenetlenmesinin yetersiz

oluşu gösterilmektedir. Bu nedenlerle birleşim bölgelerine; mantolama, lifli polimer ile sargılama ve çelik şerit veya levhalarla güçlendirme işlemleri uygulanmaktadır.

Kolon-kiriş birleşim bölgelerin dayanımının arttırılmasında günümüzde en sık başvurulan uygulama lifli polimerler ile sargılamadır. Son yıllarda, kolon-kiriş birleşim bölgelerinin, kesme ve aderans kaybına yönelik olarak yapılan güçlendirme uygulamalarının, yapının davranışının gelişmesinde oldukça fazla etkisinin olduğu sonucu ortaya konulmuştur. Yapılan bu çalışmalar neticesinde kolon-kiriş birleşim bölgelerinin lifli polimerlerle güçlendirilmesiyle önemli derece dayanım, rijitlik ve süneklilik artırımı elde edildiği gözlenmiştir [10].

1.3.1.4. Perdelerin Güçlendirilmesi

Deprem yüklerinin karşılanmasında perdeler yüksek taşıma gücü sebebiyle yapının en önemli elemanlarından biridir. Perdeler yapının yanal ötelenmelerini büyük ölçüde kısıtlayarak ikinci mertebe momentlerinden dolayı kesitlerin daha çok zorlanmasını önlerler. Betonarme perdelerde hasarlar, genellikle kayma ve eğilme taşıma gücünün yetersizliğinden veya büyük boşluklu perdelerde bağ kirişlerinin yetersizliğinden kaynaklanabilmektedir. Sonuç olarak yukarıda belirtilen nedenlerle perdelerin onarım ve güçlendirilmesinin titizlikle yapılması önemlidir [11].

Perdelerde kesme mukavemeti yetersiz ise perde kalınlığı arttırılır. Eğilme momenti mukavemeti yetersiz ise perdenin her iki ucuna da flanşlar eklenir. Eğer her iki durum da yetersiz ise hem gövde kalınlığının arttırılır hem de perde uçlarına flanş eklenmesi yapılır. Perdelerde beton ezilmesi veya donatı burkulması varsa, kolonlarda uygulanan onarım ve güçlendirme yöntemi burada da kullanılabilir. Kapı gibi boşlukların doldurulması ile sağlanan ek taşıma gücü kapasitesi yeterli olabilmektedir [7].

Perdelerin güçlendirilmesi için kullanılan yeni malzemelerin mukavemetleri mevcut malzemelerden az olmamalıdır. Mevcut perdenin yüzü tamamen pürüzlendirilmeli ve yeni beton mevcut betona her doğrultuda en çok 60 cm aralıklarla epoksi ile tespit edilmiş kancalı dübeller yardımıyla bağlanmalıdır. Mümkünse perdelerin boyutları tüm katlarda aynı kalmalıdır [12].

1.3.1.5. Temelin Güçlendirilmesi

Temeller yapının zemin ile bağlantısını sağlayan, yapıdan gelen yükleri zemine aktaran ve zeminden gelen deprem yüklerini de yapıya ileten taşıyıcı elemanlardır. Ancak zeminde oluşan çökmeler, yapının depreme maruz kalması, kat ilavesi, gelen ölü yükün artması, uygulamada yapılan hatalar, değişen yönetmelikler ve yapıda ilave edilen yeni güçlendirme elemanları temelinin inşa edilmesi temellerin güçlendirilmesi gerekliliğini ortaya çıkarabilmektedir.

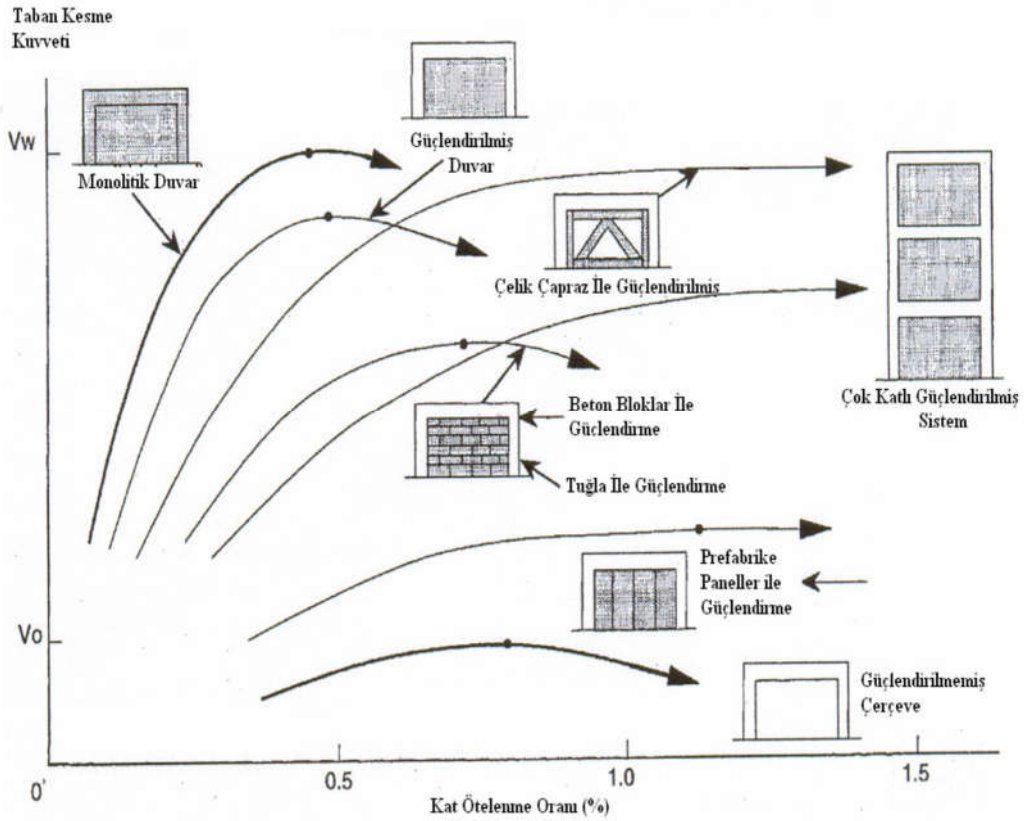
Temel sisteminin güçlendirilmesinde, mevcut temele ilave yapıldığı gibi, yeni temel düzenlenebilir veya temel zemini iyileştirilebilir. Yeni eklenecek temelerde dikkat edilmesi gereken en önemli husus dış merkezlik oluşturulmamasıdır. Mevcut temel ile yeni eklenecek temelin beraber çalışması için eklenecek donatıların mevcut donatılarla bağlantısının tam ve sağlam yapılması gerekmektedir. Yeni eklenecek beton tabakasının birbirine bağlanmasını sağlamak için kimyasallar kullanılabileceği gibi dışlar oluşturularak da bağlantının sağlamlığı artırılabilir [13].

1.3.2. Taşıyıcı Sistemin Yeni Elemanlarla Güçlendirilmesi

Mevcut bir yapının rijitliği ve yanal yük dayanımının artması taşıyıcı sisteme yeni elemanlar eklenmesiyle mümkün olmaktadır. Böylece yapının rijitliği arttırılarak deplasman talebi düşürülür. Sisteme yeni elemanların eklenmesi ile yapının yatay yük taşıma kapasitesi arttırılır. Yapının rijitliği arttığı için deplasman talebi de azalmaktadır. Eleman iyileştirmesinin tersine hedef deplasmana ulaşmak yerine hedef deplasmanın küçültülmesi sağlanır. Ancak tüm bu güçlendirme uygulamalarında dikkat edilmesi gereken önemli hususlar bulunmaktadır. Yöntem de kullanılacak yeni taşıyıcı eleman, mevcut yapının taşıyıcı sistemine ve hasar durumuna bağlıdır ve eklenen bu yeni eleman tüm sistemin deprem davranışını değiştirebilmektedir. Örneğin; eklenen yeni elemanlarla sistemin rijitliği artacağı için, genellikle deprem kuvvetleri de artar ve etkiler sistemde farklı bir dağılımla ortaya çıkar. Gerekli hesaplar ve kontroller yapılmadığı takdirde artan yapı rijitliği sonucunda yapıya etkiyen deprem yüklerinin de artmasıyla, önceden güvenli bir şekilde deprem yüklerini karşılayan elemanların güçlendirme uygulamasından sonra bu yükleri taşıyamama ihtimali bulunmaktadır. Söz konusu durumu önlemek amacıyla yeni eklenen elemanların yapı içinde düzgün dağıtılmasıyla etkilerin belirli bölgede yığılması ve istenmeyen burulma etkilerinin meydana gelmesi önlenmiş olur. Mevcut ve

yeni elemanlar arasındaki kuvvet geçişinin ve bütünleşmesinin sağlanması için ara bölgelerin özenle ele alınması ve projelendirilmesi gerekmektedir [14]. Sistem iyileştirmede belirli çerçevelere konacak perdeler, çelik çaprazlar veya dolgu duvarlarla istenen rijitlik ve dayanım sağlanır. Çerçeve içine yerleştirilen ve çerçeve elemanlarına bağlanan betonarme dolgu duvarlarla perdeli sistemler, ülkemizde en yaygın kullanılan deprem onarım/güçlendirme yöntemidir [7].

Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen taban kesme kuvveti – kat ötelemeleri oranına göre güçlendirme yöntemleri içinde en iyi performans gösteren sistem güçlendirme yönteminin betonarme perde ekleme olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte incelenen yapının davranışı dikkate alınarak güçlendirme projesi yapının mevcut durumu göz önüne alınarak diğer yöntemler tercih edilebilmektedir [10].



Şekil 1.7. Betonarme çerçeve güçlendirme türleri ile yapı davranışının değişimi [10].

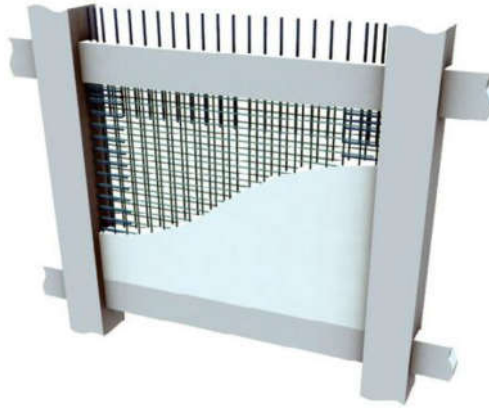
1.3.2.1. Yapı İçi Güçlendirme Yöntemleri

Mevcut yapı içinde yapılacak güçlendirme yöntemleri mevcut yapının dışında güçlendirme uygulaması yapılmasının mümkün olmadığı, yapının taşıyıcı sistemindeki bazı elemanlarının taşıma kapasitelerini kaybettiği, büyük açıklıkların olduğu, planda ve düşey doğrultuda düzensizlik durumlarının bulunduğu, gelebilecek deprem kuvvetlerini karşılayabilecek kapasiteye sahip olmadığı ve burulma etkisinin söz konusu olduğu yapılarda uygulanabilmektedir. Taşıyıcı sistemlerde yapı içinden yapılan güçlendirme yöntemleri; çerçeve içine perde ekleme ile yapılan güçlendirme, bölme duvarların güçlendirilmesi ve çelik elemanlarla güçlendirme olmak üzere üç şekilde yapılmaktadır [13].

1.3.2.1.1. Taşıyıcı Sisteme Çerçeve Düzlemi İçinde Perde Eklenmesi

Taşıyıcı sistem güçlendirmesinde özellikle yapı içi güçlendirme uygulamaları arasında en çok tercih edilen işlem perdelerle güçlendirme yöntemidir. Perde eklenmesi ile güçlendirme yöntemi, çok sayıda elemanın güçlendirilmesi gereken ve/veya yanal rijitliği yetersiz yapılarda ekonomik nedenlerden ötürü sıkça kullanılan bir güçlendirme yöntemidir. [15]. Çerçeve içine perde eklenmesi yapı dayanımını artırdığı gibi görece kat ötelemelerini de büyük ölçüde azaltmaktadır. Bu durum yapının titreşiminin küçülmesine ve titreşimden meydana gelebilecek hasarların önlenmesine de yardımcı olmaktadır.

Perde yerlerinin seçiminde, deprem yükleri altında ek burulma momenti meydana getirilmemesine, kütle ve rijitlik merkezlerinin olabildiğince yaklaşmasına özen gösterilmelidir. Yeni perdelerin yerlerinin, mevcut perde ve kolon düzenine dikkat edilerek belirlenmesi gerekmektedir [14]. Betonarme sisteme eklenecek perdeler çerçeve aksının içinde düzenlenmeli ve temelden başlayarak perde üst kotuna kadar sürekli olmalıdır. Bu amaçla, perde uç bölgesindeki boyuna donatıların ve gereği durumunda perde gövdesindeki boyuna donatıların perde yüksekliği boyunca sürekliliği sağlanmalıdır. [16].



Şekil 1.8 Güçlendirme amacıyla yerinde dökme perde uygulaması [16].

1.3.2.1.2. Taşıyıcı Sisteme Çerçeve Düzlemi İçinde Eksenel Perde Eklenmesi

Kolon ve kirişlerin oluşturduğu çerçeve gözlerindeki bölme duvarlar perdeye dönüştürülerek iyileştirme yapılabilir. Eksenel betonarme perde uygulaması kolon ve kiriş eksenleri arasında kaldıkları ve mimari düzeni en az rahatsız ettikleri için tercih edilebilirler [3]. Bölme duvarların perdeye dönüştürülmesi donatılı ve donatısız olarak iki farklı şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Donatısız dolgu duvarlarla perde uygulaması, pek güvenilir bir yöntem olmamakla birlikte çok küçük bir taşıma gücü artışı sağlamasına karşın, çerçevede duktilite artışı olmaz. Donatılı yığma duvarla perde yapılması, çerçeve boşluklarına örülen tuğla, beton, briket ve gaz beton vb. malzemeden üretilmiş duvarın her iki yüzüne hem yatay hem de düşey yönde donatıların yerleştirilmesi ile yapılır. Yöntemde yatay donatıların kolonlarda, düşey donatılarında kirişlerde açılan deliklerden geçirilerek, yapı yüksekliği boyunca sürekliliğinin sağlanması gerekmektedir.

1.3.2.1.3. Taşıyıcı Sistem İçinde Bölme Duvar Güçlendirmesi

Açıklıklarda bulunan bölme duvarlar, donatılı harç tabakası eklenmesi ile rijitlik ve dayanımı çok daha yüksek çerçeveler elde edilebilmektedir. Donatı olarak hasır çelik veya nervürlü donatı kullanılabilir. Bölme duvarların güçlendirilmesinde kuvvet aktarımı mevcut yatay ve düşey taşıyıcılara bağlanmış ankrajlarla sağlanmaktadır. Sistem güçlendirmesi amacıyla yerinde dökme betonarme duvar yapımı yerine hazır dökülmüş duvar elemanları da kullanılabilir. Hazır elemanlar standart açıklıklar varsa daha kullanışlı olabilir. Öte yandan yapıda onarılması gereken çok sayıda aynı boyutta çerçeve

açıklığı varsa hazır dökülmüş pano ile de dolgu yapılabilir. Ancak bunların yapı içinde insan gücü ile taşınabilir boyut ve ağırlıkta olması gerekir.

1.3.2.1.4. Taşıyıcı Sistem İçinde Çelik Diyagonal Elemanlarla Güçlendirme

Çelik elemanlarla sistem güçlendirmesi yönteminde çerçeve açıklığı içerisine çelik çerçeveler, çelik profiller veya çelik çaprazlar konularak güçlendirme yapılır. Diğer güçlendirme yöntemlerine göre çelik çerçevelerle yapılan güçlendirmelerde yapı ağırlığı çok fazla artmadığından yapıya etkiyecek deprem kuvvetleri de çok fazla artmayacaktır. Ancak yöntem çok kısa sürelerde uygulanabiliyor olmakla birlikte betonarme perdelerle göre yatay kuvvetlere karşı daha zayıf bir davranış göstermekte ve maliyeti daha fazla olmaktadır.

Çelik diyagonallerle güçlendirmede en önemli sorun, deprem sırasında düğüm noktalarıyla çelik diyagonaller arasındaki kuvvet aktarımının güvenli bir şekilde sağlanmasıdır. Diyagonallerin her katta düğüm noktalarındaki bağlantı elemanlarıyla bağlanmasıyla veya çelik çerçevelerde kirişlere dübeller yardımıyla bağlanmasıyla süreklilik elde edilmesi mümkündür [9].

1.3.2.2. Yapı Dışından Uygulanan Güçlendirme Yöntemleri

Yukarıda bahsedilen tüm güçlendirme yöntemleri, hasar görmüş ve/veya boşaltılmış binalar için uygun bir seçenek olmasına rağmen; kullanıcının binayı terk etme zorunluluğu yüzünden halen kullanımda olan ve deprem davranışı yönünden zayıflıklar içeren çok sayıda binanın güçlendirilmesi için kullanımı imkânsız ya da çok zor olmaktadır. Bu nedenle, kullanımda olan binaların güçlendirilebilmesi için binanın boşaltılmasını gerektirmeyen, mevcut binanın kullanımını aksatmayacak şekilde hızlı ve ekonomik bir yöntem olan yapı dışından güçlendirme yöntemleri geliştirilmektedir [2]. Ancak yöntemin kullanılabilmesi için yapı dışında gerekli alanın olması, yapının daha çok yanal rijitliğe sahip olması gerekliliğinin bulunması ve güçlendirme ile beraber yapıya estetik bir görünüm kazandırılmak istenmesi gerekmektedir. Diğer güçlendirme yöntemlerinde olduğu gibi bu yöntemde de güçlendirme işleminin mevcut yapıyla bütünlük göstermesi oldukça önemlidir. Sistem bazında yapı dışından uygulanan güçlendirme yöntemleri; çerçeveye bitişik perde ekleme ile yapılan güçlendirme, yapıya

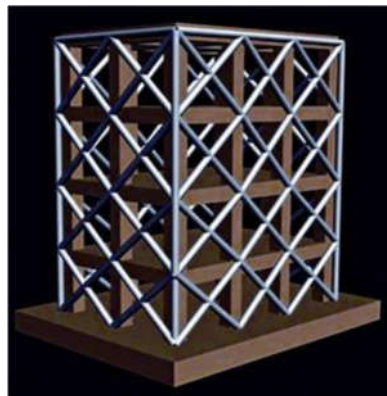
dışından uzay çerçeveler eklenmesi ile yapılan güçlendirme ve yapıya payandalar eklenmesi ile yapılan güçlendirme olarak üç farklı şekilde gerçekleştirilebilmektedir [13].

1.3.2.2.1. Yapı Dışından Çerçeve Düzlemine Bitişik Perde (Dış Perde) Eklenmesi

Yapı dışından çerçeve düzlemine bitişik perde eklenmesi uygulamasının temel amacı yapıya yanal doğrultuda gelebilecek deprem yüklerinin karşılanmasını sağlamaktır. Yöntemde eklenen dış perde duvarlar, binanın temelinden başlayarak en üst kata kadar aralıksız devam etmelidir. Perde duvarın çerçeve ile birlikte çalışmasını sağlamak amacıyla perdelerin bitişik oldukları çerçevelere ankraj çubukları ile bağlanması gerekmekte ve perdelerin sistemde oluşacak olan kuvvetleri güvenlikle zemine aktarabilmesi için perde temelleri tasarlanmalıdır. Perde temelini mevcut temel sistemi ile birlikte çalışması için gerekli önlemler alınmalıdır. Bununla birlikte perdeye ait donatıların bindirme boylarının iyi hesaplanması, yapıya yapılacak ankrajların yapı ile perdenin birlikte hareket etmesini sağlayacak tipte ve sayıda olması da gerekmektedir [4].

1.3.2.2.2. Yapı Dışından Uzay Çerçeveler Eklenmesi

Yapı dışına uzaysal çerçeve ekleme yöntemi de diğer dıştan güçlendirme yöntemlerine benzer şekilde yapının içinden müdahalenin yapılamadığı, yapının kullanım devamının gerekli olduğu ve bu sistemle yapının güçlendirilmesinin yapılabileceği durumlarda kullanılmaktadır. Bu yöntemin yapıya uygulanabilmesi için yapı dışında bir miktar alana ihtiyaç duyulmakta olup yapıya estetik bir görünüm kazandırması da mümkündür. (Şekil 1.9).



Şekil 1.9. Güçlendirme amacıyla yapıya dıştan uzaysal çerçeve sistem eklenmesi [17].

Güçlendirme işlemi, yapı dışına yeni çerçeveler eklemek suretiyle, yapıya gelen yanal deprem yüklerinin paylaşımı sağlanmaktadır. Yeni çerçevelerin mevcut binanın taşıyıcı sistemi ile birlikte çalışması için bu çerçeveler mevcut binanın döşemelerine gerekli yük aktarımını sağlayacak şekilde bağlanmalıdır [17]. Oluşturulacak elemanlar mevcut elemanlarla uygun ebatlarda olmalıdır. Kuvvet aktarımı için gerekli bağlantıların düzenlenmesi ve detaylandırılması özenle yapılmalıdır.

1.3.2.2.3. Yapı Dışından Payandalar Eklenmesi

Yapı dışından uygulanan sistem bazında güçlendirme yöntemlerinden bir diğeri de yapıya dıştan payandalar eklenmesidir. Diğer güçlendirme yöntemlerinde olduğu gibi bu yöntemde temel amacı yapıya gerekli yanal rijitlik ve sünekliği kazandırmaktır. Bu güçlendirme sistemi Şekil 1.10' da verilen üniversite binası örneğindeki gibi; yapının içinden müdahalenin yapılamadığı, yapının kullanımına devam edilmesi gereken durumlarda özellikle tercih edilmektedir. Payandaların simetrik olarak yerleştirilmesi, bağlantılarının kat hizasında olması, perde içinde başlık yapılması, yapının aynı cephesinde yapılacak payandaların birbirleriyle bağlantılarının olması ve payandaların altına temel sistemi yapılması yöntemin gereklerindendir [5].



Şekil 1.10. İstanbul Üniversitesi'nde dış payandalar ile güçlendirilmiş bina uygulaması.

1.3.3. Yapı Performansının Gelişmesini Sağlayan Diğer Teknikler

Yukarıda bahsedilen yöntemlerin dışında yapıya gelecek olan deprem yüklerinin etkisini azaltmaya yönelik ve güvenliğin artırılması için yapılan işlemlerdir. Bu işlemler; kütle azaltma, sismik izolasyon, kütle sönümleyicileri ve pasif enerji dağıtıcılar olarak sıralanabilir.

Kütle azaltma işleminde, yapıya etkiyen deprem kuvveti kütle ile orantılı olduğundan, yapının kütlelerinin azaltılmakta ve bu uygulama kimi durumlar için uygun ve etkili bir çözüm olmaktadır. Ancak yöntemin en büyük dezavantajı, yapının hafifletilmesi ile sismik yükler azaltıldığı için yapının periyodunun da değişmesi olmakla birlikte, yapı ve zemin özelliklerinin etkileşiminden kaynaklı olarak binaya tesir eden sismik yükler de değişeceğinden, söz konusu yaklaşımda sınırlı müdahale ve önlemler getirmektedir [10].

Sismik izolasyon yapının ve deprem ivmesinin özellikleri dikkate alınarak; yapının rijitliğini azaltmak, periyodunu ve sönümünü artırarak yapıya daha küçük deprem kuvvetlerinin gelmesini sağlamak ve yapının küçük veya orta şiddetli depremlerdeki hasarının önlenmesi ve şiddetli depremlerdeki hasarının da en aza indirgenmesini sağlamaktır. Bu yöntem mevcut yapılara uygulanabileceği gibi, yeni yapılacak yapılarda daha avantajlı biçimde kullanılabilir. Bu amaçla yapının dinamik özellikleri değiştirilerek depremde yapıya gelecek yatay yükün azaltılması hedeflenmektedir. Yapının sönümü artırılırsa yapıya gelen hem ivme hem de ötelenme azalacaktır. Böylelikle yapının rijitliği de azaltılır, periyodu büyütülürse de yapıya daha küçük bir deprem kuvveti gelmesi sağlanır. Yapının periyodunun 2-2.5 sn lere uzatılmasıyla, deprem kuvvetlerinde önemli bir azalma olmaktadır. İzolasyonlu sistemde yapının yer hareketini büyütme oranı 0.9-1.0 civarındayken izolasyonlu yapı rijit kütle hareketi yapmakta ve bu oran 3-6 kat arasına çıkmaktadır [8].

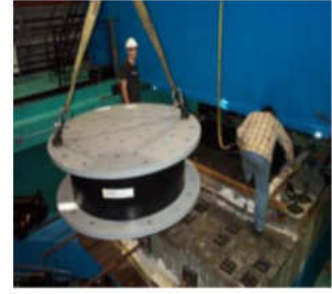
Sismik izolatörler yapıya gelecek deprem yüklerini yalıtarak sismik izolasyonu sağlamak amacıyla son yıllarda sıklıkla kullanılan yöntemlerden biridir. Şekil 1.11' deki gibi çelik ve lastik levhalardan oluşan bu düzenekler yapının temel sisteminin altına yerleştirilerek yapıda oluşacak olan temel periyodunu ve deplasman kabiliyetini artırmakta böylece deprem yüklerini azaltmaktadır. Kütle sönümleyicileri ise özellikle deprem yükleri altında salınımları fazla olan yüksek binalarda kullanılmakta olup, Şekil 1.11' deki gibi çelik kablo ve çelik malzemelerden oluşan elemanlardır. Sismik dalgalar halinde yapının salınım hareketinin tersi yönde hareket ederek yapının yapacağı deplasmanları azaltmak amacıyla kullanılmaktadırlar. Bunların dışında yapının elastik davranış sergilemesini sağlayarak, depremde etkiyecek yatay yükleri azaltan ayrıca depremde oluşacak enerjiyi sönümleyen pasif enerji dağıtıcıları da mevcuttur (Şekil 1.11) [8].



Sismik İzolatör



Kütle Damper



Pasif Enerji Dağıtıcılar

Şekil 1.11.Yapıların sismik izolasyonu için kullanılan elemanlar [8].

1.4.Literatür Çalışması

Güçlendirme uygulamaları için yapılan literatür çalışmaları eleman iyileştirilmesi ile güçlendirme ve sistem iyileştirilmesi ile güçlendirme olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmalar üç kısımda incelenmiştir. İlki, eleman düzeyinde güçlendirme ve ikincisi ise sistem düzeyinde güçlendirmedir. Son olarak, dış perdelerle güçlendirilmiş çerçevelerle ilgili yapılan çalışmalar kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır.

1.4.1. Mevcut Elemanların Güçlendirilmesiyle İlgili Yapılan Çalışmalar

Mevcut elemanların güçlendirilmesiyle ilgili yapılan çalışmalar sırasıyla kirişlerin, kolonların ve kolon-kiriş birleşim bölgesinin güçlendirilmesi başlıkları altında toplanmış ve aşağıda bu tekniklerin uygulanmasıyla ilgili bazı literatür çalışmaları sunulmuştur.

1.4.1.1.Kirişlerin Güçlendirilmesiyle İlgili Yapılan Çalışmalar

Kirişlerin güçlendirilmesiyle o kirişin eğilme momenti ya da kesme kuvveti taşıma kapasitesinin artırılması amaçlanmaktadır. Kirişlerin güçlendirilmesi sırasında komşu kolonlar da göz önüne alınarak, kuvvetli kiriş zayıf kolon türünden birleşim bölgesinin meydana getirilmemesine özen gösterilmelidir. Güçlendirme türü hasarın seviyesine bağlı olarak değişir. Kirişlerin güçlendirilmesi amacıyla, betonarme kesit eklenmesi ile hem eğilme hem kesme dayanımının artırılması gereken durumlarda ise betonarme mantolama tercih edilebilir. Aşağıda kirişlerin güçlendirilmesiyle ilgili yapılan önceki çalışmaların bir kısmı incelenmiştir;

Swamy et al (1987), epoksi ile yapıştırılan çelik levhalarla güçlendirilen kirişlerin yapısal davranışlarını incelenmiş ve güçlendirilen kirişlerin eğilme dayanımında %15 artış

gözlenmiştir [18]. Oehlers (1990) betonarme kirişlerin alt yüzlerine çelik levha yapıştırmak suretiyle güçlendirdiği kirişlerin eğilme ve kesme dayanımında artış eğilme çatlaklarının genişliğinde ise azalma tespit edilmiştir [19]. Tankut ve Arslan (1992) ise değişik tipte epoksi ile yapıştırılan çelik levhalarla güçlendirilen özdeş betonarme kiriş numuneleri üzerinde yaptıkları çalışmada; güçlendirme plakasının yeterince uzun olduğu ve plaka uçlarının kiriş donatısına kaynaklanarak ya da epoksili başlıklar kullanılarak yerinde tutulduğu kirişlerde yeterli dayanım düzeyine ulaşabileceği sonucuna varmışlardır [20]. Sharif et al. (1995) ise dış yüzüne çelik levha yapıştırmak suretiyle güçlendirdiği tüm kesme hasarlı betonarme kirişlerin dayanım değerlerinde artış gözlemlemiştir [21].

Triantafillou (1998), 1000×100×70 mm boyutlarında 11 adet betonarme kiriş üretmiş, 9 adet numune karbon LP kompozitlerle güçlendirmiş ve deney sonucunda, LP kompozitin, kesme kapasitesine katkısının elde edildiği bir model oluşturulmuştur [22]. Khalifa et al. (1998), LP kompozitler ile güçlendirilen betonarme kirişlerin kesme kapasitesini hesap eden iki farklı model önermişlerdir. Etkin birim şekil değiştirme modeli, çekme gerilmeleri sebebiyle LP kompozitin koptuğu gerilme seviyesinin tahminine, aderans kuvveti modeli ise beton yüzeyinden LP kompozitin sıyrıldığı yük seviyesinin tahminine dayanmaktadır [23].

Li et al. (2000) güçlendirilmiş betonarme kirişlerin davranışları üzerinde çelik levha ve yapıştırıcı tabaka kalınlığının etkisini incelediği çalışmasında, kirişin eğilme dayanımının yapışkan tabakanın kalınlığını artırmakla artmadığını, buna karşın çok yüksek yük değerlerinde çelik levha ve betondan meydana gelen gerilmenin yapıştırıcı tabakanın kalınlığının artırılmasıyla arttığını tespit etmiştir [24]. Adhikarya et al. (2000) ise kiriş yüzeylerine sürekli yatay çelik levha yapıştırarak yapılan güçlendirme tekniğinin kirişin kesme dayanımında etkili olduğunu belirlemiştir [25]. Barnes et al. (2001) ise betonarme kirişlerin kesme dayanımı açısından güçlendirmek için kullanılan dış çelik levha sistemini araştırmış ve yan yüzeylerine çelik levhalar bağlanan kirişlerin kesme kapasitelerinde büyük artış gözlemişlerdir [26]. Taşdemir ve Ozkul (2002), kesme dayanımı yetersiz olan kirişlerin güçlendirilmesinde, SIFCON adı verilen yüksek oranda kısa kesilmiş çelik tel içeren çimento bulamacı kullanmışlardır [27]. Altın et al. (2003, 2004) kelepçelerle güçlendirme yöntemi üzerine çalışmışlardır. Çalışmalar sonucunda; uygulanan

güçlendirme yönteminin etkili olduğu ve güçlendirme uygulanan numunelerin dayanım, rijitlik ve sünekliliklerinin arttığı görülmüştür [28]. Demirci vd. (2011), korniyer ve/veya lamaların epoksi reçinesiyle betonarme kirişlerin yan ve alt yüzeylerine yapıştırılması suretiyle yapılan güçlendirmenin kirişin eğilme davranışı üzerindeki etkisinin araştırılmasını amaçlamışlardır. Çalışma sonucunda diğer güçlendirme yöntemlerine kıyasla bu yöntemden daha iyi sonuçlar elde edilmesinin korniyer boyutlarıyla ilgili olduğu düşünülmektedir. [29].

Tekeli vd. (2015) kesme dayanımı yetersiz kiriş numunelerin yan yüzeylerine çift bileşenli epoksi ile üç farklı şekilde çelik plaka yapıştırarak güçlendirilmek suretiyle kesme kırılmasını önlemeyi amaçlamışlardır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuçlardan, kirişlerin kesmeye karşı güçlendirilmesinde epoksi ile çelik plaka yapıştırılması uygulamasının kullanılabilir bir yöntem olduğu sonucuna varmışlardır [30]

Tzoura ve Triantafillou (2016) “U” şekilli tekstil takviyeli kompozit (TRM) ve fiber takviyeli kompozit (FRP) çimento harcıyla kaplamak suretiyle güçlendirdikleri betonarme tablalı kirişlerin çevrimsel yük altında kesme dayanımlarını belirlemeye çalışmışlardır. Deneysel çalışmalarında TRM ve FRP arasında kesme dayanımına katkıları açısından bir karşılaştırma yapmışlardır [31].

1.4.1.2.Kolonların Güçlendirilmesiyle İlgili Yapılan Çalışmalar

Kolonların güçlendirilmesinin temel amacı, aksenal yük, moment ve kesme kuvveti taşıma güçlerinin artırılmasıdır. Bu işlem betonarme kesitin artırılmasıyla yapılabileceği gibi kolonun çelik bir kafes içine alınarak dayanımın artırılması da tercih edilebilir. Genel olarak kolon taşıma gücünün artırılması için kullanılan en yaygın yöntem “ Mantolama ” dır. Kolonun mantolanması ile, kolon enkesit alanı artırılırken donatı yüzdesi de bir miktar artırılmış olur. [7-8].

Özcan et al. (2008) çalışmalarında sünek olmayan betonarme kare kolonlar CFRP ile sargılanmıştır. 5 numunenin aksenal yük ve yanal deplasman değişimi belirlenmiştir. Betonarme kolonların plastik mafsallı bölgelerinin CFRP ile sargılanması, tabaka sayısına bağlı olarak kolonun deplasman davranışını iyileştirmekte, yatay yük kapasitesini %10-15 oranında artırmaktadır [32]. Özcan et al (2010) bir diğer çalışmada CFRP ile güçlendirilmiş dikdörtgen kolonların eğilme davranışını incelemiştir. Enine donatısı

yetersiz ve düşük beton basınç mukavemetine sahip 5 adet örnek göz önüne alınmıştır. CFRP ile güçlendirilmiş kolonlarda, güçlendirilmemişlere göre 3 kata kadar deplasman gözlemlenmektedir [33].

Valluvan et al. (1993), kolon bindirme bölgelerinin güçlendirilmesi için birtakım yeni yöntemlerin araştırılmasıyla ilgili bir çalışma sunmuşlardır. Çalışmada, 12 adet deney numunesi denenmiştir. Sonuçta, kolonun kuşatılması esas etken olarak görülmüştür [34].

Lynn et al. (1996), çalışmalarında 1/1 ölçekli depreme dayanımı zayıf olan 8 adet kolonun yatay ve düşey yük etkisinde deneylerini yürütmüşlerdir. Yapılan çalışmalar neticesinde, bindirmeli eki olan kolonlarda kesme kırılması gözlenmiş, bindirmeli ek bölgesinde yarılma çatlaklarının kolon eksenine doğru yayılarak ilerlemesinden sonra numunelerin kesme etkisiyle kırıldığı gözlemlenmiştir [35].

Yoshimura et al. (2000), 8 adet 1000×150×150 mm boyutlarına sahip betonarme kısa kolon numunesi üretmişlerdir. Boyuna donatı oranı, beton basınç dayanımı ve kullanılan karbon/LP oranı incelenen başlıca değişkenlerdir. Deneyler sonucunda, karbon LP kompozitlerle güçlendirilen numunelerde, gevrek kesme göçmesi gözlenmemiştir [36].

Ye et al. (2002), karbon lifli polimerler ile güçlendirilmiş kolonların davranışlarını incelemiş ve deney sonucuna dayanan bir model önermişlerdir [37].

Furuta et al. (2003), LP kompozitler ile güçlendirilen betonarme kolonların kesme kapasitesini hesap eden bir model önermişlerdir. Sonuçta, tahmin edilen göçme şekillerinin deney sonuçları ile %70 oranında uyduğu görülmüştür [38].

Faella et al. (2004), İtalya'da deprem etkisi göz önüne alınmaksızın projelendirilip uygulanan binalar üzerine araştırmalar yapmışlardır. İncelenen yapıların kolon ve kirişlerinin uç bölgelerinde yetersiz sargı donatısı vardır. Düğüm noktalarında enine donatı bulunmamaktadır. Yapılan analitik çalışma ile davranış değişimi incelenmiştir. Kolon ve kirişleri mantolanan çerçeveler, çelik çapraz ile güçlendirilen çerçevelere göre eleman bazında daha iyi bir davranış göstermiştir [39].

Kaish et al. (2016) betonarme kare kesitli kısa kolonların güçlendirilmesi üzerine bir deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sonuçta köşeleri iki ortası tek katmanlı olarak

güçlendirilmiş (SCT) kısa kolonların yük taşıma ve deformasyon kapasitesi açısından en iyi sonuçları verdiği görülmüştür [40].

Özdemir ve Ercan (2017) betonarme mantolama yöntemiyle güçlendirilmiş kolonların analizini akustik emisyon tekniği ile deneysel olarak araştırmışlardır. Sonuçta, deney elemanlarının akustik emisyon ile analizleri karşılaştırılmıştır [41].

1.4.1.3.Kolon-Kiriş Birleşim Bölgelerinin Güçlendirilmesiyle İlgili Yapılan Çalışmalar

Kolon-kiriş birleşim bölgeleri; depremde en fazla hasar gören, taşıyıcı sistemde en çok zorlanan ve güçlendirilmesi en zor olan kısımlarını oluşturur. Bunun başlıca nedeni farklı doğrultudaki elemanların o noktada birleşmesi ve kesit etkilerinin dengelenmesidir. Özellikle deprem yükleri etkisinde bu bölgede kesme kuvveti dayanımının ve donatı kenetlenmelerinin yeterli olmaması nedeniyle hasarlar görülür. Ayrıca, büyük şiddetteki depremlerde birleşim bölgesine birleşen kesitlerde meydana gelen plastik mafsallar sonucu büyük dönmeler, donatıda aderans çözülmesi sonucu kaymalar ve geniş çatlaklar oluşabilir. Hasarın yerel olması ve çatlaklar şeklinde görülmesi durumunda, epoksi reçinesi enjekte edilmesi onarım ve güçlendirme için yeterli olabilir. Aderansı çözülmüş donatının aderansının tekrar oluşturulması için de epoksi enjeksiyonu önerilir. Yaygın hasarın olduğu birleşim bölgeleri için, kiriş-kolon birleşim bölgesi, çelik şeritler yapıştırılarak ve sarılarak güçlendirilebilir. Bu suretle, kesitlerin eğilme momenti kapasiteleri arttırılırken; sarılan şeritler, bu bölgede oluşturulan enine basınçla, betonun dolayısıyla elemanın sünekliliği arttırılır [9].

Gülkan (1977) çalışmasında onarılmış betonarme kolon-kiriş birleşim bölgelerinin elastik olmayan davranışını irdelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda mantolanmış kolonun bir döküm davranışı gösterdiği belirlenmiştir [42].

Hatamoto ve Bessho (1991) yatay yüklemeye maruz kalan geniş kolon-kiriş birleşim yerleri üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalar sonucunda; geniş kirişlerin çatlaklarının kolon kiriş genişlik oranına bağlı değiştiği, genişlik oranı ikiden fazla olan kirişlerde, daha dar kirişlerde gözlenmiş olan ve kirişin boyuna eksenine dikey olan çatlaklardan çok kolon kenarlarından merkezden çevreye doğru yayılan çatlamları

gözlenmiştir. Birleşim yeri içerisindeki dış kiriş bölgesinden moment aktarımı artarken donatının daha büyük kayma gösterdiğini ve enerji dağıtma kapasitesinin azalmış olduğunu tespit etmişler ve geniş kolon-kiriş birleşim yerlerinin tasarımında kolon-kiriş genişlik oranının 2 den az olmasının gerektiğini belirtmişlerdir [43].

Zaid, Shiohara ve Otani (1999) 2 adet $\frac{1}{2}$ ölçekli kolon-kiriş birleşiminden oluşan deney elemanlarını deprem etkilerine benzer tersinir tekrarlanan yük etkisi altında incelemişlerdir. Böylece göçme modu düğümde kesme olarak değil kirişte eğilme şeklinde gerçekleşmiştir [44]. Febres ve Wight (2001) çalışmalarında yarı statik tekrarlı yükler altındaki 3 adet orta, geniş kolon kiriş döşeme birleşimi test edilmiştir. Orta geniş kiriş birleşimlerinin uygun şekilde tasarlandıklarında deformasyon kapasitesi artmış ve yeterli dayanım elde edilmiştir [45].

Stehle et al (2001) 2 adet $\frac{1}{2}$ ölçekli betonarme iç geniş şeritli kolon-kiriş birleşimi üzerinde yarı statik tekrarlı yanal yükler altında deneyler yapmışlardır. İlk eleman herhangi bir deprem şartnamesi kullanılmadan detaylandırılmış, ikinci elemanda ise istenmeyen burulma ve kesme çatlaklarının oluşmasını engelleyecek şekilde donatı çubuklarının sıyırılmasını da içeren özel bir detaylandırma şekli hazırlanmıştır. Bu özel detaylandırma kullanıldığında, mevcut şartnamelerde deprem riskinin yüksek olduğu bölgelerde kiriş genişliğini sınırlandıran kısıtlamaların kaldırılabileceği belirlenmiştir [46].

Ghobarah ve Said (2002), betonarme kolon kiriş birleşimlerinin gelişmiş kompozit malzemeler kullanılarak kesme dayanımının etkili bir şekilde artırılması amacıyla kullanılacak ekonomik güçlendirme teknikleriyle ilgili bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Denenen teknikler, düğümün kesme dayanımını artırmada ve oluşacak kesme kırılmasını önlemekte başarılı olmuştur [47].

Akın (2006), $\frac{1}{5}$ ölçekli 3 katlı 3 açıklıklı 10 adet betonarme çerçeve deneyleri yaparak yeni bir güçlendirme metodu üzerine çalışmıştır. Önerilen modelde kolon kiriş birleşim bölgesine epoksi yardımıyla ankraj yapılan, burkulma etkisinin önemli olmadığı, çekmeye çalışan çapraz çubuklar yardımıyla yanal ötelenmenin azaltılması, rijitliğin artırılması ve dolayısıyla yatay yük taşıma kapasitesinin de artırılması amaçlanmıştır. DeneySEL çalışmalar sonucunda; etriyelerin birleşim bölgesi boyunca devam

ettirilmesiyle, birleşim bölgesinde hasar oluşumunu engellediği ve hasarın güçsüz elemana doğru kaydığı gözlenmiştir. Bununla birlikte yapılan deneylerle kuşaklamanın zemin katta tüm açıklıklarda, üst katlarda ise azalan bir şekilde uygulanmasının sistemin üst katlarında perde davranışından, çerçeve davranışına kaymasına yardımcı olduğu sonucuna ulaşılmıştır [48].

Büyükkaragöz ve Arslan (2011) zayıf kolon-güçlü kiriş birleşimlerinde kullanılan kesme çivili çelik plakaların etkisini deneysel ve analitik olarak incelemişlerdir. Birleşim bölgesi boyunca kesme çivili çelik plakalar kullanılan 5 adet deney numunesi test edilmiştir. Referans elemanı düğüm hasarından göçmüştür. Diğer dört eleman sünek davranış göstererek, kiriş eğilme taşıma gücüne ulaşması ile göçmüştür. Sonuçlar ANSYS Sonlu elemanlar programı ile karşılaştırılmıştır [49].

Gökdemir vd. (2013) yaptıkları çalışmada 2007 Deprem Yönetmeliğine göre kolon ucundaki etriye sıklaştırma bölgesinde kullanılan yoğun etriyenin belirli bir oranının birleşim bölgesi içinde de sürdürülmesi maddesinden yola çıkmıştır. Biri referans deneyi olmak üzere; diğerleri birleşim bölgesinde epoksi kullanılarak çapraz şekilde, CFRP rulolarıyla güçlendirilmiş toplam beş adet deney elemanı test sonuçları elde edilmiştir. Buna göre gerekli miktarda CFRP ruloların birleşim bölgesine yerleştirilmesi ve uçlarının uygun şekilde ankrajlanmasıyla yapının performansının arttığı gözlenmiştir [50].

Yılmaz ve Bekiroğlu (2016) çalışmalarında, monotonik yükleme altında sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilen alın levhalı bulonlu birleşimlerde, alın levhası kalınlığı değişimi ile panel bölgesi güçlendirmesinin etkisini araştırmışlardır. Sonuçta panel bölgesinin güçlendirilmesi kolondaki panel bölgesinin şekil değiştirmesinin azalmasına fakat kiriş başlıklarının ve gövdesinin daha erken burkulmasına ve dönme kapasitelerinin azalmasına neden olmaktadır [51].

1.4.2. Taşıyıcı Sistem Güçlendirmesiyle İlgili Yapılan Çalışmalar

Taşıyıcı sistemin güçlendirilmesindeki temel amaç; hasar görmüş ya da yetersiz dayanım/rijitliği olan çerçevelerin rijitliğinin artırılmasıdır. Aşağıda bu tekniklerin uygulanmasıyla ilgili literatür çalışmalarının bir kısmı özetlenmiştir.

1.4.2.1. Taşıyıcı Sistemin Çelik Elemanlarla Güçlendirilmesiyle İlgili Yapılan Çalışmalar

Bazı uygulamalarda taşıyıcı sistemin çelik çaprazlar kullanılarak güçlendirilmesi tercih edilir. Uygulama kiriş-kolon düzlemine yerleştirilecek çaprazlar yanında kolon ve kirişe bitişik konulacak çelik elemanlarla da yapılabilmektedir. Çaprazlar betonarme çerçevenin içinde oluşturulabildiği gibi, dışında da oluşturulup ona bağlanabilir. Kolona ve kirişe bitişik olan çelik elemanlarla kuvvetin olabildiğince düzgün yayılı iletilmesi sağlanır. Çelik elemanların rijitliklerinin betonarmeye göre düşük olması nedeniyle, yatay deprem yüklerinin önemli bir bölümünün taşınması ancak çok büyük çelik kesitleriyle mümkün olur. Bunun yanında mevcut betonarme sistemle çelik sistemin bütünleşmesini sağlamak ve betonarme sistemde oluşan deprem kuvvetlerinin önemli bir kısmını çelik taşıyıcılara iletme ayrıntılı çalışma gerektiren bir husustur [9].

Sugano ve Fujimara (1980), yaptıkları deneysel çalışmada, 1/3 ölçekli 10 adet tek katlı çerçeveyi değişik dolgulu ve çapraz kuşaklama teknikleri kullanılarak güçlendirmiş ve sismik davranışı belirlemeye çalışmıştır. Güçlendirilmiş olan bütün çerçeveler kolonların kırılması sonucu göçmüştür. Taşıma gücü kapasitesi artışı daha az, yer değiştirme kapasitesi artışı daha yüksek olmuştur [52].

Maheri ve Akbari (2003), çelik çaprazlı betonarme binalarda süneklik ve deprem yükü azaltma katsayısının karşılaştırılması üzerine bir çalışma yapmıştır. 4, 8 ve 12 katlı 3 açıklıklı betonarme çerçeveler düzlemsel olarak DRAIN-2DX programıyla çözülmüştür. Çalışma sonucu, bina kapasitesini yönlendiren birçok etmen olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca R katsayısının elde edilebilmesi için maksimum kat öteleme oranı $1.5 \times H$ olarak alınmış ve çelik çaprazlı sistemin, betonarme sisteme göre çok daha sünek bir davranış sergilediği görülmüştür [53].

Korkmaz (2007) çalışmasında çelik çaprazlarla güçlendirilmiş betonarme yapıların davranışlarını doğrusal olmayan analizler kullanarak araştırmıştır. Bunun için 10 katlı betonarme çerçeve bir yapıyı farklı şekillerde çelik çapraz elemanlarla güçlendirmiştir. Daha sonra bu güçlendirilmiş betonarme çerçeveleri doğrusal olmayan artırimsal statik itme analizleri yardımıyla inceleyerek güçlendirmenin yapısal davranışa katkısını ortaya koymuştur [54].

Kamanlı vd. (2011) tek katlı, tek açıklıklı, 1/3 ölçekli ve çeşitli yetersizliklere sahip betonarme çerçevelerin çelik çaprazlarla, betonarme dolgu duvarlarla ve çelik levhalar ile güçlendirilmesi üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre güçlendirilmiş numunelerin yatay yük kapasitelerinde önemli artışlar olduğu görülmüştür [55].

Sivri vd. (2015) çelik çaprazla güçlendirilmiş dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin doğrusal olmayan davranışı üzerine çalışmışlardır. Çalışmada, 3 katlı 2 açıklıklı dolgu duvarlı betonarme çerçeve yanal davranışı ANSYS sonlu elemanlar metoduyla incelenmiştir. Analiz sonucunda çelik çaprazlar ile güçlendirme yapılan dolgu duvarlı betonarme çerçevenin yapı sünekliğinin korunduğu ve yatay yük taşıma kapasitesinin % 234 arttığı gözlenmiştir [56].

İnce vd. (2015) çalışmalarında bağ kirişi kesme elemanı olarak tasarlanan ve betonarme kirişe düşey olarak bağlanan betonarme çerçeveyi dış merkez Y çaprazlı sistem uygulamasıyla güçlendirmek suretiyle betonarme çerçeve davranışının etkisi deneysel olarak ortaya konulmuştur. Sonuç olarak incelenen güçlendirme sistemi yalın betonarme çerçevenin enerji tüketme kapasitesini ve yanal yük taşıma kapasitesini artırmıştır [57].

1.4.2.2. Taşıyıcı Sistemin Lif Takviyeli Kompozitlerle Güçlendirilmesiyle İlgili Yapılan Çalışmalar

Lif takviyeli kompozitler (LTK) son yıllarda yapıların onarım ve güçlendirmesinde kullanılmaya başlanmıştır. Yapıların dolgu duvarlarının LTK'lerle güçlendirilmesi ve perde gibi çalışabilen elemanlar haline getirilmesine yönelik çalışmalardır. Duvar güçlendirmesini hedefleyen LTK tasarımı sünekliği artırmadan ziyade dayanım artırma amacıyla yapılmalıdır. Daha çok beton kalitesinin iyi olduğu anacak enine ve boyuna donatının yetersiz olduğu durumlarda kullanılmaktadır.

Haroun, Ghoneam ve Salama (1996), 1/1 ölçekli bölme duvarlı betonarme çerçeve duvarlarının GFRP ile onarım ve güçlendirilmesi halinde, numunelerin yatay yük etkisindeki davranışını incelemiştir. Kolonların bu şekilde gevrek göçmesinin

engellenmesi için, kolon kayma dayanımının bölme duvar yatay dayanımından daha yüksek olmasına dikkat edilmesi önerilmiştir [58].

Mertol (2002), 2 adet, 1/3 ölçekli, tek açıklıklı, iki katlı, iki yüzü sıvanmış, dolgu duvarlı betonarme çerçeve numunesi üzerinde yaptığı çalışmada, numunelerden birini referans numunesi, diğerini ise CFRP kompozit ile iki yüzü birden güçlendirerek üretmiş olup, CFRP uygulamasını sadece dolgu duvar üzerinde olacak şekilde uygulamıştır. Deney sonucuna göre güçlendirilmiş numune ile referans numunesi arasındaki rijitlik değerleri birbirine yakın çıktığından güçlendirme maliyeti de göz önüne alınarak rijitlik artışı açısından uygun bir yöntem olmadığı gözlenmiştir [59].

Erduran (2002), CFRP kompozitlerle güçlendirilmiş tuğla duvarlı betonarme çerçeveler üzerinde bir çalışma yapmıştır. Deney kapsamında iki katlı-iki açıklıklı, 1/3 ölçekli, CFRP ile güçlendirilmiş numuneler tekrarlı yük altında test edilmiştir. Deneyler sonucunda önerilen güçlendirme yönteminin, çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesi ve enerji sönümleme miktarında önemli artışlar gösterdiği kaydedilmiştir. [60].

Hanoğlu (2002), "Delikli tuğla duvarlı betonarme çerçevelerin fiber esaslı kompozit yaygılarla güçlendirilmesi" konulu çalışmalarında delikli tuğla duvarlı betonarme çerçevelerin rijitlik ve dayanımlarının incelenmesi ve fiber esaslı malzemeler kullanılarak artırılması amacıyla 1/3 ölçekli model çerçeveler statik tersinir yanal yükler altında test edilmiştir. Bu uygulamalarda yanal yük altındaki dayanım ve rijitliğin önemli ölçüde arttığı görülürken, sistemin toplam yerdeğiştirme yeteneğinin kısıtlandığı da tespit edilmiştir [61].

Akgüzel (2003), çalışmalarında 5 adet iki katlı, tek açıklıklı, 1/3 ölçeğinde betonarme çerçeve üretilmiş ve CFRP ile güçlendirilerek yatay yük etkisindeki davranışları incelenmiştir. Deneyler sonucunda CFRP ile güçlendirmenin numunenin yatay yük taşıma kapasitesini artırdığı, enerji sönümlemesine olumlu katkısı olduğu, CFRP ile güçlendirilmiş numunenin, dolgu duvarlı çerçeveye oranla maksimum yük taşıma kapasitesinde %94 artış kaydedildiği gözlenmiştir. [62]

Özcebe et al. (2003), çalışmalarında, yapıdaki tuğla duvarların tümünün veya bir kısmının karbon lifli polimerler (CFRP) kullanılarak güçlendirilmesi üzerine çalışmışlardır. Çalışmalar sonucunda; yapının ayakta kalmasında önemli faktörlerden biri olan enerji yutma kapasitesi değerlerinin yapının sönümünü de etkilediği, bölme duvarların yapının enerji yutma kapasitesine olumlu etki yaptığı, duvarların üzerine FRP yapıştırılarak yapılan güçlendirme şeklinin yapının enerji yutma kapasitesini önemli ölçüde artırdığı ve CFRP ile güçlendirmede ankrajlamanın oldukça katkısı olduğu vurgulanmıştır. [63].

Yüksel et al. (2006), dolgu duvarlı betonarme çerçevelerde karbon lifler kullanarak güçlendirme üzerine yaptıkları çalışmada, dolgu duvarların ve karbon lif ile güçlendirilmiş dolgu duvarların betonarme çerçeve davranışına etkilerinin bulunması ve betonarme çerçeve sistemlerinin malzeme bakımından doğrusal olmayan çözümlemesinin bir bilgisayar programı yardımıyla yapılması amaçlanmıştır. Deneyler sonrası, yanal dayanım ve yanal rijitliğinin güçlendirilmemiş çerçeveye göre önemli derecede arttığı görülmektedir. Betonarme çerçevenin karbon lifler ile güçlendirilmesi sonucunda dolgu duvar köşe kırılmaları ve çapraz çatlakların dolgu duvarın tamamına yayılarak belirli bölgelerde toplanması engellenmiş, böylece dolgu duvarın tümünden göçmesi önlenmiştir. Bununla birlikte dolgu duvar çerçeve yatay yük taşıma kapasitesini, boş çerçeveye göre yaklaşık 4 kat; karbon lif uygulanmış dolgu duvar çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini ise dolgu duvarlı çerçeveye göre yaklaşık 1.3 kat arttırmıştır. [64].

Elgawady et.al. (2007), çalışmasında 7 adet 1/2 ölçekli delikli tuğla duvarlar CFRP ile güçlendirilmeden önce ve güçlendirildikten sonra tersinir statik yükler altında denenmiştir. 7 duvar elemanından 3'ü güçlendirilmemiş, 1'i yapım esnasında güçlendirilmiş diğerleri hasar gördükten sonra güçlendirilmiş olarak statik yükler altında test edilmiştir. Denenen numunelerdeki enerji harcanma sebepleri; düğüm noktaları arası sürtünme, yeni çatlakların oluşması, duvarın ezilmesi ve FRP' nin deformasyonu olarak belirlenmiştir. [65].

Atmaca (2008), çalışmalarında CFRP kompozitlerle güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş 1/3 ölçekli, tek açıklıklı, iki katlı ve düşey olarak test alanına yerleştirilen 10 adet dolgulu betonarme çerçeve, statik tersinir yanal yükler altında deneye tabi tutulmuştur. Bazı numunelerde, çerçeve elemanlarının sarılması gibi bölgesel güçlendirme teknikleri de uygulanmıştır. Karbon fiberli kompozit yaygılar, numunelerin yük taşıma ve enerji yutma

kapasitelerini önemli ölçüde artırmıştır. Maksimum yüklere tekabül eden yatay yer değiştirmeler de artmıştır. Ayrıca numunelerin uzunluk/yükseklik oranlarına ve karbon fiberli kompozit yaygıların konfigürasyonlarına bağlı olarak bazı rijitlik artımları da kaydedilmiştir. [66].

Öncü vd. (2010), karbon lifli polimerlerle 9 katlı bir binanın güçlendirmesine yönelik analitik ve deneysel olmak üzere iki ana başlık altında çalışma yapmışlardır. Deney sonucuna göre CFRP ile sargılanmış beton dayanımının sargılanma yapılmayan betona göre 4 kata kadar dayanımında artış olduğunu görmüşlerdir. Deney sonuçlarının analitik sonuçlardan daha da iyi sonuç verdiğini ifade etmişlerdir [67].

Ökten (2013) çalışmalarında yeni bir güçlendirme malzemesi olan CFRC'nin dolgu duvarlı betonarme çerçeveler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deney sonuçları değerlendirildiğinde, CFRC ile güçlendirilen tüm numunelerin kayma dayanımı değerlerinde güçlendirilmeyen kontrol numunelerine göre belirgin bir artış elde edilmiştir [68].

1.4.2.3. Taşıyıcı Sistemin Dolgu Duvar İlave Edilerek Güçlendirilmesiyle İlgili Yapılan Çalışmalar

Taşıyıcı sisteme dolgu duvar ilave edilmesi çerçevenin rijitliğini, taşıma gücünü ve sistem sünekliğini olumlu etkilemektedir. Dolgu duvarlar yatay rijitliği artırarak, yatay yer değiştirmeleri azaltmakta buna bağlı olarak yapıda meydana gelen ikinci mertebe etkilerini de azaltmaktadır. Bir diğer etki olarak da, dolgu duvarlar yatay rijitliği artırdığı için, taşıyıcı sistem daha stabil bir konuma sahip olmakta böylece sistemin periyodu azalmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken husus dolgu duvarlar nedeniyle yapının rijitlik merkezini olumsuz yönde etkileyerek, yapıda beklenmeyen burulma etkilerinin oluşmasına ve taşıyıcı elemanlar üzerinde önemli sayılabilecek yapısal çatlaklar olmasıdır [69].

Higashi ve Kokusho (1975), monolitik olarak üretilen çerçevelere kolonların mantolanması, kanat duvarların eklenmesi, dolgu duvarların eklenmesi tekniklerini kullanarak güçlendirme üzerine çalışmışlardır. Monolitik duvarda eğilme kırılması, kesme elemanlarıyla betonarme dolgu eklenmiş elemanda ise, duvarlarda ve kolonda ani kesme kırılmasından göçme meydana gelmiştir [70].

Hayashi et.al. (1980), bu çalışmada, dolgu duvarlarla güçlendirme ve kolonların mantolanması konuları incelenmiştir. Deneysel çalışmalardan, dolgu duvarların dayanım ve rijitliği arttırırken, kolon mantolamasının süneklik kapasitesini artırdığı ayrıca dolgulu çerçevelerin boş çerçevelere göre daha fazla dayanım ve rijitliğe sahip olduğu sonucu çıkarılmıştır. Sonuç olarak, betonarme dolgular, yapıların yanal dayanımını arttırmaktayken mantolama ise kolonların kesme dayanımını ve sünekliğini arttırmaktadır [71].

Ersoy et al. (1998), 8 adet tek açıklıklı, 2 katlı betonarme çerçeve orta derecede hasar meydana gelinceye kadar tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında denenmiştir. Bu deneysel araştırmanın temel amacı, çerçevedeki hasarın güçlendirilerek elde edilen dolgulu çerçevenin davranışı üzerine etkisini araştırmaktır. Sonuçta, hasarlı çerçevelere ilave edilen betonarme dolguların yatay yük dayanımını ve yatay rijitliği önemli ölçüde arttırdığı gözlenmiştir [72].

Türk (1998), çalışmasında hasarlı ve hasarsız, sünek ve sünek olmayan betonarme çerçevelerin betonarme dolgu duvarlarla güçlendirilmesiyle oluşan betonarme dolgulu çerçevelerin yatay yük etkisi altındaki davranışını incelemiştir. Dolgulu çerçevelerin yanal dayanımı, boş çerçevelerinkinin yaklaşık 8-13 katı, dolgulu çerçevelerin başlangıç rijitliği ise boş çerçeveninkinin yaklaşık 19-24 katı olup; dolgulu çerçevelerde kırılma eğilme nedeniyle olduğundan, kolon boyuna donatılarının miktarının dolgulu çerçeve dayanımını önemli ölçüde etkilemediği sonucuna varılmıştır [73].

Sonuvar (2001), betonarme dolgular ile güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin yatay yük altındaki davranışını araştırmak için, 5 adet iki katlı, tek açıklıklı, 1/3 oranında ölçeklenmiş betonarme çerçeveler hazırlamıştır. Üretilen bu çerçeveler, yatay durumda tersinen yükler altında hasara uğratıldıktan sonra yerinde dökme dolgu duvarlar ve ilave güçlendirme vasıtalarıyla güçlendirilmiş ve yeniden tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test edilerek performansları araştırılmıştır. Böylece çerçevelerin enerji tüketme kapasitelerinin önemli ölçüde arttığı sonucuna varılmıştır [74].

Canbay (2001), çalışmasında yapıyı oluşturan diğer çerçeve elemanlarıyla; betonarme dolgu duvarı ile onarılıp güçlendirilmiş olan çerçeve arasındaki etkileşimin ve yük

paylaşımının gerçeğe daha uygun bir şekilde incelenmesini amaçlamıştır. Çalışma sonucunda betonarme dolgu duvarı eklenmesi sonucunda sistemin başlangıç rijitliğinin çerçeveye göre yaklaşık 15 kat daha fazla olduğu görülmüştür [75].

Anıl (2002), 9 adet 1/3 geometrik ölçekli, bir açıklıklı ve bir katlı olarak modellenen betonarme dolgu duvarlı çerçeveleri, tersinir ve tekrarlanır yükler altında test etmiştir. Çalışmanın sonunda; dolgu duvarın, çerçevenin dayanım ve rijitliğini önemli oranlarda artırdığı ayrıca dolgu duvarlı elemanların çerçeveye göre daha fazla enerji tükettiği gözlemlenmiştir [76].

Saatçioğlu (2002), betonarme kolon ve betonarme çerçeve elemanlarıyla kuşatılmış dolgu duvarların davranışlarının iyileştirilmesiyle ilgili yeni bir güçlendirme yöntemi önermiştir. Yapılan çalışmalara göre; betonarme kolonların fiber takviyeli polimerlerle güçlendirilmesi; dairesel, kare ve dikdörtgen kolonların kesme kapasitesinin yeterli olmadığı durumlarda, yeterli sargı donatısı olmayan daire kesitli kolonlarda ve dairesel kolonların mafsallık bölgelerindeki bindirmeli eklerin sargılanmasında etkili olmaktadır [77].

Kara (2006), araştırmasında betonarme yapıların depreme karşı güçlendirilmesinde Türkiye'deki uygulamalarda sıkça kullanılan çerçeve içini doldurmayan parçasal betonarme dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin yatay yükler altında dayanım ve davranışını incelemiştir. Yapılan deneysel çalışmalara göre parçasal dolgu duvarının çerçeve içinde çerçeve kolonuna bitişik olmayacak şekilde sadece kirişlere bağlanması veya çerçeve içinde tek parçalı yerine iki parçalı olarak kullanılmasıyla, deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasiteleri önemli oranda etkilenmemiştir. Ancak, kirişlerde gelişen kesme kırılmasının önemli oranda arttığı gözlenmiştir [78].

Özdemir (2008), çalışmasında, kusurlu olarak üretildikleri varsayılan yapılara ait tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin, duvar yüzeyine uygulanan hasır donatı ve sıva ile güçlendirilmelerine yönelik deneysel bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Bu kapsamda 10 adet tek katlı, tek açıklıklı 1/2 ölçekli betonarme çerçeve üretilmiştir. Dolgu duvar üzerine farklı uygulama detaylarıyla güçlendirilen numuneler tersinir tekrarlanır yatay yük altında deneye tabi tutulmuştur. Ayrıca bu modeller kullanılarak, yatay yük kapasitelerinin tayini için doğrusal olmayan statik itme analizleri (pushover analiz)

SAP2000 programı kullanılarak yapılmıştır. Analitik çalışma neticesinde güçlendirilmemiş çerçevenin, bölme duvarlı çerçevenin ve güçlendirilmiş bölme duvarlı çerçevenin deney sonucunda elde edilen yük-deplasman eğrisi ile itme analizi sonucunda elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır [79].

Kılıç (2012) çerçeveli yapı içerisinde mevcut olan dolgu duvarların hasır çelik uygulaması ve üzerine sıva kaplanması ile güçlendirilmesi üzerine bir dizi deneysel çalışma yapmıştır. Elde edilen bulgulardan hasır çelik ve sıva ile güçlendirme uygulamasının çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini ve yatay rijitliğini arttırdığı gözlemlenmiş olsa da bu güçlendirme metodunun tek başına uygulanması ile şartnamelerin belirtmiş olduğu performans değerlerine ulaşamadığı tespit edilmiştir [80].

1.4.2.4. Taşıyıcı Sistemin Perde Elemanlarla Güçlendirilmesiyle İlgili Yapılan Çalışmalar

Taşıyıcı sistem güçlendirmesinde perdelerle güçlendirme halen en yaygın ve geleneksel uygulama yöntemi olarak tercih edilmektedir. Perde ilave edilmesinde dikkat edilmesi gereken en önemli husus, yeni durumun yapıda burulma etkileri yaratmamasıdır. Yapının kütle ve rijitlik merkezi mümkün olduğunca yakın kalmalıdır. Perdenin iki kolon arasında kalması tercih edilmelidir. Bazı hallerde bir taraftan bir kolona birleşmesi düşünülebilir. Bu durumda diğer tarafta perde ucu düzenlenmelidir. İki uçtan da kolona bitişik olmayan döşemeyi delip geçen perde ile döşeme arasında çok büyük gerilme yığılmaları meydana geleceğinden bu tür perdeler yapılmamalıdır [16].

Önceki bölümlerde bahsedildiği üzere perdelerin temellerinin oluşturulması da çok önemlidir. Komşu kolonları da kapsayacak şekilde sürekli veya plak temel düzenlemesi yapmak gerekir. Bu şekilde kolonların normal kuvvetlerinden faydalanarak perdeye komşu tekil temeller birleştirilerek büyük bir perde temeli yapılması gerekir. Bu durum perde temelini düzenlenmesinde kolon basınç kuvvetinin olumlu katkısı hesaba katılmış olur. Kapı ve pencere boşluğunun bulunması durumunda perde bir uçtan komşu kolona bağlanırken, diğer taraftan perde için bir uç bölgesi oluşturulur. Her iki durumda da perde kat seviyelerinde döşemeyi başlık bölgelerinde deler, bu suretle başlık donatılarının sürekliliği sağlanır. Bunun yanında perde gövdesinde döşemede yer yer boşluklar

açılarak, hem beton dökümü için kolaylık sağlanırken, bu boşluklara yerleştirilecek çapraz donatılarla perdenin katlar arası bütünleşmesi daha da rahatlatılmış olur [15].

Kahn et.al. (1979) betonarme perde duvarların mevcut betonarme çerçeveye olan etkisini araştırmak amacıyla üç farklı güçlendirme metodunu kapsayan deneysel çalışmalar yapmışlardır. Deneyler sonucunda Klingner ve Bertoro tarafından önerilen eşdeğer diyagonal basınç çubuğu tekniği ile tuğla dolgu betonarme çerçevelerin sismik yükleme etkisindeki yaklaşık rijitliklerini tespit etmişlerdir [81].

Aoyama et.al. (1984) komşu duvar panellerinin sargı etkisi, eğilme dayanımının kesme dayanımı üzerine etkisi ve boşlukların dökme imalat yöntemi üzerine etkisini araştırmışlardır. Sonuçta, kesme dayanımı hem monolitik hem de dökme perde duvarlar için sargı etkisiyle artmaktadır. Eğilme dayanımını artıracak şekilde yapılan sargı etkisi kenar kolonların rijitliğini artıran sargı şeklinden daha etkilidir. Kimyasal ankrajların davranışlarının özellikle çekme etkisine karşı mekanik ankrajdan daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır [82].

Krawinkler ve Wallace (1985) çalışmalarında küçük ölçekli modeller kullanarak ulaşılabilecek prototip eleman davranışını belirlemek için 7 katlı perde duvarlı çerçeveli bir yapı kullanmışlardır. Yapılan bir dizi deney sonucunda model numunedeki ve prototip yapıdaki genel hasar şekillerinin çok benzer olduğu gözlemlenmiştir [83].

Morgan et.al. (1985), 1/1 ve daha küçük ölçekli betonarme çerçeveler ve bireysel perde elemanları üzerinde deneyler gerçekleştirmiştir. Üç boyutlu deneyler sonucunda; perde duvarların, yüksek kesme gerilmelerini karşılamak için gerekli olduğu ve duvar üzerinde düzlem çerçeve analiziyle belirlenen düşey kuvvetlerin, elemanın dayanım ve dönme kapasitesini arttırdığı gözlenmiştir [84].

Phan et.al. (1995), 2 katlı 3 açıklıklı deprem yüküne karşı dayanımı zayıf olan betonarme çerçevelerin güçlendirilmesine yönelik bir dizi deney çalışması yapmışlardır. Yapılan çalışma sonuçlarına göre; perde duvar kalınlıkları, ankraj donatısı alanları ve yatay, düşey donatı oranı hususlarında birtakım önerilerde bulunulmuştur [85].

Tezcan ve İkizoğulları (1998) güçlendirme çalışmalarında kullanılan betonarme perde duvar dolgularının çevresi boyunca oluşacak kesme gerilmesi dağılımını araştırmışlardır. Bunun için perde duvarlar hem düzlem içine hem de düzlem dışına yerleştirilerek

kullanılmıştır. Böylece dolgu duvarların yatay ve düşey kenarlarındaki kesme gerilmesi dağılımı elde edilmiştir [86].

Youssef (1999), tarafından özellikle eski yönetmeliklere göre yapılmış sismik açıdan önemli zayıflıkları olan betonarme binaların güçlendirilmesinde en etkili yöntemlerden biri olan perde duvar eklenmesi uygulaması araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan yöntem, daha önceden yapılmış 3 katlı betonarme çerçeve deneyleri ile de karşılaştırılmış ve başarılı sonuçlar verdiği belirtilmiştir [87].

Beyli (2002), taşıyıcı sistemi 1975 deprem yönetmeliğine göre boyutlandırılmış çok katlı betonarme bir binanın 1998 deprem yönetmeliğine göre deprem güvenliğinin incelenmesi ve perde ilavesi ile güçlendirilmesi üzerine bir çalışma sunmuştur. Yapılan analitik çalışma sonucunda, ilave perde yüksekliğine bağlı olarak, periyotların, perde üzerinde bulunan kolonların kesit tesirlerinin ve perde tabanında oluşan kuvvetlerin değişimleri gösterilmiştir [88].

Özbalaban (2002), betonarme yapıların 1998 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre güvenliğinin ve perde ilavesi ile güçlendirilmesinin etkinliği üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Yapılan analizler neticesinde, yatay kuvvetlere karşı dayanımı yeterli bulunmayan yapı, perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiştir. Örnek yapının değerlendirilmesinde deprem yükü azaltma katsayısı $R=4$ alınmıştır. Böylece güçlendirilmiş yapıda, özellikle perde ucuna yakın bölgede kiriş kesitinin mafsallaştığı, perde eğilme momenti kapasitesinin tasarım momentine yakın olduğu dikkate alındığında, sistemin kapasitesinin ulaşılması istenenden biraz daha küçük olduğu ve bunu önlemek için daha fazla perdeye ihtiyaç duyulacağı sonucu ortaya çıkmıştır [89].

Körlü vd. (2004) çalışmalarında betonarme yapıların güçlendirilmesi için perde duvar ilave etmişlerdir. Çalışmada ölü duvarlar yerine perde duvar ilavesiyle yeni elemanlar oluşturmuşlardır. Sonuçta perde takviyesiyle yapının rijitliği artırılarak yapı periyodu ve görelî kat deplasmanlarının azaldığı gözlemlenmiştir. Böylece çalışmada ayrı ayrı takviyesi yerine mimari olarak kötü duvarların betonarme perdelerle dönüştürülmesinin yapı kullanımı açısından daha faydalı olacağı sonucuna ulaşmışlardır [90].

Yavuz (2005), deprem yüküne karşı dayanımı ve rijitliği yetersiz olan ve üretimde sıklıkla yapılan hatalara sahip, 2 katlı 2 açıklıklı betonarme çerçevelerin, deprem yükü altındaki davranışını, tersinir-tekrarlanır yatay yükler kullanarak araştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, güçlendirilmiş çerçevelerin yatay yük taşıma kapasiteleri ve yatay rijitliğinde artış meydana geldiği gözlenmiştir [91].

Öztürk (2006), deprem etkisi altında dayanımı yeterli olan, sadece perdeler ve perde-çerçevelerden oluşan taşıyıcı sistemlerde, perde boylarının tayini üzerine bir çalışmada bulunmuştur. Sonuç olarak belirlenen perde boylarının çok uzun olması ve mimari planı olumsuz etkilemesi durumunda alınabilecek önlemler sunularak profil kesitli perdelerin kullanımı tavsiye edilmiştir [92].

Kaltakçı ve Yavuz (2006) deprem davranışı açısından yetersiz olan üç adet iki katlı iki açıklıklı 1/3 ölçekli betonarme çerçeveyi orta kolonun iki yanına kısmi betonarme perde ilavesi yapmak suretiyle güçlendirmişlerdir. Çalışmalar ışığında kısmi betonarme perde duvar ilavesiyle deprem davranışı zayıf olan boş betonarme çerçeve sisteminin yatay yük taşıma kapasitesini artırmak suretiyle yapıyı güçlendirdiği sonucuna varılmıştır [93].

Altın et al. (2007), betonarme çerçevelerin kısmi betonarme perdelerle güçlendirilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Tek açıklıklı, tek katlı, 1/3 ölçekte üretilen 9 adet numuneyi tersinir-tekrarlı yük altında test etmişlerdir. Tam dolgulu çerçevelerde rijitlik artışı kısmi dolgulu çerçevelere göre 1.5 ile 2.6 kat artmıştır. Kısmi perdeli sistemlerde genelde gevrek hasarlar oluşmasına rağmen, kısmi perdenin hem kolon hem de kirişe bağlanması durumunda dayanım ve rijitlikte olumlu değişimler gözlenmiştir [94].

Kaltakçı, Arslan ve Yavuz (2010), çalışmalarında deprem performansı yetersiz olan betonarme binalarda deprem perdeleri ile güçlendirme yönteminin önemini göz önüne alarak, mevcut sistemdeki perde duvarlarının konumunun etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla, deprem dayanımı yetersiz olan üç ve iki katlı betonarme çerçeveli binaların içten ve dıştan yerleştirilen deprem perdeleri ile güçlendirilmesini irdelemişler ve analiz edilen binaların dayanıklılık, rijitlik ve sünekliğini çalışmadan elde edilen sayısal sonuçlarla kıyaslamışlardır [95].

Karageyik ve Sucuoğlu (2011), sünek olmayan orta yükseklikteki betonarme çerçevesel binaların güçlendirmesinde şekil değiştirme esaslı bir yöntem kullanarak sisteme her iki yönde eklenen minimum miktardaki perde duvarlar ile genellikle alt katlarda bulunan kritik kolonların şekil değiştirme kapasitelerinin aşılmaması sağlanmıştır. Yapılan çalışmalar ışığında önerilen şekil değiştirme esaslı güçlendirme yönteminin, özellikle diğer binalara oranla daha yüksek deprem performansı gerektiren okul binalarına uygulanabileceği sonucuna ulaşılmıştır [96].

Ergün, Kürklü ve Başaran (2012), önceden araştırma hastanesi olarak kullanımda olan ve 1991 yılında projelendirilip inşa edilen Afyon Kocatepe Üniversitesi'ne ait binanın, Dişçilik Fakültesi Eğitim ve Tedavi binası olarak yeniden kullanımı amacıyla yapılacak düzenlemelerden önce mevcut durumunun deprem performansı değerlendirilmiştir. Bu bağlamda sözü geçen yapının deprem güvenliği irdelenmiş ve mevcut bina Türk Deprem Yönetmeliği-2007 esaslarına göre değerlendirilerek perde duvarları ile uygun biçimde güçlendirilmiştir [97].

Uçar vd. (2014) çalışmalarında, 7 katlı, betonarme çerçeve sistemli mevcut bir binaya güçlendirme amacıyla eklenmesi düşünülen perdelerin üç farklı tip düzenlemesinin binanın modal parametrelerine, görel kat ötelemelerine ve yapısal performans analizinde Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin kullanılabilmesi için sağlanması gereken koşullara etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, bu tip güçlendirme perdelerinin uygulanmasına yönelik birtakım öneriler sunulmuştur [98].

1.4.2.4.1. Taşıyıcı Sistemin Dış Perde Elemanlarla Güçlendirilmesiyle İlgili Yapılan Çalışmalar

Taşıyıcı sistemin perde ilave edilerek güçlendirilmesi yöntemi yukarıdaki literatür çalışmasında da görüldüğü üzere güçlendirme teknikleri içinde oldukça yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bununla birlikte yöntemin yapı kullanımını engellemesi ve uygulanmasında zorluklar bulunmaktadır. Özellikle okul, hastane gibi hasar görmüş kamu binalarının hızlı bir şekilde ve kullanımını aksatmadan güçlendirilebilmesi bu yapılar için oldukça önemli bir konudur. Bu nedenle bu tip yapıların güçlendirilmesi için dış perde uygulaması kullanılmaktadır. Bu yöntemle yapının işlevini hiç aksatmadan bina

depreme dayanıklı hale getirilmektedir. Aşağıda literatürde daha önce yapılmış çalışmalara ilişkin bir özet bulunmaktadır.

Tama vd. (2005) Denizli il merkezinde kullanılmakta olan bir kreş yapısına dış çelik perdelerle güçlendirme uygulamışlardır. Çalışma kapsamında, yapının mevcut hali, betonarme perde ilavesiyle ve önerilen dış çelik perde uygulaması ile güçlendirilmiş durumlarının deprem performansı üç boyutlu SAP2000 modelleri oluşturularak incelenmiş ve iki farklı güçlendirme yönteminin karşılaştırılması yapılmıştır. Çelik perde ilavesi 8 farklı bölgede yapılmış, bu bölgelerde 13 çelik perde kullanılmıştır. Çelik elemanlarla takviye sonucunda yapının yeterli güvenlik düzeyine ulaştığı anlaşılmıştır. Yapılan uygulamanın alternatifi olarak ülkemizde en sık kullanılan betonarme dolgu yöntemi ile de projelendirme yapılarak inşaat maliyeti üzerinden maliyet kıyaslaması yapılmış ve dış perde uygulamasının maliyet bakımından daha ekonomik sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Maliyet farkının yapı kullanımının aksamamasından doğan farklar eklendiğinde daha da artacağı vurgulanmıştır [99].

Kaplan vd. (2005b, 2006c) yapıların dış perdelerle güçlendirilmesi için örnek bina olarak Buldan Devlet Hastanesini seçmişler ve dış perdeler kullanarak hastane binası için güçlendirme projesi hazırlamışlardır. Yayınlanan raporda ve bildiride, güçlendirme sisteminin analitik olarak etkinliği gösterilmiştir. Ayrıca, dış perdelerin kolon akslarından dışarı taşırılması ile mevcut yapı kolonlarının perde başlık bölgesinden gövdeye kaydırılmasının mevcut kolonlarda basınç altında beton ezilmesini engelleyebilecek bir çözüm olduğunu öne sürmüşlerdir [100-101].

Kaplan vd. (2006a) yapıların bina dışında yapılacak betonarme perde duvarlarla güçlendirilmesi için bir dizi deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Önerilen dış perde duvar uygulaması yöntemi halen uygulanan “dolgulu çerçeve” yaklaşımına alternatif bir yaklaşımdır. Deneyler sonucunda güçlendirme yapılmış yapının itme kapasitesinin her iki doğrultuda da güçlendirme yapılmamış yapıya göre arttığı tespit edilmiş ve perdeler tasarlanırken perde kapasitesinin bir azaltma katsayısı kullanarak bir miktar azaltılabileceği önerisinde bulunulmuştur [102].

Kaplan vd. (2006b) bir güçlendirilmiş bir de güçlendirilmemiş 2 adet üç boyutlu model kullanarak dış çelik perdelerle betonarme yapıların kapasitesinin artırılması üzerine

çalışmışlardır. Çalışmada 3 boyutlu 1/3 ölçekli 2 katlı betonarme bina modelleri üzerinde çelik dış perde ile yapısal güçlendirmenin yeterliliğini denemişlerdir. Güçlendirilmiş yapılar çapraz çubukların basınç altında burkulmasına rağmen sünek bir davranış göstermişlerdir [103].

Kaplan et al. (2006d) dış perde ve üst kat bağ kirişlerini Datça Hükümet Konağının Güçlendirme Projesinde uygulamışlardır. Yapılan çalışmada, yapının B bloğunda perde duvarlar çatı katında birbirine bağlanarak yapıda kapasite artışı sağlanmış, üst katlarda kapasitesi yetersiz kolonlarda görülen yetersizlikler giderilerek, eksenel yük bakımından optimum eğilme kapasitesine sahip orta katlarda çerçevenin daha çok yük taşımasını sağlamışlardır. C Bloкта da dış perdelerle yapı kapasitesinde ciddi artışlar sağlanmıştır. Her iki blokta da yapı kullanımı inşaatından en az düzeyde etkilenmektedir [104].

Kaltakçı vd. (2006), iki boyutlu çerçevelerin dışına yerleştirilen dış perde duvarlarla çerçeve davranışında meydana gelen değişimi incelemişlerdir. İki katlı, iki açıklıklı olarak, 1/3 geometrik ölçekle 4 adet özdeş betonarme çerçeve üretilmiş ve 2 adedi güçlendirilmeyen, 2 adedi ise betonarme dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilen numuneler tersinir-tekrarlı yatay yük altında denenmiştir. Deneyler sonunda, eksenel yük seviyesi düşük sistemde yatay yük kapasitesi 3.78 katına çıkarken, eksenel yük seviyesi yüksek sistemde bu oran 4.04 olarak gerçekleşmiştir. Güçlendirme perdelerinin temel bağlantılarında herhangi bir sorunla karşılaşılmamış, çatlaklar temel ankrajlarının bittiği bölgede oluşmuştur [105].

Kuyucular (2006), pratik ve uygun maliyetli bir şekilde dış perde ile güçlendirme yapılabileceğini göstermek için havuz dış perdeler üzerine bir çalışma yapmıştır. Özellikle kırsal bölgelerde ekonomik değeri düşük az katlı yapıların bu yöntemle hızlı bir şekilde güçlendirilebileceğini öne sürmüştür [106].

Sucuoğlu et.al.(2006) yaptıkları çalışmada yüksek deprem riski altında olan orta büyüklükteki yapılar için uygun maliyetli bir güçlendirme yöntemi önermişlerdir. Sonuç olarak dıştan güçlendirmenin birçok yapıda daha uygun maliyetli bir çözüm olduğu ortaya konulmuştur [107].

Yılmaz (2007) çalışmasında mevcut yapıların güçlendirilmesi için yapı dışından betonarme perde duvarların ilave edilmesi yöntemini deneysel olarak araştırmıştır. Yeni perdeler, dış cepheden mevcut yapıya hem kat seviyesinde hem de kolon boyunca yapılan

ankrajlarla bağlanmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında deney modelleri için SAP2000 modelleri hazırlanarak, doğrusal olmayan model kapasiteleri ve davranış şekilleri incelenmiştir [108].

Çetinkaya (2007) çalışmasında üç boyutlu tek katlı mafsal bağlantılı prefabrik betonarme sanayi yapılarının deprem davranışlarını deneysel olarak incelemiştir. Bu amaçla üç boyutlu tek katlı prefabrik yapı sistemi deneyi yapılmıştır. Sonuçta mevcut prefabrik yapıların güçlendirilmesi için dış perde uygulaması önerilmiştir [109].

Yılmaz (2007), çalışmasında mevcut diğer güçlendirme yöntemlerinden farklı olarak, imalat sırasında bina kullanıcılarının binayı terk etmesine gerek olmaksızın binanın dışından yapılacak bir güçlendirme yöntemi önermiştir. Elde edilen deneysel verilerin değerlendirilmesi sonucunda, kolonları basınç kırılması gösteren, deprem dayanımı yetersiz sünek olmayan, çok açıklıklı ve çok katlı betonarme çerçevelerin, dayanım, rijitlik, enerji tüketme kapasiteleri gibi özellikleri ile davranışları elde edilmiş; daha sonra, aynı özellikteki mevcut betonarme binaya, betonarme dış perde duvar eklenmesiyle yapılan sistem iyileştirmesi/güçlendirmesi sonucu ortaya çıkan davranış ve sonuçlar elde edilerek birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan analitik çalışmada ise; deney elemanlarının gerçek malzeme dayanımları kullanılarak, SAP2000 programında pushover analiz gerçekleştirilmiş ve sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca düşey elemanlar için de, moment-eğrilik ilişkisi bir bilgisayar programı vasıtasıyla elde edilmiş ve elde edilen sonuçlar, deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır [2].

Nohutçu (2007), prefabrik betonarme endüstri yapılarının dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilmesi üzerine deneysel bir tez çalışması yapmıştır. Çalışmada eleman deneyleri ve prefabrik yapı deneyleri yapmıştır. Deneysel sonuçları kuramsal hesaplar ile karşılaştırmış ve birbirine oldukça yakın olduğunu görmüştür [110].

Arslan (2007), çalışmasında çerçeve sisteminde binanın dışına doğru ve planda her iki aksta bulunan yeni betonarme perdeler yapılması konusu üzerine çalışmıştır. Üretilen betonarme çerçeveler, ülkemizde sıklıkla karşılaşılan kusurları içermektedir. Çalışmada çerçeve kolonlarının boyuna donatı oranı değişimi en önemli parametre olarak alınmıştır. Çalışmanın analitik kısmında ise, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan statik itme analizinden elde edilen sonuçlar ile diğer bazı analitik çalışmaların sonuçları deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, dış perde duvar ilavesi ile yapılan

güçlendirilmenin, taşıyıcı çerçeveye, yatay yük, rijitlik ve enerji yutma kapasitesi olarak çok önemli katkılarda bulunduğu görülmüştür [111].

Görgülü (2008) tez çalışmasında mevcut betonarme yapıların tahliye edilmesine gerek kalmaksızın yapı dışından çelik konstrüksiyon perdelerle güçlendirilmesi üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Deneysel ve analitik çalışmalar birlikte değerlendirilmiş ve çalışma neticesinde yatay yük taşıma kapasiteleri yetersiz olan hasarlı ve hasarsız mevcut betonarme yapıların dış çelik konstrüksiyon perde sistemi ile rijitlik ve kapasite açısından yeterli hale getirilebileceği ifade edilmiştir [112].

Kaplan et. al.(2009) çalışmalarında, yanal rijitliği ve yatay yük kapasitesini arttıran, yapının dışından uygulanan prefabrik betonarme perde duvar ve diyafram ile güçlendirilmenin etkinliğini deneysel yönden araştırmışlardır. Yapılan deneylerde perde duvar ilavesiyle yatay yük kapasitesinde bir artış gözlemlenmiştir [113].

Öztürk (2010) çalışmasında, çerçeve düzleminde olacak şekilde bina dışında oluşturulan betonarme perdelerin, mevcut betonarme çerçevelere farklı türlerdeki bağ kirişleri ile bağlanması sonucu oluşturulan güçlendirilmiş taşıyıcı sistemlerin dayanım ve davranışları deneysel ve analitik olarak incelenmiştir. Bu kapsamda iki katlı, tek açıklıklı, 1/2 geometrik ölçeğinde iki boyutlu olarak modellenen ve ülkemizde sıklıkla görülen yapı kusurlarını içeren 4 adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Bu çerçevelerin 1'i boş, 2'si bağ kirişli betonarme dış perde duvar ilavesiyle güçlendirilerek ve 1'i de karşılaştırma amacıyla bağ kirişsiz betonarme dış perde duvar ilavesiyle güçlendirilerek depremi benzeştiren yatay yük altında test edilmiştir. 5. Deney olarak da güçlendirme amacıyla sisteme ilave edilen dış perdenin bireysel olarak dayanımı ve davranışı araştırılmıştır. Bu kapsamda iki boyutlu çerçeveler tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altında test edilerek her bir taşıyıcı sistemin yatay yük taşıma kapasitesi, enerji tüketme gücü, rijitlik özellikleri ve genel davranışları elde edilmiştir. Çalışmanın analitik kısmında ise, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan statik itme (pushover) analizinden elde edilen sonuçlar ile diğer bazı analitik çalışmaların sonuçları, deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre çelik bağ kirişli dış perde ilavesinin, çerçevenin yapay yük kapasitesi, rijitliği ve enerji tüketimine önemli ölçüde katkı sağladığı ifade edilmiştir. Bununla birlikte çerçevelere betonarme bağ kirişli dış perde ilave edildiğinde de yatay yük taşıma kapasitesinde bir artış olduğu çelik bağ

kirişle karşılaştırıldığında ise ileri çevrimlerde %2.50 bir farkla daha az yük taşıırken geri çevrimlerde ise %2.20 daha fazla yük taşıdığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde betonarme bağ kirişlerle güçlendirmede referans numuneye göre rijitlikte de önemli oranda artış meydana gelmiştir. Enerji tüketimlerine bakıldığında ise en fazla enerji tüketiminin görüldüğü deney olduğu gözlemlenmiştir. Çerçevenin bağ kirişi yapılmadan dış perdeyle doğrudan birleştirildiği deneyde ise, yatay yük taşıma kapasitesi açısından artış sağlanmış; ancak, perdenin çerçeveye birleştiği kenar kolonlarda ve kolon-kiriş birleşim bölgelerinde ağır hasarlar oluşmasıyla sistemin gevrek bir biçimde göçebileceği gözlenmiştir [114].

Yılmaz et.al. (2010) iki katlı iki açıklıklı 1/3 ölçeğinde üretilen binaların yapım ve tasarımında sıkça rastlanılan kusurlara sahip sekiz adet modeli dış perde uygulaması ile güçlendirerek tersinir-tekrarlı yükler altında bir test etmişlerdir. Yapılan deneyler ve analitik çalışmalar neticesinde dış perde duvar uygulamasının iç perde duvar uygulaması kadar iyi sonuçlar verdiği ve bu yöntemin alternatif bir güçlendirme yöntemi olarak uygulanabileceği ifade edilmiştir [115].

Çalışkan (2010) çalışmasında düşük dayanımlı betonlarda ankrajların kesme performansını incelemiş ve mevcut betonarme binaların dış perde duvar ile güçlendirilmesinde ankraj uygulamalarına ait bir dizi deneysel çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda, dıştan betonarme perde ile güçlendirmede ankraj uygulamaları ile ilgili elde edilen sonuçlara yer verilmiştir [116].

Özdöner (2011) çalışmasında, mevcut diğer güçlendirme yöntemlerinden farklı olarak, bina dışından betonarme prefabrik paneller yardımıyla sistemin iyileştirilmesi yöntemini incelemiştir. Deneylerde, ülkemizdeki mevcut betonarme binalarda sıklıkla görülen hatalara sahip olarak üretilen 1/3 ölçekli, deprem dayanımı yetersiz, iki açıklıklı, iki katlı, iki boyutlu 1 adet güçlendirilmemiş betonarme çerçeve ve 2 adet de aynı özelliklerdeki mevcut betonarme çerçeveye farklı prefabrike dış paneller ilave edilmesi ile güçlendirilmiş sistem tersinir–tekrarlanır yatay yüklemeye maruz bırakılmıştır. Deney sonuçlarına göre deprem dayanımı yetersiz, sünek olmayan, çok açıklıklı ve çok katlı betonarme çerçevelerin, dayanım, rijitlik, enerji tüketme kapasiteleri gibi özellikleri ile davranışları elde edilmiş; daha sonra, aynı özellikteki mevcut betonarme binaya, prefabrike dış paneller eklenmesiyle yapılan sistem güçlendirilmesi sonucu ortaya çıkan davranış ve sonuçlar elde edilerek karşılaştırılmıştır. Çalışmanın analitik kısmında ise,

sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan statik itme analizinden elde edilen sonuçlar, deneysel verilerle karşılaştırılmıştır [117]

Tokgöz ve Can (2011) dıştan perde duvarla güçlendirmede perde-hatıl birleşim yerlerinde kullanılan bulon sayısının araştırılması üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu bağlamda bir yığma binanın dıştan perde duvar ile güçlendirilmesinde perde-hatıl birleşim yerlerinde, bulonlu birleşim yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada, deney sonuçlarına göre belirlenecek boyutlardaki önceden üretilecek precast panel halindeki perde duvarları uygulanacak yerde birbirlerine eklemek suretiyle, yapıya dıştan monte edilerek, depreme karşı koyabilecek ve yapıyı ayakta tutabilecek bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde; dışarıda precast olarak üretilen perde duvarlar, bağlantı çubukları ile döşeme altı hatıllara ve ankraj çubukları ile temel hizasında sömellere bağlanmıştır. Sistemin perde-döşeme birleşim yerinde kullanılan bağlantı çubuklarının en uygun sayısını tespit edebilmek için planlanan perde duvar boyutu sabit tutularak 4, 5 ve 6'şar adet bulon kullanılarak 3 adet deney yapılmış, bağlantı ve birleşim yerlerinin performansları deneysel olarak belirlenmiştir [118].

Kaltakçı ve Öztürk (2012) yatay yükler altında bağ kirişli dış perde uygulaması ile güçlendirilmiş sünek olmayan betonarme çerçevelerin dayanımları incelenmiştir. Çalışmada 4 adet $\frac{1}{2}$ ölçekli betonarme çerçeve, çevrimsel yanal yüklere maruz bırakılmıştır. Çalışmalar sonucunda bağ kirişli dış perde uygulaması ile güçlendirme uygulamasının; çerçevenin yanal yük taşıma kapasitesini, rijitliğini ve enerji sönümleme kapasitesini iyileştirmiş olduğu gözlemlenmiştir [119].

Ünal (2012), çalışmasında, TDY 2007'ye göre tasarlanmamış betonarme çerçevelerin düzlem dışı perde duvarla güçlendirilmesini deneysel olarak araştırmıştır. Yapılan bu çalışmada 1/3 ölçekli 4 adet iki boyutlu deney elemanı depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yükler etkisinde test edilmiştir. Bu numunelerden bir adedi herhangi bir güçlendirme yapılmayan, yapım kusurları içeren ve deprem dayanımı yetersiz binaları temsil eden betonarme boş çerçeve olarak oluşturulmuş olup diğer deney elemanları ise betonarme boş çerçeveye güçlendirme uygulaması yapılmış deney elemanlarıdır. İkinci deney elemanı, eksenel yükten dolayı güçlendirilmesi gereken binaları temsil etmek amacıyla oluşturulmuştur. Bu deney elemanında kolonlar üç taraftan mantolanarak güçlendirilmiştir. Üçüncü deney elemanı, pencere boşluklu düzlem dışı betonarme perde duvar ile güçlendirilmiş numunedir. Bu deney elemanı dış cephelerinde pencere boşluğu

bulunan binaları temsil etmek amacıyla oluşturulmuştur. Son deney elemanı ise düzlem dışı iki betonarme perde duvar ile güçlendirilmiş numunedir. Bu numunede pencere boşluklarının bulunduğu yerlere güçlendirme perdesi konulmamıştır. Test edilen bu deney elemanlarına ait histerezis eğrileri, zarf eğrileri, rijitlik, süneklik ve tüketilen enerji grafikleri sunulularak bir karşılaştırma yapılmış, sonuçlar yorumlanmıştır [120].

Solak (2012) çalışmasında güçlendirme perdeleri arasında yatay ve düşeyde farklı bağlantı detayları oluşturmuş ve bu bağlantı detaylarının davranışını deneysel olarak incelemiştir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda dayanım, davranış ve imalat kolaylığı açısından en uygun bağlantı tipleri belirlenmiştir. Bu hedefe ulaşmak için 6 farklı bağlantı detayı geliştirilmiş olup her farklı tip için deney modelleri oluşturulmuş ve tekrarlı-tersinir yatay yükler altında test edilmiştir. Yapılan çalışmalarda çelik uç bölgesi panellerin hem yatay hem de düşey bağlantılarının başarılı bir performans sergilediği ancak epoksi ankraj birleşimli yatay bağlantıların istenen performansı gösteremediği görülmüştür [121]

Pillai et al. (2013) çalışmalarında dış perde-kat döşemesi birleşim bölgelerinin performansına etkiyen geometrik parametrelerin belirlenmesi üzerine deneysel ve analitik bir araştırma yapmışlardır. Hindistan'da bulunan prototip bir bina modeli üzerinden yapılan analizler sonucunda dış perde-döşeme bağlantısına etkiyen kuvvet bileşenleri tahmin edilerek, bu kuvvet bileşenleri $\frac{1}{4}$ oranında Cauchy yaklaşımına göre ölçeklendirilerek deneysel çalışmada kullanılacak olan 8 adet $\frac{1}{4}$ ölçeğinde üretilen modellere uygulanmış ve bu modeller çevrimsel yüke maruz bırakılmıştır. Çalışmada döşeme etkili genişliğinin perde boyuna oranı, döşeme kalınlığının perde kalınlığına oranı ve donatı çubuk boylarındaki uzama etkili parametreler olarak dikkate alınmıştır. Sonuç olarak deneysel çalışmadan elde edilen verilerle ANSYS programından elde edilen nümerik sonuçlar karşılaştırılmış ve aralılarında iyi bir korelasyon olduğu sonucuna varılmıştır [122].

Çırak et.al. (2015) iki katlı tek açıklıklı dış perde duvar uygulamasıyla güçlendirilmiş betonarme çerçeveler üzerine dış perde duvar uygulamasında kullanılan ankrajların kesme davranışlarını belirlemek üzere bir model geliştirmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda mevcut yapının beton basınç dayanımı kesme kapasitesinin hesabında oldukça önemli olduğu ve geliştirilen ankraj modelinin dış perde duvar uygulamasında kullanılabileceği sonucuna varmışlardır [123].

1.4.3. Literatür Değerlendirmesi

Ülkemiz aktif deprem kuşağında yer alması nedeniyle geçmişten günümüze pek çok kere deprem etkisine maruz kalmıştır. Bu depremlerde yeterli dayanıma, rijitliğe sahip olmayan veya yönetmeliklere uygun bir şekilde inşa edilmeyen binaların bir kısmı yıkılırken bir kısmı da oldukça büyük hasara uğramıştır. Sonrasın da hasara uğrayan bu binaların yeniden kullanılabilmesi için önce onarım ardından güçlendirme işlemleri uygulanmaktadır. Güçlendirme işlemi sadece hasarlı yapılara uygulanmaz. Kullanım ömrü içinde yönetmeliklere göre yeterli dayanım ve rijitliğe sahip olmayan yapılar da güçlendirilir. Böylece güçlendirme uygulamasıyla hem yapısal sorunlar giderilir hem de ülke ekonomisine katkıda bulunulur. Hal böyleyken pek çok araştırmacı da en etkin ve ekonomik güçlendirme yöntemini belirleyebilmek adına gerek geçmişte gerekse günümüzde birçok çalışmada bulunmuşlardır. Bu sayede güçlendirme uygulamaları her daim güncelliğini korumakta ve yeni güçlendirme teknikleri geliştirilmesi için araştırmalar devam etmektedir.

Literatürde güçlendirme yöntemleri eleman bazında ve sistem bazında güçlendirme olarak iki kısma ayrılmıştır. Kimi araştırmacılar kolon, kiriş gibi yapısal elemanların güçlendirme işlemi üzerine çalışırken kimi araştırmacılar ise çalışmalarını taşıyıcı sistem güçlendirmesi üzerine yoğunlaştırmışlardır. Literatürdeki çalışmalarda bahsedildiği üzere mevcut yapının rijitliğini ve yanal yük taşıma kapasitesini artırmanın en etkili yöntemi, mevcut yapı sistemine yeni elemanların eklenmesidir. Taşıyıcı sisteme yeni elemanların eklenmesi yönteminde önceki çalışmaların pek çoğunda araştırmacılar sisteme dolgu duvar ilavesinin sistem davranışına olumlu katkısı olduğunu düşündüklerinden bu konu üzerine yoğunlaşmışlardır. Bunun yanı sıra taşıyıcı sistemin dayanımıyla birlikte rijitlik artışının da önemli olduğu durumlarda ise taşıyıcı sisteme perde ilave etmek de diğer bir seçenek olup depreme karşı güçlendirmelerde genellikle yapılara sonradan perde ilave edilmesi en yaygın yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Böylece son yıllarda gelişen teknoloji, artan deneysel imkânlar sayesinde yapılan araştırma ve deneysel çalışmalarla çok sayıda güçlendirme tekniği geliştirilmiş olmasına karşın, bu yöntemlerin birçoğunun pratik olarak uygulanması zor görünmektedir. Örneğin; yapıya sonradan perde ilave etmek için mevcut binanın tahliye edilmesi gerekmektedir. Bu durum pek çok yapı sahibini, yapısını güçlendirmekten alıkoymaktadır. Özellikle, konut ve hastane türü yapıların güçlendirilmesinde hem zaman almakta hem de pratik olmamaktadır. Bu açıdan

günümüzde pratik, ekonomik ve bina kullanıcılarını rahatsız etmeyen yöntemler geliştirilmesi önem taşımaktadır.

Literatürdeki mevcut çalışmalara bakıldığında binaların güçlendirilmesi adına pek çok yöntem sunulmuş olmasına rağmen güçlendirme uygulamasının bina dışına çıkarıldığı ilk sistematik güçlendirme yöntemi “dış perde duvar uygulaması”dır. Bu yöntem, yürütücülüğünü ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Prof. Dr. Ergin Atımtay’ın yaptığı “Depremde Hasar Görmüş Yapıların Onarımı ve Hasarsız Mevcut Yapıların Güçlendirilmesi: Dış Perde Duvar Uygulaması” isimli proje [101-102] kapsamında içlerinde 6 üniversitenin ortaklığında gerçekleştirilen deneysel ve analitik çalışmalar şeklinde literatürde yer almıştır. Yukarıda dış perde duvar uygulamasıyla güçlendirme yöntemi üzerine yapılan literatür çalışmalarının birçoğu da bu proje kapsamında ortaya konulmuştur. Proje kapsamında sadece klasik betonarme yapılar değil prefabrik yapılar için de dış-perde uygulamasının geçerliliği araştırılmıştır. Ancak bu çalışmaların büyük kısmı iki boyutlu çerçeveler için yapılan deneyler üzerinden yürütülmüştür. Üç boyutlu olarak yapılan deneylerden biri [101-102] dış çelik perdelerle betonarme yapıların güçlendirilmesi üzerineyken, bir diğerinde [107] ise yeni perdeler, mevcut yapıya dış cepheden hem kat seviyesinde hem de kolon boyunca yapılan ankrajlarla bağlanmıştır. Doktora tezi kapsamında yapılan başka bir çalışmada ise [108] prefabrik betonarme sanayi yapılarının deprem davranışı araştırılmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında betonarme üç boyutlu bir yapıya dışarıdan perde uygulayarak yapının güçlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu yöntemi literatürdeki diğer dış perde uygulamalarıyla ilgili çalışmalardan ayıran ilk ve en önemli özelliği çalışmanın üç boyutlu olarak laboratuvarında üretilen modeller üzerinden gerçekleştirilecek olmasıyken diğer üç boyutlu çalışmalardan ayıran yanı sıra uygulanacak dış perdelerin yapı sünekliliğini artırmak için yapıya bağ kirişleri ile bağlanacak olmasıdır. Böylece üç boyutlu modeller üzerinde yapılan deneysel çalışmalarla gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilecek olup, gerçek davranışını net bir şekilde kavrayarak analitik çalışmalarda kullanılmak üzere, daha fazla ve doğru parametre elde etmek mümkün olacaktır. Bu şekilde konuyla ilgili literatür çalışmalarına yeni bir kazanım sağlanması hedeflenmektedir.

2.BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

Yapılan çalışmanın amacı, bağ kirişli dış perde uygulaması ile güçlendirilmiş depreme karşı dayanımı yetersiz yapıların deprem performansının belirlenmesidir. Bu amaçla belirtilen yöntem ile güçlendirilmiş yapıların performansını belirleyebilmek için üç boyutlu model numuneler üretilerek bu numuneler üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deney numunelerinin tasarım ve üretiminde; yaşanan depremlerin yol açtığı ve ülkemizdeki yapı stokunda da yaygın olarak görülen zayıflıklar dikkate alınmıştır.

Çalışmada tek katlı iki açıklıklı üç boyutlu betonarme çerçeve elemanları, 1/2 geometrik ölçekli olarak üretilmiştir. Daha sonra üretilen numuneler düşey konumda betonarme dış perde ile güçlendirilerek, tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir.

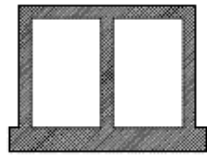
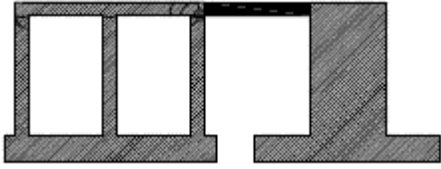
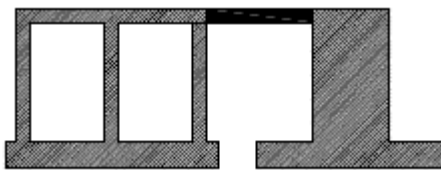
2.1. Deney Numuneleri

Çalışmada, 1/2 geometrik ölçekli 3 adet deney numunesi, tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında denenecektir. Deney numuneleri geometri bakımından birbirleri ile özdeşdir. İlk olarak güçlendirilmemiş çerçeve numunesi test edilecektir. Diğer iki numune de ise ikinci numune %2 lik hasar sınırına kadar yüklemeye tabi tutularak hasar gördükten, üçüncü de ise herhangi bir hasar olmaksızın bağ kirişli betonarme dış perde ile güçlendirildikten sonra deneye tabi tutulacaktır. Tablo 2.1’ de numuneler ile ilgili temel bilgiler verilmiştir. Bununla birlikte, daha öncede belirtildiği gibi aşağıda çizim ve tasarım detayları verilen deney numunelerinin imalatında, kullanılan donatı detayları Türkiye’de uygulamada genellikle görülen çeşitli hataları ve eksiklikleri barındıracak şekilde belirlenmiştir. Bu değerler,

- Beton kalitesinin düşük olması (16 MPa),
- Düşük dayanımlı düz yüzeyli (nervüzsüz) donatı çeliği kullanılması,

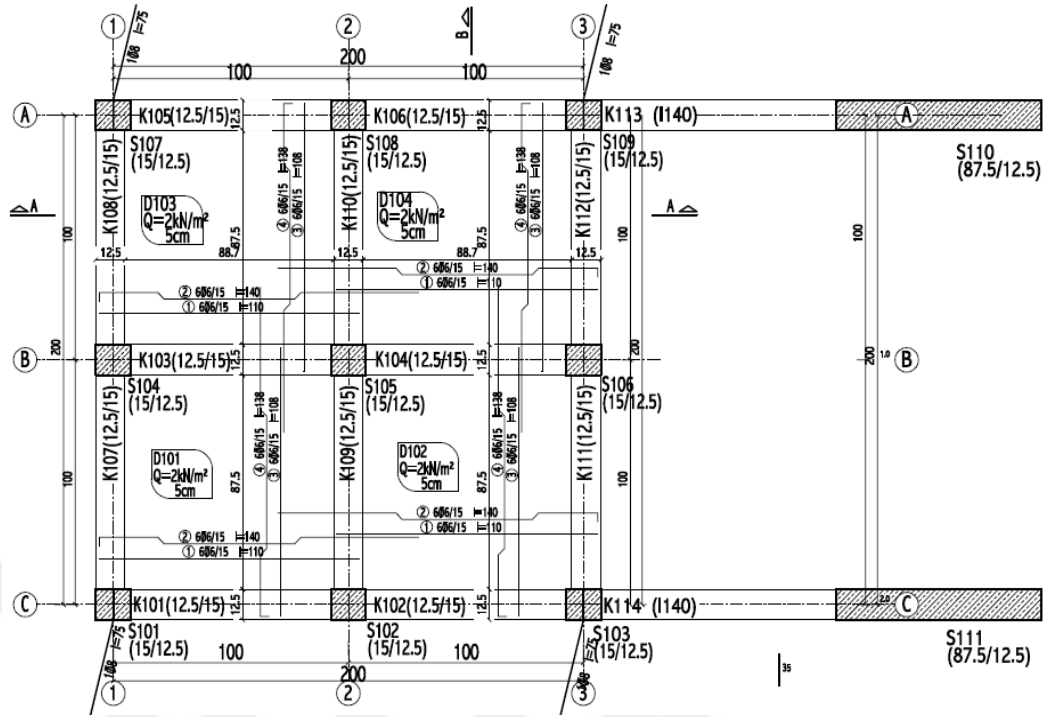
- Kolon–kirişlerde etriye sıklaştırmasının olmaması,
- Kolon – kiriş birleşim bölgesi içinde etriye bulunmaması,
- Kolon boyuna donatılarının bindirmeli eklerinin kolon için en kritik kesit olan kat seviyesinde yapılması ve bu bindirme eklerinin boylarının yetersiz olması,
- Kiriş donatısında yetersiz kenetlenme,
- Etriye kancalarının 90° olması, durumlarıdır.

Tablo 2.1. Deney yapılış sırası ve deney numunelerinin özellikleri.

Deney Numunesi Adı	Deney Numunesi Özellikleri	Deney Numunesi Görünümü
RÇN	Güçlendirilmemiş (Referans) Betonarme Üç Boyutlu Çerçeve Modeli	
HGÇN	Hasarlı (%2.6) Güçlendirilmiş Üç Boyutlu Çerçeve Modeli (Hasar gördükten sonra onarılıp çelik bağ kirişli dış perde ile güçlendirilmiş numune)	
GÇN	Hasarsız Güçlendirilmiş Üç Boyutlu Çerçeve Modeli (Hasar görmeden çelik bağ kirişli dış perde ile güçlendirilmiş numune)	

2.1.1. Deney Numunelerinin Boyutları

Deney elemanlarının boyutları Şekil 2.1 ve 2.2’de gösterilmiştir. Bu boyutlar mevcut binalardaki açıklık ve yükseklik ile minimum en kesit koşulları dikkate alınarak ve laboratuvar şartları göz önünde bulundurularak belirlenmiş olup, kolon ve kiriş boyutları dâhil tüm elemanların boyutları gerçek çerçeve elemanları boyutlarının 1/2 geometrik ölçekli olarak küçültülmüş şeklindedir.



Şekil 2.2. Bağ kirişli dış perde uygulamasıyla güçlendirilmiş çerçeve numunelerinin kalıp planı [124].

2.1.2. Deney Numunelerinin Ölçeklendirilmesi

Deneysel çalışmaların başarıya ulaşabilmesi, deneysel modellerin düzgün bir şekilde tasarlanması ve gerçek model ve laboratuvar şartları da göz önüne alınarak ölçeklendirme yasalarına göre küçültme yapılmış ölçeklenmiş modellerin üretilmesine bağlıdır. Modellerin üretimi benzerlik yasalarına göre yapılmaktadır. Söz konusu yasalara uygun olmayan deney modellerinden elde edilen sonuçlar güvenilir olmamaktadır. Bu yasaların kullanıldığı modellerde hem geometrik hem de malzeme açısından benzerlikler kullanılabilir [125]. Ancak betonarme taşıyıcı sistemlerin elastik ötesi davranış sergilemelerinden ötürü bu gibi sistemlerin ölçeklendirilmesi daha da güçtür. Özellikle betonarme gibi heterojen bir malzeme söz konusu olduğunda geometrik ölçek bu malzemelerin boyutunu etkilemektedir. Literatüre bakıldığında ise pek çok ölçeklendirme yaklaşımı olduğu görülmektedir. Ancak bu tez çalışması kapsamında Harris ve Sabnis tarafından önerilen “Pratik Gerçek Model” yaklaşımı benimsenmiş ve buna uygun ölçek katsayıları kullanılmıştır. Bu yaklaşımda gerilme ölçeği faktörü beton ve çelik için 1 olarak alınmıştır [126].

Bu da gerçek yapı modeliyle ölçekli model yapı modelinde aynı malzemelerin kullanılması anlamına gelmektedir. Böylece donatı ve beton için aynı elastisite modülleri geçerli olmaktadır.

Tablo 2.2. Pratik gerçek model ölçekleme katsayıları [126]

Grup	Büyüklik	Boyut	Pratik Gerçek Model
Yükleme Özellikleri	Tekil Yük	F	S_l^2
	Çizgisel Yük	FL^{-1}	S_l
	Basınç	FL^{-2}	1
	Moment	FL	S_l^3
	İvme	LT^{-2}	S_l^{-1}
	Yer Çekimi İvmesi	LT^{-2}	İhmal Edilir
	Hız	LT^{-1}	1
	Zaman	T	S_l
Geometrik Özellikler	Uzunluk	L	S_l
	Deplasman	L	S_l
	Açısal Deplasman	-	1
	Alan	L^2	S_l^2
	Hacim	L^3	S_l^3
	Frekans	T^{-1}	S_l^{-1}
Malzeme Özellikleri	Elastisite Modülü	FL^{-2}	1
	Gerilme	FL^{-2}	1
	Şekil Değiştirme	-	1
	Poisson Oranı	-	1
	Yoğunluk	$FL^{-4} T^2$	1
	Birim Hacim Ağırlık	FL^{-3}	$1/S_l$
	Enerji	FL	S_l^3

Tablo 2.2’ de pratik gerçek modellemede kullanılan ölçek katsayıları farklı büyüklükler için verilmiştir. Tez çalışmasında kullanılacak modeller de yukarıdaki tabloda her bir büyüklük için verilen ölçekleme katsayıları kullanılarak ölçeklenmiştir. Tablo 2.3’ de ise Pratik Gerçek Model ölçek katsayıları kullanılarak deney modelleri üzerinde yapılan ölçeklemeye yer verilmiştir. Sonuç olarak Harris ve Sabnis tarafından ortaya konulan benzerlik/ölçek yasaları ve boyut analizlerinden faydalanılarak ve laboratuvar imkânları

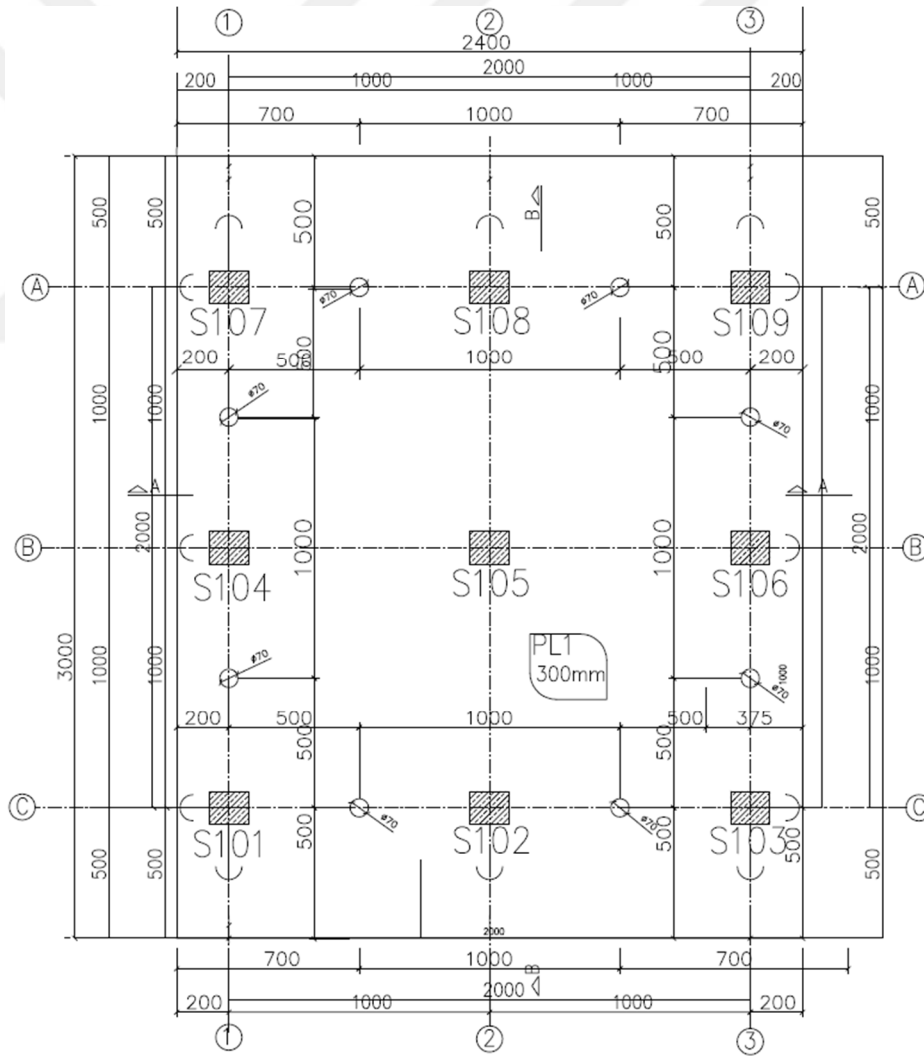
ve deney yöntemleri gibi laboratuvar şartları da göz önünde bulundurularak model numuneler için 1/2 geometrik ölçek seçilmiştir.

Tablo 2.3. Pratik gerçek model ölçekleme katsayıları kullanarak ölçeklenen deney modelleri.

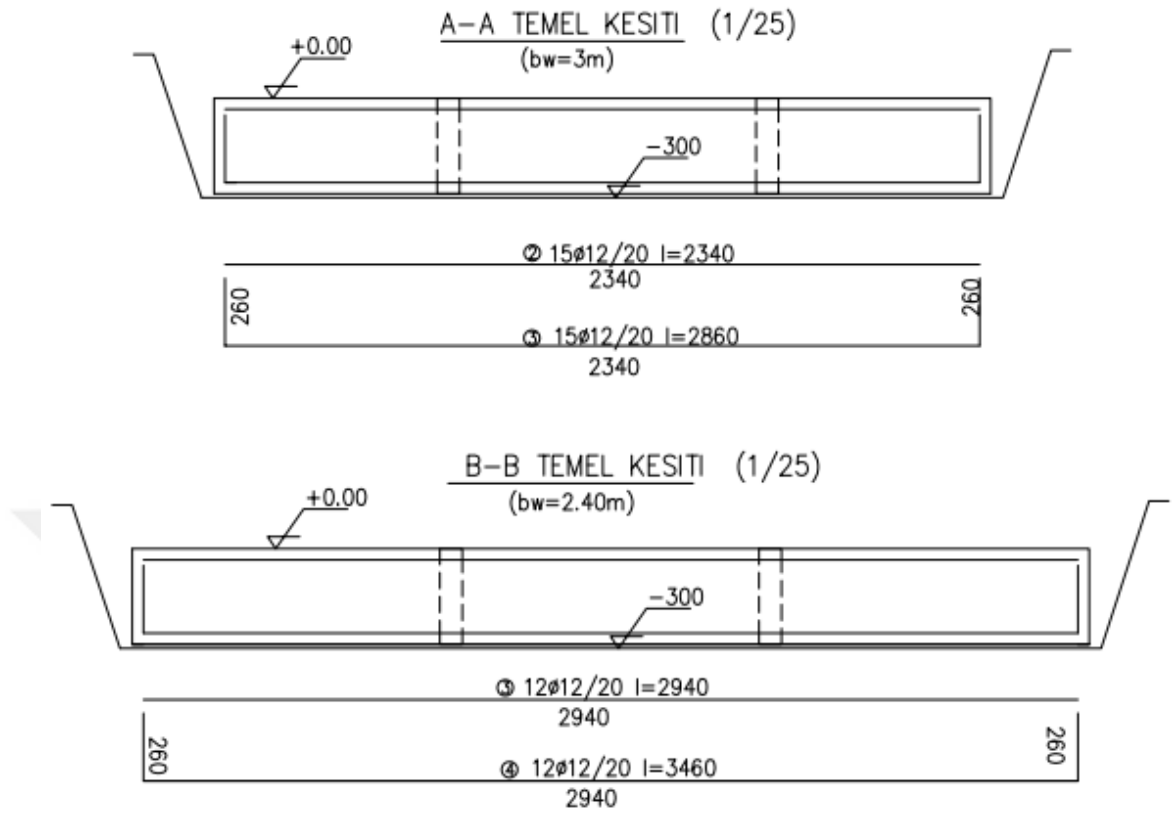
Grup	Büyükölç	Birimi	1/1 Ölçek	1/2 Ölçek
Geometrik Özellikler	Kolon Boyutları	mm	250x300	125x150
	Kiriş Boyutları	mm	250x300	125x150
	Güçlendirme Perdesi Boyutları	mm	250x1750	125x875
	Döşeme Kalınlığı	mm	100	50
	Kat Yüksekliği	mm	3000	1500
	Kolon Donatı Alanı $\rho_{min}=0.00391 < \rho=0.0123 < \rho_{max} 0.0200$	mm ²	924mm ² 6Ø14	231mm ² 4Ø8+2Ø6
	Kiriş Donatı Alanı (Çekme) $\rho_{min}=0.00391 < \rho=0.00485 < \rho_{max} 0.0200$	mm ²	339.30 mm ² 3Ø12	84.83 mm ² 3Ø6
	Kiriş Donatı Alanı (Basınç) $\rho_{min}=0.00391 < \rho'=0.00610 < \rho_{max} 0.0200$	mm ²	427.30 mm ² 1Ø16	106.83 mm ² 1Ø8
	Perde Donatı Alanı $\rho_{min}=0.00278 < \rho=0.00800 < \rho_{max} 0.0200$	mm ²	3217 mm ² 16Ø16	804.25 mm ² 16Ø8
	Döşeme Donatı Alanı ve Aralığı	mm	Ø12/300	Ø6/150
	Kolon Etriye Aralığı	mm	Ø12/120	Ø6/60
	Kiriş Etriye Aralığı	mm	Ø12/120	Ø6/60
	Güçlendirme Perdesi Etriye Aralığı	mm	Ø8/150	Ø4/75
	Çerçeve Yapı Toplam Ağırlığı	KN		
	Perde Toplam Ağırlığı	KN		
Malzeme Özellikleri	Çerçeve Beton Hedef Dayanım	-	16 MPa	16 MPa
	Güçlendirme Elemanları Beton Hedef Dayanım	-	30 MPa	30 MPa
	Çerçeve Donatı Sınıfı	-	Düşük Dayanımlı (Nervürlü)	Düşük Dayanımlı (Nervürlü)
	Güçlendirme Elemanları Donatı Sınıfı	-	S420	S420

2.1.2.1. Ölçeklendirilmiş Deney Numunelerine Ait Çizimler

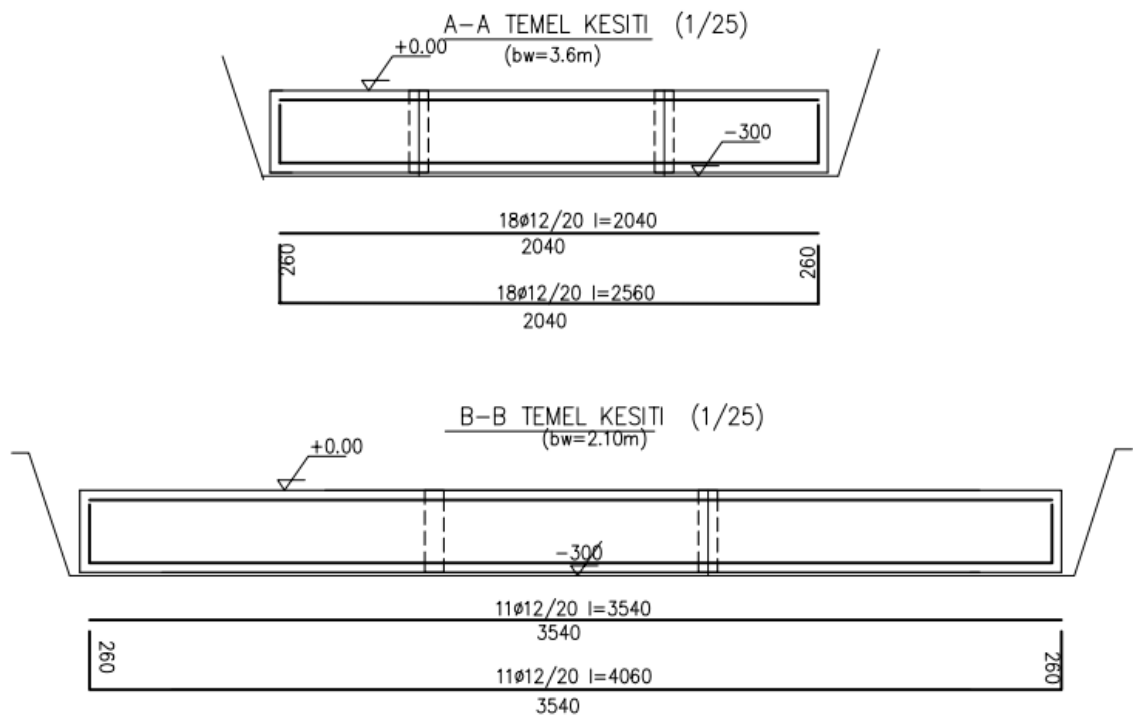
Yukarıda bahsedildiği üzere deney modellerinin statik hesapları gerçek ölçekli yapı üzerinden yapılmış ve daha sonrasında Harris ve Sabnis tarafından önerilen ölçek katsayıları kullanılarak tüm deney çerçeveleri ve güçlendirme elemanları 1/2 oranında ölçeklendirilmiş deney modellerine ait çizimler aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Deney numunelerinin temelleri kirişsiz radye plak olarak seçilmiş olup, çerçeve modellere ve güçlendirme perdelerine ait iki farklı boyutta radye plak temeller tasarlanmıştır.



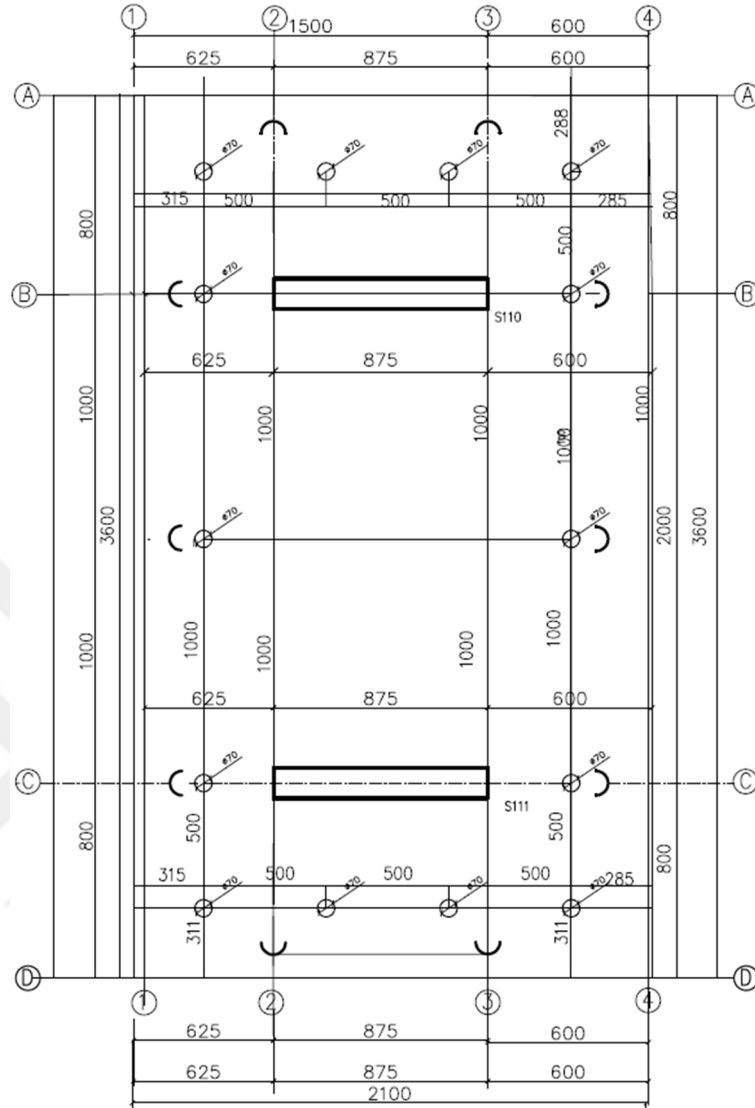
Şekil 2.3. Çerçeve numunelere ait temel aplikasyon planı [124].



Şekil 2.4. Çerçeve numunelerin x ve y doğrultularına ait temel donatıları [124]

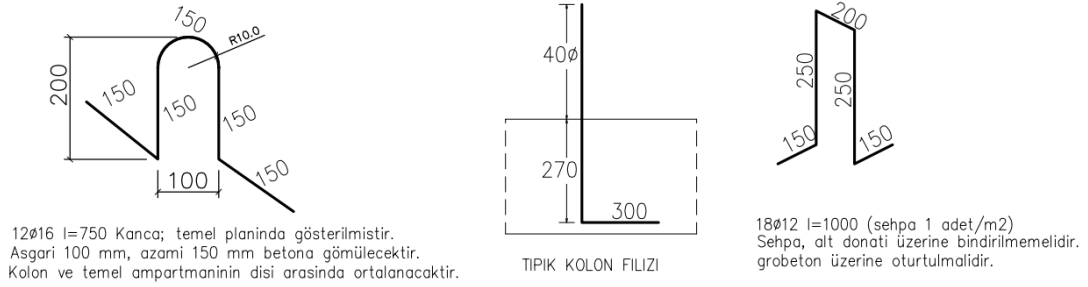


Şekil 2.5. Perde numunelerinin x ve y doğrultularına ait temel donatıları [124].

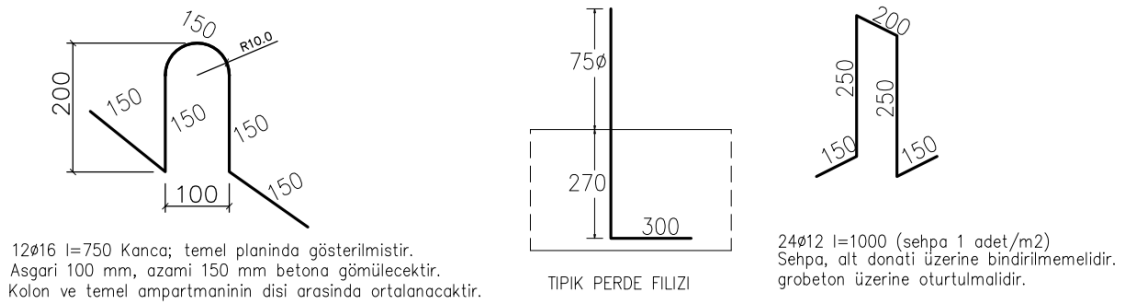


Şekil 2.6. Perde Numunelerine ait Temel Aplikasyon Planı [124].

Çerçevelere ait radye plakların eni 2400 mm, boyu 3000 mm ve yüksekliği ise 300 mm dir. Güçlendirme perdelerine ait radye plakların eni ise 210 mm, boyu 3600 mm ve yüksekliği 300 mm'dir. Hem çerçevelere hem de perdelerine ait temel üstüne ve temel altına döşenen donatı çapı $\varnothing 12$ ve aralığı 200 mm dir. Betonarme çerçeve ve perdelerin üretiminden sonra, numuneleri deney alanına taşımak ve deney bitiminde numuneleri deney alanından çıkarmak için her bir numune temeline demir donatılardan imal edilen sekiz adet kanca yerleştirilmiştir. Kolon ve perde boyuna donatılarının temel içindeki yerleri temel betonu dökülmeden önce belirlenmiş ve kolon filiz boyları kusurlu yapı tanımına uyularak $40\varnothing$, perde filizleri ise $75\varnothing$ olarak bırakılmıştır. Aşağıda Şekil 2.6 ve Şekil 2.7'de bu imalatlara ait temel detaylar gösterilmektedir.

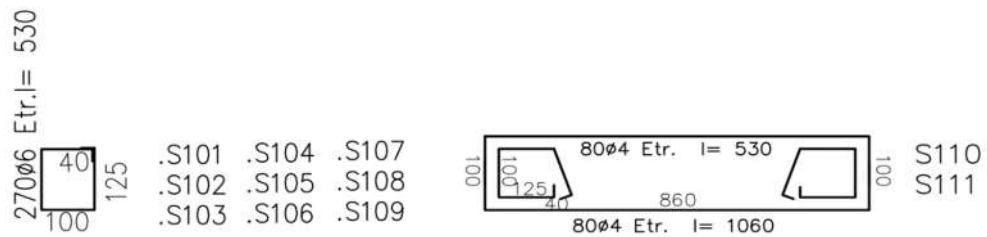


Şekil 2.7. Çerçeve numunelerine ait temel donatı detayları [124].

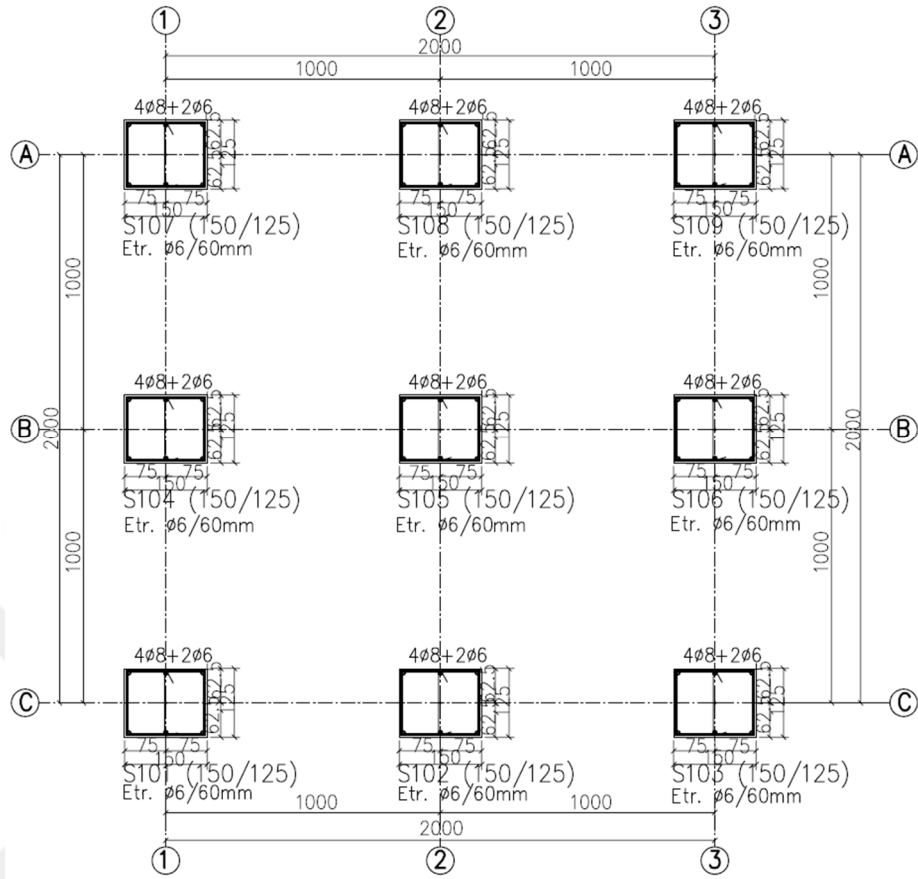


Şekil 2.8. Perde numunelerine ait temel donatı detayları [124].

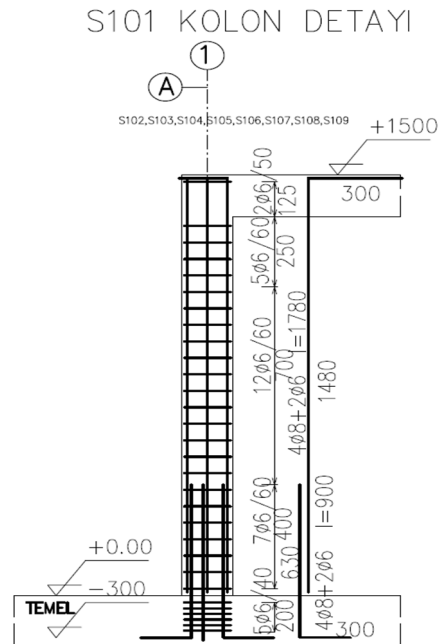
Betonarme çerçeve yapıların tüm kolon boyutları 125x150 mm olarak tasarlanmış olup toplamda her bir modelde dokuz adet kolon bulunmaktadır. Kolonların köşelerdeki boyuna donatı çapları Ø8 ve gövde boyuna donatı çaplarıysa Ø6, etriye çapları ise yine Ø6 olarak belirlenmiştir. Betonarme güçlendirme perdelerinin boyutları ise 125x875 mm olarak boyutlandırılmış ve perdelerin gövde donatıları Ø8 etriyeleri ise Ø4 luk donatılardan teşkil edilmiştir. Projede belirlendiği üzere kolonlarda etriye sıkılaştırma bölgesi bulunmamaktadır. Etriye her bir kolona 600 mm arayla sarılmış olup her bir kolonda 25 adet etriye kullanılmıştır. Perdelerde ise etriyeler 75 mm arayla sarılmış olup her bir perde için toplamda 20 adet etriye kullanılmıştır.



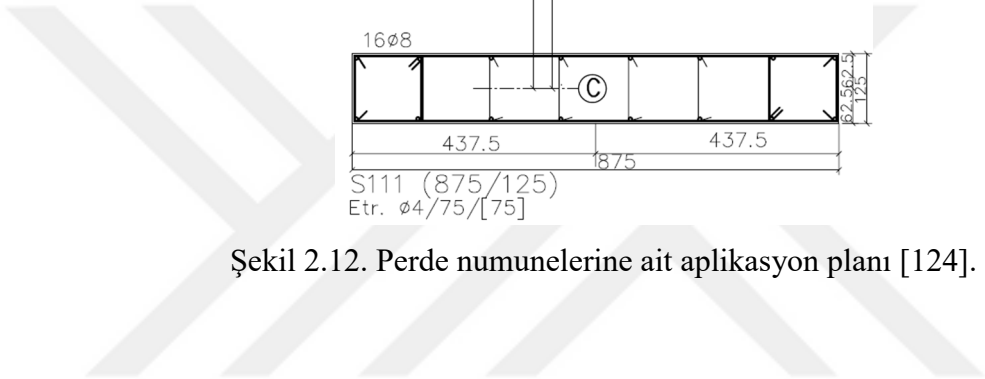
Şekil 2.9. Çerçeve kolonları ve perde elemanları için etriye detayları [124].



Şekil 2.10. Çerçeve numunelerine ait kolon aplikasyon planı [124].



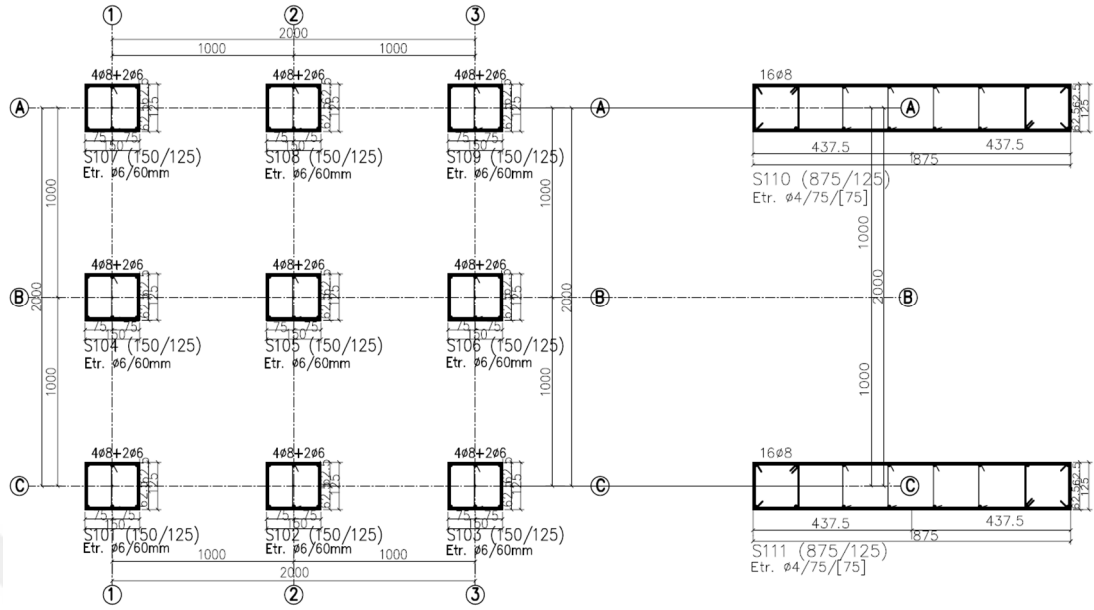
Şekil 2.11. Çerçeve numunelerine ait kolon kesiti donatı detayı [124].



Şekil 2.12. Perde numunelerine ait aplikasyon planı [124].

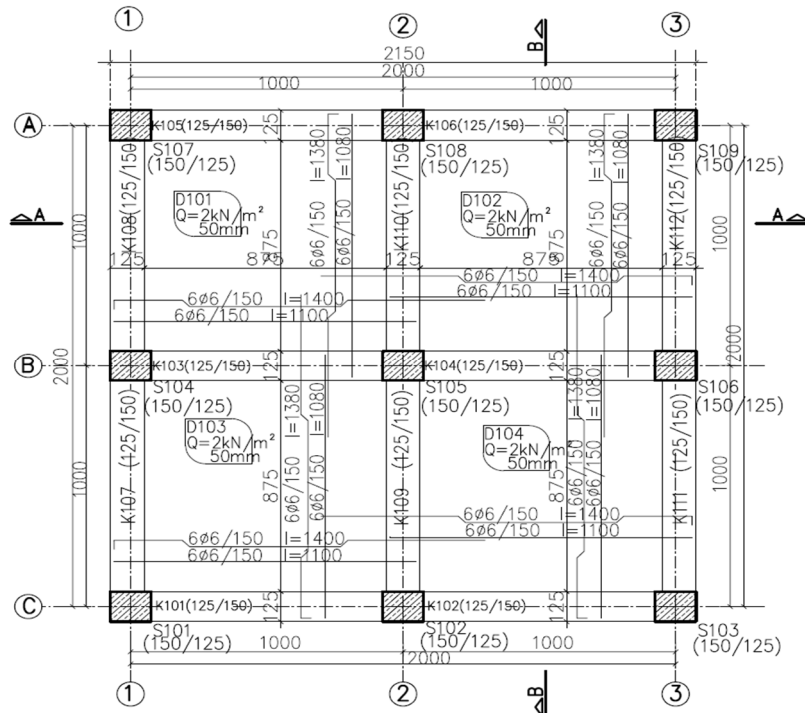


Şekil 2.13. Perde numunelerine ait donatı detayı [124].

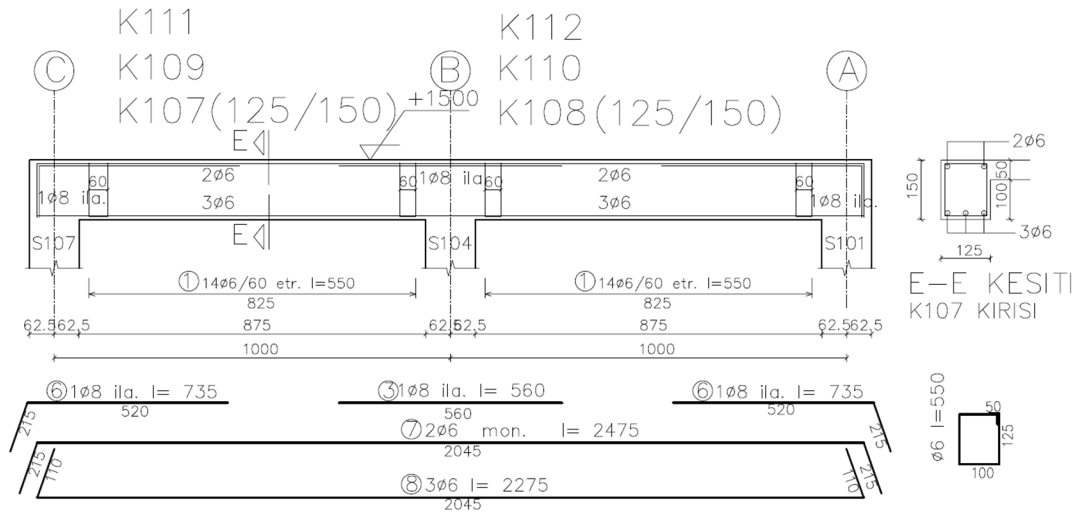


Şekil 2.14. Perde elemanlarıyla güçlendirilmiş çerçeve numunelerine ait kolon aplikasyon planı [124].

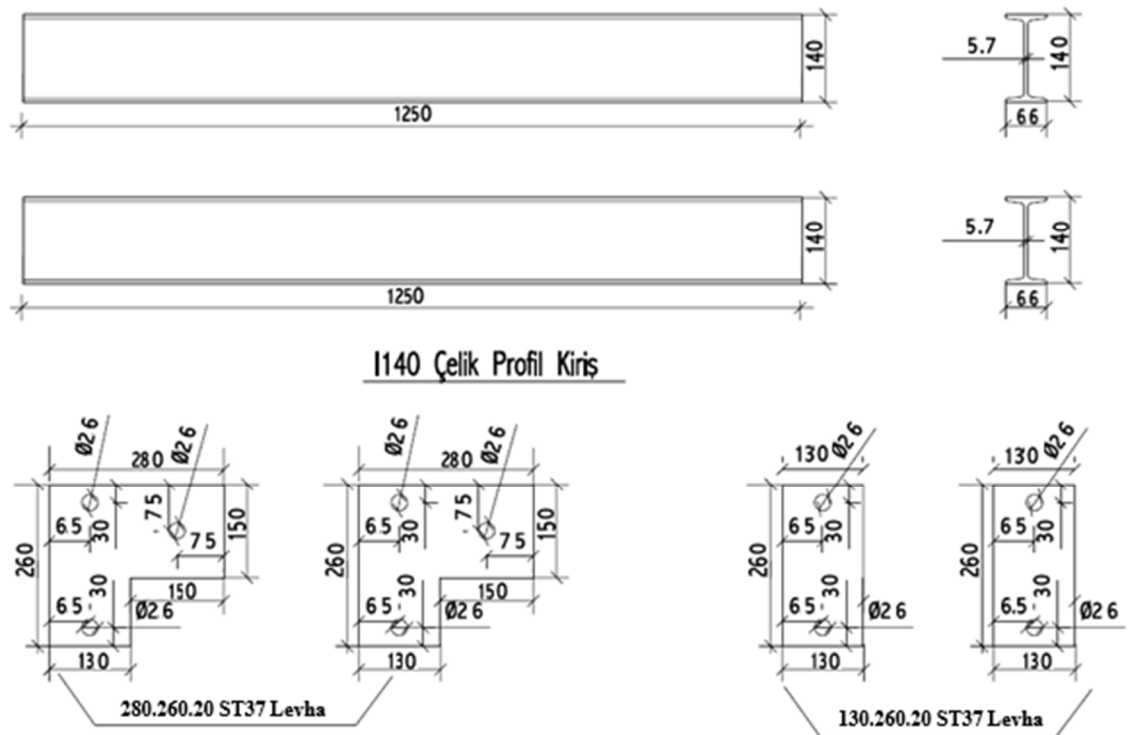
Betonarme çerçeve modellerine ait döşeme kalınlıkları 50 mm olarak seçilmiş olup tüm özdeş numunelere ait kalıp planı aşağıda verilmiştir. Donatı döşemeleri ise Ø6 çapında x ve y doğrultusunda 150 mm aralıkla yerleştirilmiştir.



Şekil 2.15. Çerçeve numunelerine ait kalıp planı [124].



Şekil 2.18. Çerçeve numunelerine ait giriş donatı detayları [124].



Şekil 2.19. Çerçeve numunelerini dış perde ile bağlayan çelik bağ kirişlere ait kesit ve birleşim detayları [124].

2.1.3. Deney Numunelerinin İmal Edilmesi

Tez çalışması kapsamında test edilecek deney numunelerinin tasarım aşamasının tamamlanmasının ardından üretim aşamasına geçilmiştir. Deney numunelerinin tamamı laboratuvar dışında üretilmiştir. Üretim aşamasının ilk adımı çerçeve ve güçlendirme perdelerine ait temellerin imal edilmesiyle başlamaktadır. Deney numunelerinin temellerinin tamamı tek seferde üretilmiştir. İlk olarak temel kalıpları hazırlanmıştır.



Şekil 2.20. Deney numunelerinin temelleri için kalıpların hazırlanması.

Daha sonra temel kalıpları içine temel donatıları döşenmeden önce deney numunelerini laboratuvar rijit döşemesine sabitlemek amacıyla kullanacağımız tijlerin betondaki yerlerini boşluk bırakmak suretiyle belirlemek için kullandığımız Ø7 cm çapında PVC boruların yerleri işaretlenmiştir. Daha sonrasında ise temel donatıları projesine uygun şekilde döşenmiş ve PVC borular önceden belirlenmiş yerlerine yerleştirilmiştir.



Şekil 2.21. Deney numunelerinin temel donatılarının yerleştirilmesi ve kolon-perde filizlerinin bağlanması.



Şekil 2.22. Deney numunelerinin temelleri içine PVC boruların yerleştirilmesi.

Bu işlemlerin sonucunda deney numunelerini laboratuvara taşımak ve deney bitiminde numuneleri laboratuvar dışına çıkarmak amacıyla temellere Ø16 çapında donatılardan yukardaki çizimlerde verildiği şekilde kancalar imal edilmiş ve son olarak 30 MPa dayanıma sahip beton kullanılarak temel betonu dökülmüştür.



Şekil 2.23. Deney numune temelleri içine kancaların bağlanması.



Şekil 2.24. Deney numune temellerinin betonlarının dökülmesi.



Şekil 2.25. Deney numunelerine ait temeller.

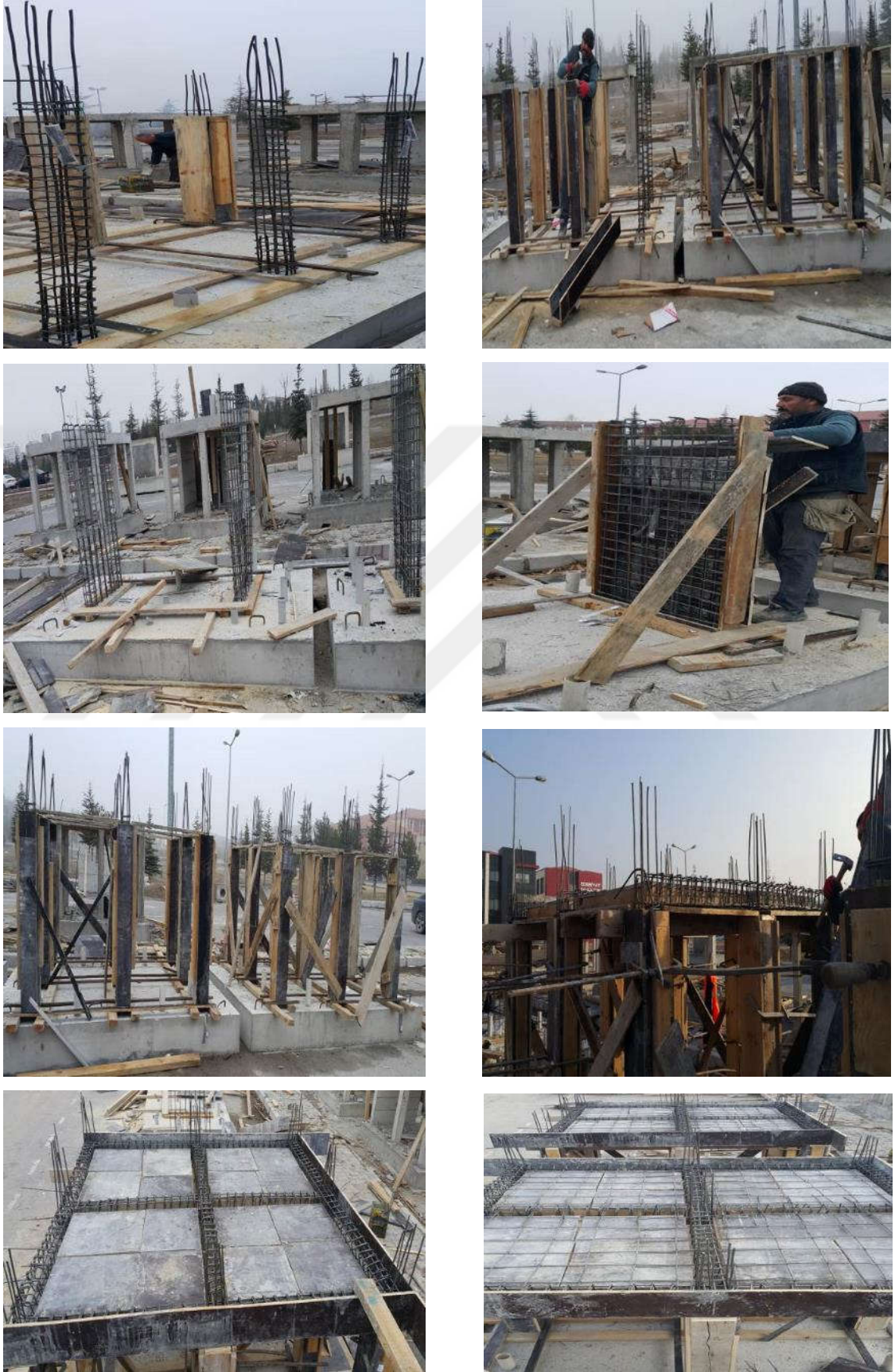
Temel betonunun dökülmesinden sonra çerçeve ve perde üst yapılarının imalatına geçilmiştir. İlk olarak deney numunelerinin donatıları projelerine uygun bir şekilde hazırlanarak bağlanmıştır. Çerçevelerde S101 ve S103 nolu köşe kolonlarına ait enine ve boyuna donatıların hem temelin üzerinde hem de kirişin altında önceden belirlenen mesafelere 4 adet her bir çerçevede ise 8 adet strain gage bağlanmıştır. Ayrıca her bir perdede yine enine ve boyuna donatıların hem temelin üzerinde hem de bağ kirişin altında önceden belirlenen mesafelerine 4 adet strain gage montajı yapılmıştır. Böylece yükleme esnasında ilgili donatılardaki gerinim miktarını ölçmek amacıyla toplamda 40 adet strain gage kullanılmıştır. Sonrasında ise betonarme elemanlar projede belirlenen boyutlara uygun olarak kalıba alınmıştır. Düzgün bir yüzey elde edilmesi amacıyla kalıp malzemesi olarak plywood kullanılmıştır. Son olarak kalıba alınan elemanların betonları dökülerek numunelerin imalatı tamamlanmıştır.



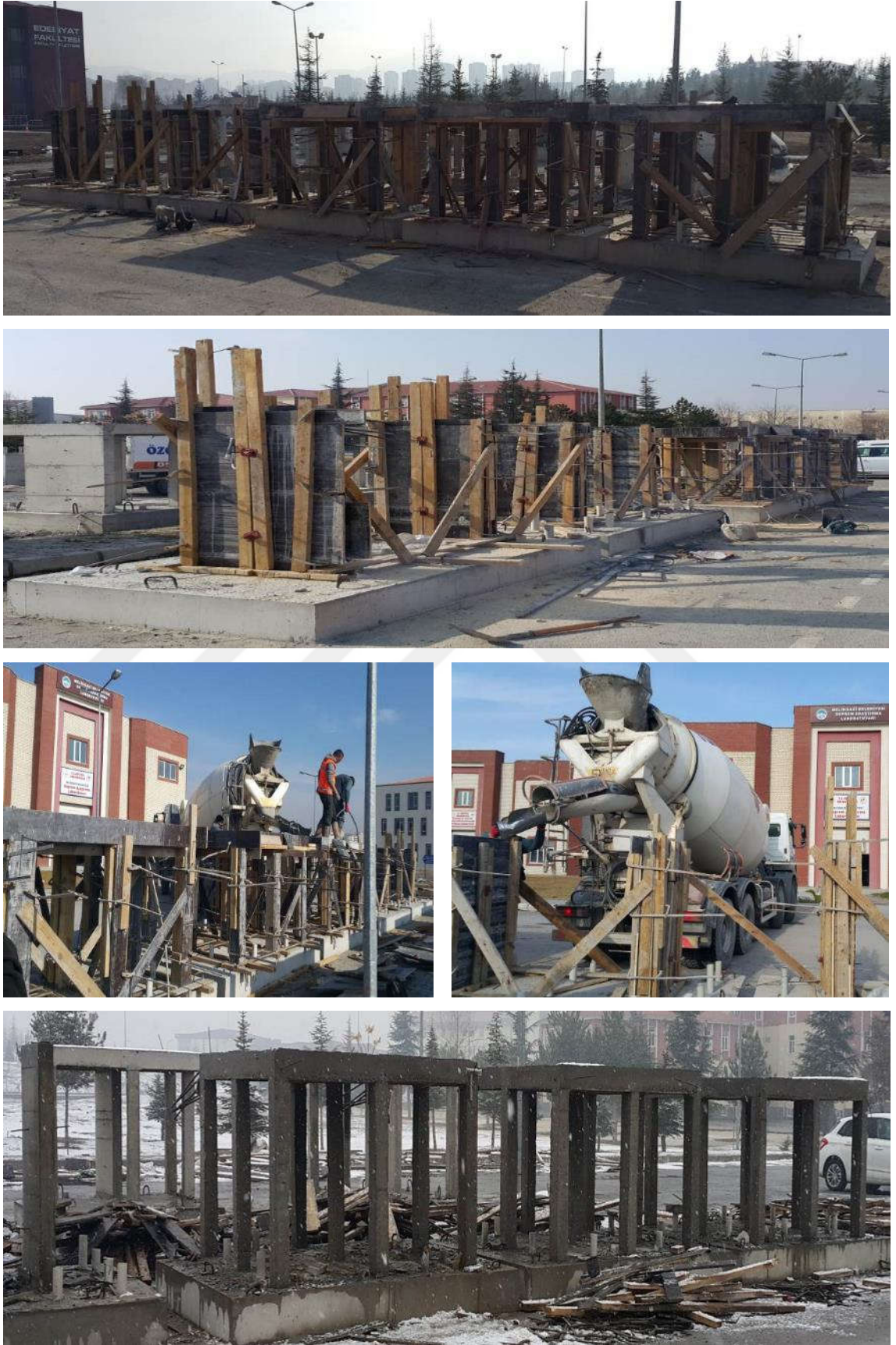
Şekil 2.26. Üst yapı için donatıların hazırlanması.



Şekil 2.27. Strain gaugelerin hazırlanışı ve montajı.

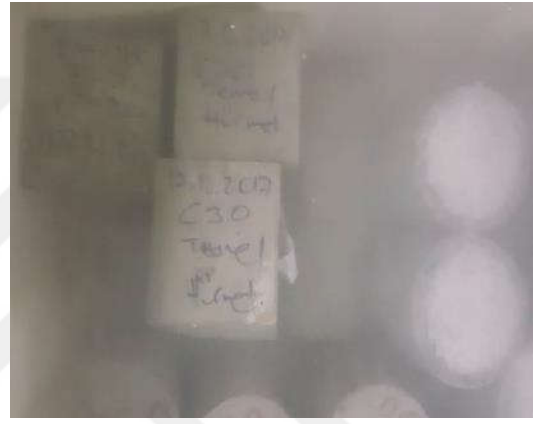


Şekil 2.28. Üst yapıların donatı ve kalıplarının hazırlanması.



Şekil 2.29. Deney numunelerinin betonarme taşıyıcı sistemlerinin imal edilmesi.

Betonları dökülerek üretimi tamamlanan numunelerin bakımları yapılmıştır. İlk aşamada dökülen temel betonundan 9 adet küp, 9 adet silindir olmak üzere toplamda 18 adet numune alınmıştır. Bu numunelerden 3 adet küp ve 3 adet silindir numune kür havuzuna; kalanı ise temel yapılarıyla birlikte dış ortama bırakılmıştır. Her beton sınıfı içinse 9 adet küp ve 9 adet silindir olmak üzere toplamda 54 adet numune alınmıştır. Bu numunelerden 9 adet küp ve 9 adet silindir numune kür havuzuna; kalanı ise imal edilen yapılarla birlikte dış ortama bırakılmıştır.



Şekil 2.30. Deney numunelerinden beton numunesi alınması ve kür havuzuna bırakılan numuneler.

Üretimi tamamlanan numunelerin betonlarının sertleşmesi ve dayanım kazanması amacıyla 28 gün dışarıda bekletilmiş sonrasında ise kamyon vinç yardımı ile Erciyes Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarı içine taşınmıştır.



Şekil 2.31. Deney numunelerinin yapı mekaniği laboratuvarına taşınması.

2.2. Deney Numunelerinin Malzeme Özellikleri

Betonarme çerçeve numuneleri, günümüzde TS 500-2000 [127] ve Deprem Yönetmeliğinde [4] kullanılması istenmeyen ancak önceki yıllarda imal edilen yapılarda kullanılan düşük dayanımlı beton özelliğini yansıtabilmesi amacıyla, hedef beton dayanımı 16 MPa, olarak belirlenmiştir. Güçlendirme elemanı olan perdelerin ve bütün temellerin hedef beton dayanımlarıysa 30 MPa olarak seçilmiştir. Temellerin betonları hazır beton olarak; çerçeve ve perde betonlarınsı ise hazır brüt beton olarak, tek seferde dökülmüştür. Çerçeve, perde ve temel numunelerinin ortalama beton basınç dayanımlarını belirlemek üzere 9 adet silindir, 9 adet de küp olmak üzere toplam 54 adet numune ve çekme dayanımını belirlemek içinse 4 adet silindir numune alınmıştır. Her bir elemandan 3 adet silindir, 3 adet küp numunesi kür havuzuna diğerleri ise elemanlarla aynı çevre koşullarının olduğu ortama bırakılmıştır.

Donatı kalitesi olarak; çerçeve elemanlar için deprem davranışı zayıf, Türkiye'deki mevcut yapı stoğunda genellikle kullanıldığı düşünülen, yönetmeliklerde öngörülenden daha düşük dayanımlı, düz yüzeyli (nervürlü) donatı seçilirken; perde ve temel elemanlar içinse S420 çeliği seçilmiştir. Buna göre betonarme çerçeve elemanlarda düz yüzeyli (nervürlü) $\phi 6$ ve $\phi 8$ lik donatı çapı kullanılırken, perdelerde nervürlü $\phi 4$ ve $\phi 8$ lik; temellerde ise yine nervürlü $\phi 12$ lik donatı kullanılmıştır. Deney modellerinin üretilmesinde kullanılan farklı beton sınıflarından alınan numuneler ile farklı donatı çapında ve kalitesinde alınan donatı kuponları bir takım malzeme deneylerine tabi tutularak gerilme şekil değiştirme eğrileri elde edilmiştir.

2.2.1. Beton Numune Deneyleri

Betonarme elemanlardan alınan numunelerden hem ortam koşullarına hem de suya bırakılan küp numuneleri betonun basınç dayanımını belirlemek için kullanılmıştır. Silindir numunelerse hem çekme hem de basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Aşağıda her iki deney ve sonuçlarına ilişkin bilgiler verilmiştir.

2.2.1.1. Beton Basınç Dayanımı

Temel, çerçeve ve perde elemanlarından alınan 150x150x150 mm ebatlarındaki küp numunelere ait kırılma dayanım değerleri kullanılarak TS500 ve TS EN 206-1'e göre değerlendirme yapılmıştır [127, 128, 129, 130]. Aşağıdaki tablolarda elde edilen sonuçlar

ve değerlendirmeler verilmiştir. Tabloların birinci satırında verilen ilk üç dayanım değeri kür havuzuna bırakılan numunelerin, diğer satırdakiler ise ortam koşullarında bekletilen numunelere ait dayanım değerleridir.

Tablo 2.4. Kúp numuneler için TS500'e göre temel beton basınç dayanımları[127, 130].

PARTİ	KÚP DAYANIMI (MPa)			GRUP ORT.	TS 500 DEğERLENDİRME	SONUÇ
1:Suda	36,20	46,86	46,11	43,06	$43,48 \geq 38$	Kabul
2: Ortamda	44,13	40,90	45,80	43,61		
3: Ortamda	47,50	40,10	43,75	43,78	$43,06 \geq 34$	

Tablo 2.5. Kúp numuneler için TS EN 206-1'e göre temel beton basınç dayanımları [128, 129, 130].

GRUP	KÚP DAYANIMI (MPa)			GRUP ORT.	TS EN 206-1 DEğERLENDİRME	SONUÇ
1:Suda	36,20	46,86	46,11	43,06	$46,86 \geq 41$	Kabul
Kúrlenen					$36,20 \geq 33$	
2: Ortamda	44,13	40,90	45,80	43,61	$45,80 \geq 41$	Kabul
Kúrlenen					$43,61 \geq 33$	
3: Ortamda	47,50	40,10	43,75	43,78	$47,50 \geq 41$	Kabul
Kúrlenen					$40,10 \geq 33$	
Tüm	f_{cm}	=	43,48		$43,48 \geq 42,52$	Kabul
Üretim	σ	=	3,73		$36,20 \geq 33$	Kabul

Tablo 2.6. Kúp numuneler için TS500'e göre çerçeve beton basınç dayanımları [127, 130].

PARTİ	KÚP DAYANIMI (MPa)			GRUP ORT.	TS 500 DEğERLENDİRME	SONUÇ
1:Suda	26,50	26,00	27,00	26,50	$21,09 \geq 21$	Kabul
2: Ortamda	18,60	18,10	18,70	18,47		
3: Ortamda	18,05	18,35	18,50	18,30	$18,30 \geq 17$	

Tablo 2.7. Küp numuneler için TS EN 206-1'e göre çerçeve beton basınç dayanımları [128, 129,130].

GRUP	KÜP DAYANIMI (MPa)			GRUP ORT.	TS EN 206-1 DEĞERLENDİRME	SONUÇ
1:Suda Kürlen	26,50	26,00	27,00	26,50	$27,00 \geq 24$	Kabul
					$26,00 \geq 16$	
2: Ortamda Kürlen	18,60	18,10	18,70	18,47	$18,70 \geq 24$	Kabul
					$18,10 \geq 16$	
3: Ortamda Kürlen	18,05	18,35	18,50	18,30	$18,50 \geq 24$	Kabul
					$18,05 \geq 16$	
Tüm Üretim	f_{cm}	=	21,09		$21,09 \leq 26,03$	Red
	σ	=	4,07		$18,35 \geq 16$	Kabul

Tablo 2.8. Küp numuneler için TS500'e göre perde beton basınç dayanımları [127, 130].

PARTİ	KÜP DAYANIMI (MPa)			GRUP ORT.	TS 500 DEĞERLENDİRME	SONUÇ
1:Suda	40,95	41,76	40,68	41,13	$40,68 \geq 38$	Kabul
2: Ortamda	40,00	42,20	39,70	40,63		
3: Ortamda	39,10	43,25	38,50	40,28	$40,28 \geq 34$	

Tablo 2.9. Küp numuneler için TS EN 206-1'e göre perde beton basınç dayanımları [128, 129, 130].

GRUP	KÜP DAYANIMI (MPa)			GRUP ORT.	TS EN 206-1 DEĞERLENDİRME	SONUÇ
1:Suda Kürlen	40,95	41,76	40,68	41,13	$41,76 \geq 41$	Kabul
					$40,68 \geq 33$	
2: Ortamda Kürlen	40,00	42,20	39,70	40,63	$42,20 \geq 41$	Kabul
					$39,70 \geq 33$	
3: Ortamda Kürlen	39,10	43,25	38,50	40,28	$43,25 \geq 41$	Kabul
					$38,50 \geq 33$	
Tüm Üretim	f_{cm}	=	40,68		$40,68 \geq 39,27$	Kabul
	σ	=	1,53		$38,50 \geq 33$	Kabul



Şekil 2.32. Küp numunelerin beton basınç deneyi.

Temel, çerçeve ve perde elemanlarının beton basınç dayanımını ölçmek için kullanılan standart 150 mm çapındaki ve 300 mm yüksekliğinde 27 adet silindir numuneden 9 adedi kür havuzundan, 18 adedi ise ortama bırakılan numunelerden seçilmiştir. Silindir beton numunelere ilk olarak kükürt başlık yapılmış sonrasında ise beton presinde kırılmıştır. Deneyler esnasında gerilme şekil değiştirme grafiklerini çizebilmek için silindir numunelere birim boydaki değişimi ölçen 0,001 mm hassasiyetli saat takılmıştır. Bu sayede elastisite modüllerinin belirlenmesi ile birlikte silindirik basınç dayanımlarına ait deney sonuçları da hem TS500 hem de TS EN206-1'e göre değerlendirmeye tabii tutulmuştur [127, 128, 129, 130]. Bulunan sonuçlar aşağıdaki tablolarda verilmiştir.



Şekil 2.33. Silindir numunelere kükürt başlık yapılması ve uzama okumaları için saat bağlanması.

Silindir numune üzerine takılan deplasman ölçer saat, başlangıçta sıfırlanarak deney sırasında kuvvetin artması ile birim boyda meydana gelen değişim kaydedilmiştir. Böylece kuvvet deplasman ilişkisinden faydalanılarak, gerilme şekil değiştirme eğrisi çizilerek betonun elastisite modülü hesaplanmıştır.

Tablo 2.10. Silindir numuneler için TS500'e göre temel beton basınç dayanımları [127, 130].

PARTİ	SİLİNDİR DAYANIMI (MPa)			GRUP ORT.	TS 500 DEĞERLENDİRME	SONUÇ
1:Suda	37,50	36,80	37,44	37,25	$35,83 \geq 31$	Kabul
2: Ortamda	38,65	32,25	35,32	35,40		
3: Ortamda	36,64	35,20	32,72	34,85	$34,85 \geq 27$	

Tablo 2.11.Silindir numuneler için TS EN 206-1 göre temel beton basınç dayanımları [128, 129, 130].

GRUP	SİLİNDİR DAYANIMI (MPa)			GRUP ORT.	TS EN 206-1 DEĞERLENDİRME	SONUÇ
1:Suda Kürlen	37,50	36,80	37,44	37,25	$37,50 \geq 34$	Kabul
					$36,80 \geq 26$	
2:Ortamda Kürlen	38,65	32,25	35,32	35,40	$38,65 \geq 34$	Kabul
					$32,25 \geq 26$	
3:Ortamda Kürlen	36,64	35,20	32,72	34,85	$36,64 \geq 34$	Kabul
					$32,72 \geq 26$	
Tüm Üretim	f_{cm}	=	35,83		$35,83 \geq 33,23$	Kabul
	σ	=	2,18		$32,25 \geq 26$	

Tablo 2.12. Silindir numuneler için TS500'e göre çerçeve beton basınç dayanımları [127, 130].

PARTİ	SİLİNDİR DAYANIMI (MPa)			GRUP ORT.	TS 500 DEĞERLENDİRME	SONUÇ
1:Suda	21,05	22,07	19,80	20,97	$20,06 \geq 17$	Kabul
2: Ortamda	18,71	19,38	21,97	20,02		
3: Ortamda	17,46	18,60	21,47	19,18	$19,18 \geq 13$	

Tablo 2.13.Silindir numuneler için TSEN 206-1 göre çerçeve beton basınç dayanımları
[128,129,130]

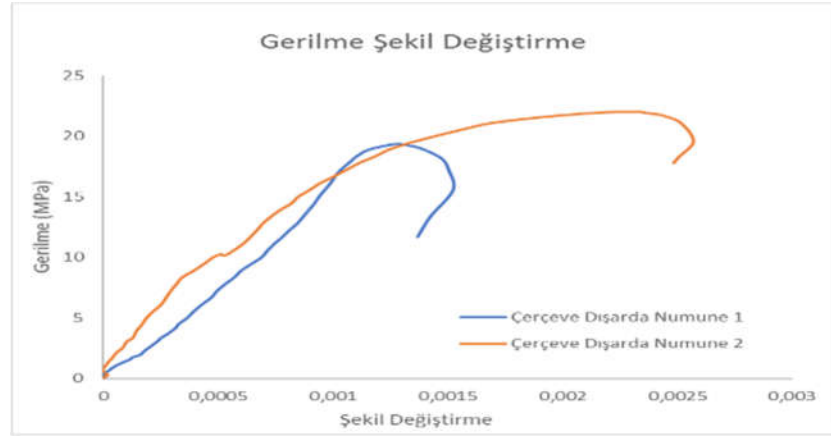
GRUP	SİLİNDİR DAYANIMI (MPa)			GRUP ORT.	TS EN 206-1 DEĞERLENDİRME	SONUÇ
1:Suda Kürlenlen	21,05	22,07	19,80	20,97	$22,07 \geq 20$	Kabul
					$19,80 \geq 12$	
2:Ortamda Kürlenlen	18,71	19,38	21,97	20,02	$21,97 \geq 20$	Kabul
					$18,71 \geq 12$	
3:Ortamda Kürlenlen	17,46	18,60	20,47	19,18	$20,47 \geq 20$	Kabul
					$17,46 \geq 12$	
Tüm Üretim	f_{cm}	=	20,06		$20,06 \leq 22,54$	Red
	σ	=	1,72		$17,46 \geq 12$	Kabul

Tablo 2.14. Silindir numuneler için TS500'e göre perde beton basınç dayanımları
[127, 130].

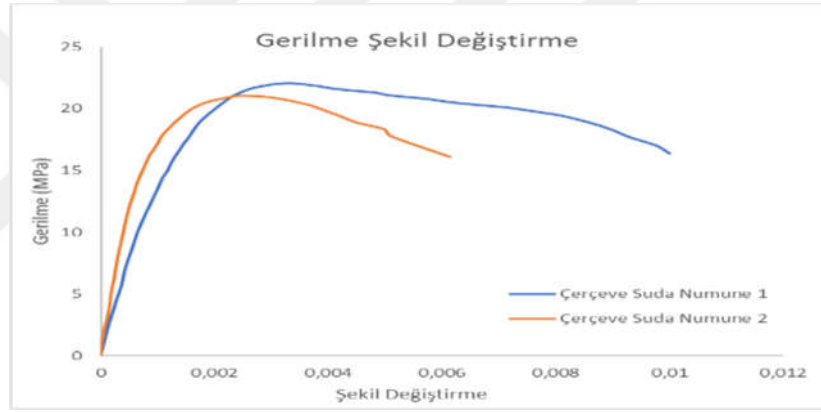
PARTİ	SİLİNDİR DAYANIMI (MPa)			GRUP ORT.	TS 500 DEĞERLENDİRME	SONUÇ
1:Suda	37,99	33,31	36,26	35,85	$34,06 \geq 31$	Kabul
2: Ortamda	31,37	34,45	34,65	33,49		
3: Ortamda	30,87	32,76	33,42	32,85	$32,85 \geq 27$	

Tablo 2.15.Silindir numuneler için TS EN 206-1 göre perde beton basınç dayanımları
[128,129,130]

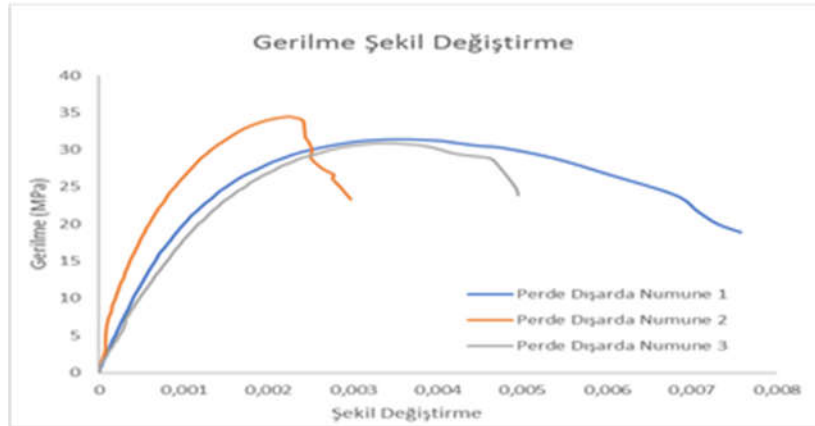
GRUP	SİLİNDİR DAYANIMI (MPa)			GRUP ORT.	TS EN 206-1 DEĞERLENDİRME	SONUÇ
1:Suda Kürlenlen	37,99	33,31	36,26	35,85	$37,99 \geq 34$	Kabul
					$33,31 \geq 26$	
2:Ortamda Kürlenlen	31,37	34,45	34,65	33,49	$34,65 \geq 34$	Kabul
					$31,37 \geq 26$	
3:Ortamda Kürlenlen	30,87	32,76	33,42	32,85	$33,42 \leq 34$	Red
					$30,87 \geq 26$	
Tüm Üretim	f_{cm}	=	34,06		$34,06 \geq 33,34$	Kabul
	σ	=	2,26		$30,87 \geq 26$	Kabul



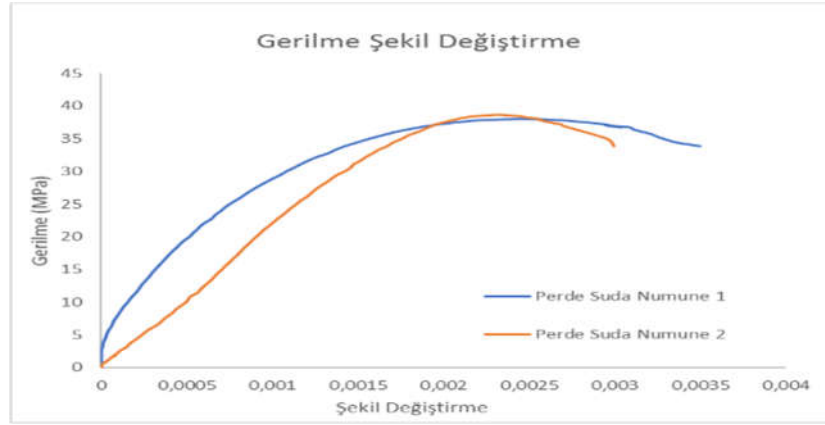
Şekil 2.34. Dış ortamda bekletilen silindirik çerçe ve beton numunelerin gerilme şekil değiştirme grafikleri.



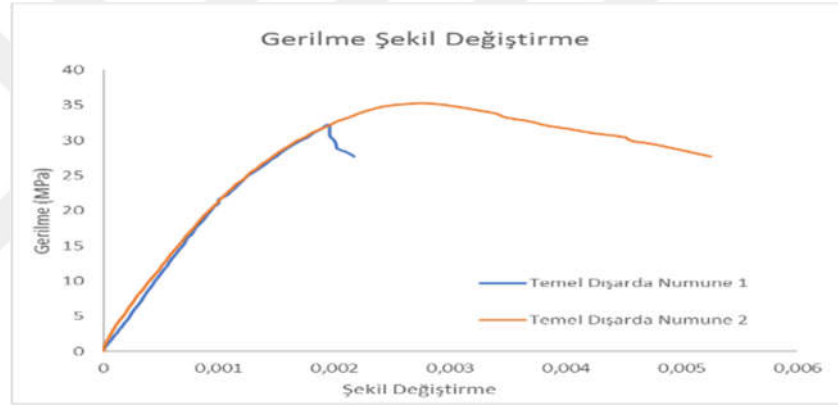
Şekil 2.35. Kür havuzunda bekletilen silindirik çerçe beton numunelerin gerilme şekil değiştirme grafikleri.



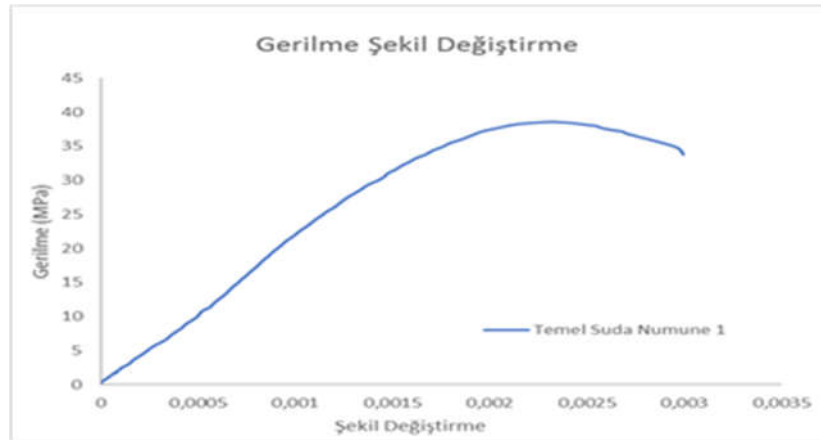
Şekil 2.36. Dış Ortamda Bekletilen Silindirik Perde Beton Numunelerin Gerilme Şekil Değişirme Grafikleri.



Şekil 2.37. Kür havuzunda bekletilen silindirik perde beton numunelerin gerilme şekil değiştirme grafikleri.



Şekil 2.38. Dış ortamda bekletilen silindirik temel beton numunelerin gerilme şekil değiştirme grafikleri.



Şekil 2.39. Kür havuzunda bekletilen silindirik temel beton numunelerin gerilme şekil değiştirme grafikleri.

2.2.1.2. Beton Yarmada Çekme Dayanımı

Betonarme elemanlardan alınan beton numunelerin bir kısmı da betonun çekme mukavemetinin belirlenebilmesi için TS EN 12390-6'ya göre yarmada çekme dayanımı deneylerine tabi tutulmuştur [131]. İlerleyen aşamalarda nümerik çalışmalarda kullanılmak üzere her bir beton numunesinden elde edilen yarmada çekme dayanımları aşağıdaki tabloda verilmiştir.



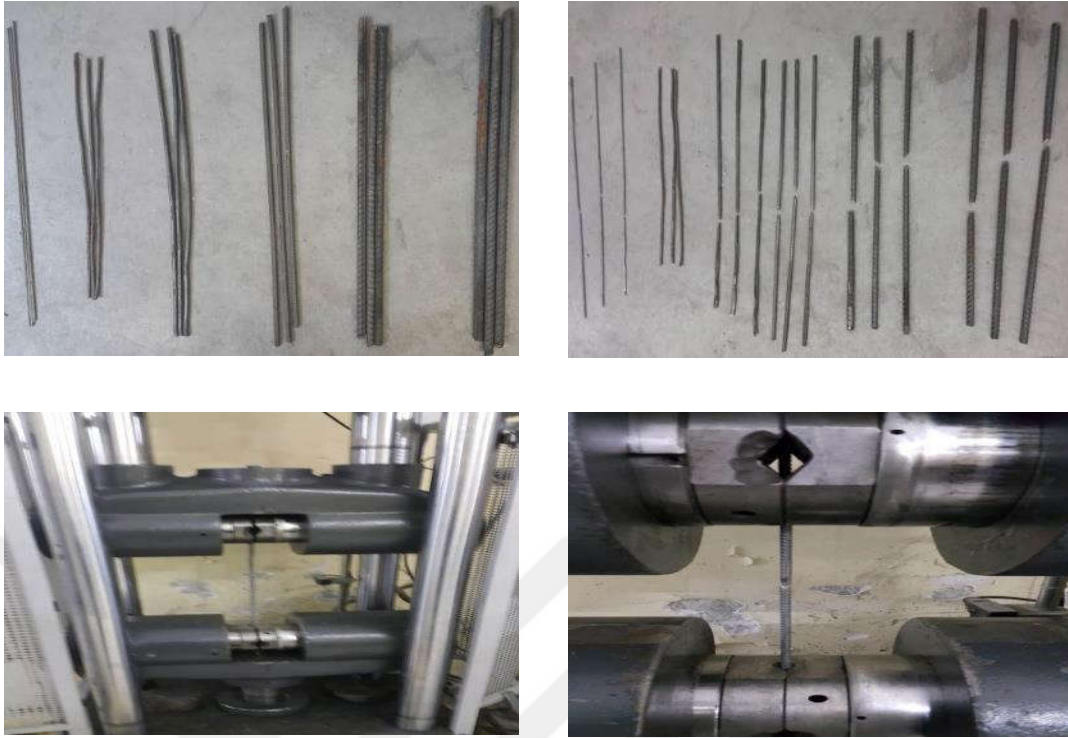
Şekil 2.40. Beton yarmada çekme dayanımı deneyi.

Tablo 2.16. Silindir numuneler için TS EN 12390-6'ya göre çekme dayanımları [131].

DENEY NO	BASINÇ KUVVETİ (N)	NUMUNE ÇAPI (mm)	NUMUNE UZUNLUĞU (mm)	ÇEKME DAYANIMI (MPa)
1-Temel	263750	150	300	3.73
2-Perde	257866	150	300	3.65
3-Çerçeve	205705	150	300	2.91
4-Çerçeve	135303	150	300	1.91

3.2.2. Donatı Çeliği Akma Dayanımı

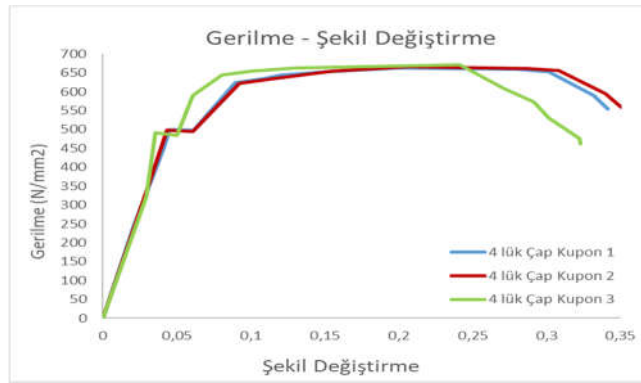
Deneysel modellerde kullanılan donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme grafikleri ile karakteristik değerlerini belirleyebilmek için her bir donatı çeşidi ve çapından alınan 3'er adet numune TS-708'e uygun olarak çekme deneyine tabi tutulmuştur [132, 133]. Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Malzeme Laboratuvarında test edilen donatı çubuklarına ait çekme deneyi sonuçları Tablo 2.17'de, her bir donatı çapına ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri ise aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



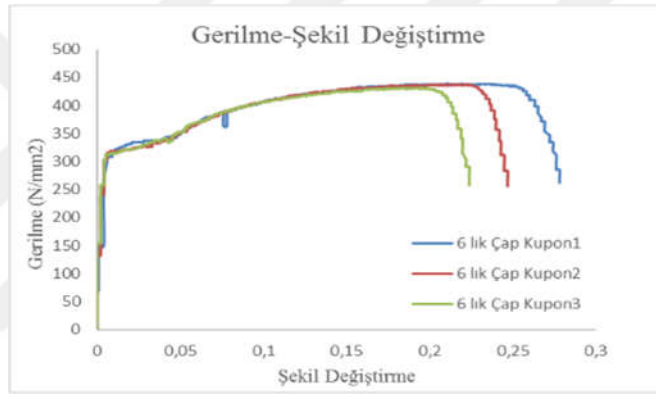
Şekil 2.41. Donatı çeliklerinin çekme dayanımı deneyi.

Tablo 2.17. Kullanılan donatı çeliklerinin karakteristik özellikleri [132, 133].

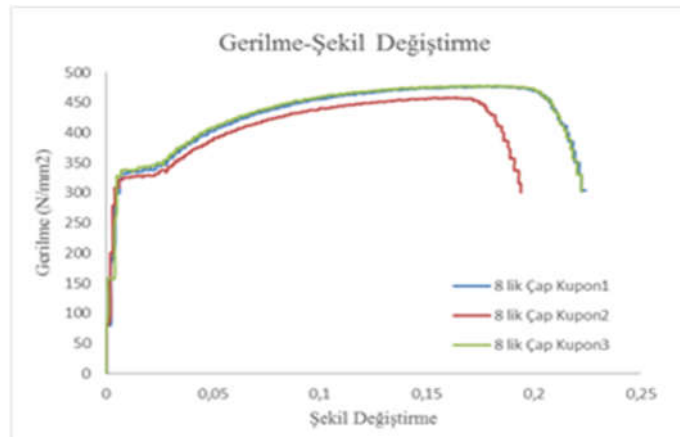
Donatı Çapı	Akma Muk.	Çekme Muk.	Çekme/Akma Oranı	Deneysel Akma Day./ Karakteristik Akma Day.	Kopma Uzaması	Anma Kütlesi
mm	N/mm ²	N/mm ²			%	kg/m
4	604	644	1,07	1,44	3,53	0,12
4	621	668	1,08	1,48	3,71	0,12
4	572	667	1,16	1,36	3,18	0,12
6	331	463	1,40	0,79	27,6	0,23
6	330	458	1,39	0,79	24,71	0,23
6	326	454	1,39	0,78	22,5	0,23
8	315	481	1,53	0,75	22,38	0,39
8	316	456	1,45	0,75	19,30	0,39
8	333	473	1,42	0,79	22,33	0,38
8	527	640	1,22	1,26	20,29	0,41
8	495	608	1,23	1,18	13,91	0,45
12	484	615	1,27	1,15	25,48	0,93
12	494	614	1,24	1,17	21,39	0,94
14	439	586	1,33	1,05	21,60	1,26
14	523	643	1,23	1,25	19,68	1,26
14	497	635	1,28	1,18	15,99	1,26



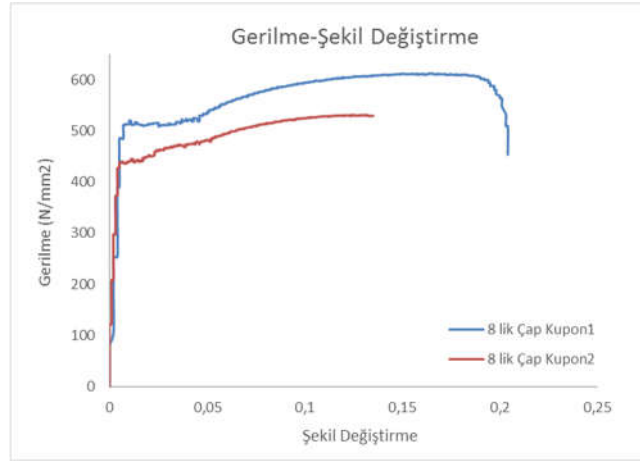
Şekil 2.42. Ø4 çapında nervürlü donatılardan alınan kuponların gerilme şekil değiştirme grafiği.



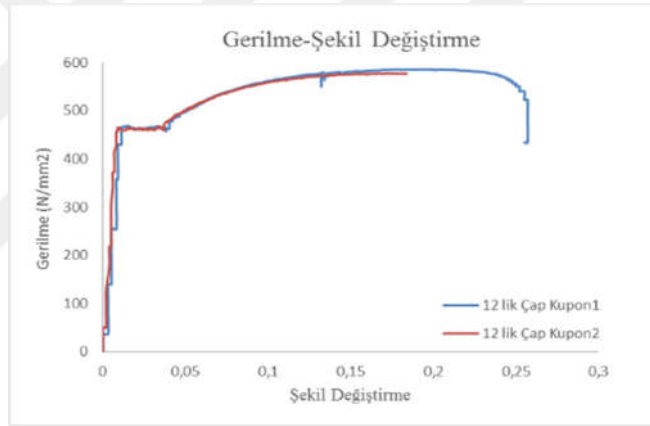
Şekil 2.43. Ø6 çapında nervürlü donatılardan alınan kuponların gerilme şekil değiştirme grafiği.



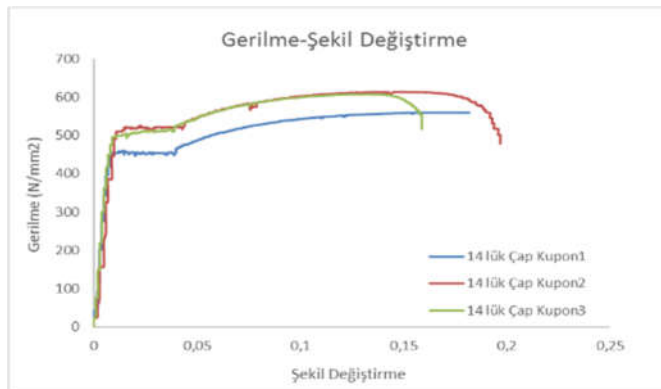
Şekil 2.44. Ø8 çapında nervürlü donatılardan alınan kuponların gerilme şekil değiştirme grafiği



Şekil 2.45. Ø8 çapında nervürlü donatılardan alınan kuponların gerilme şekil değiştirme grafiği



Şekil 2.46. Ø12 çapında nervürlü donatılardan alınan kuponların gerilme şekil değiştirme grafiği

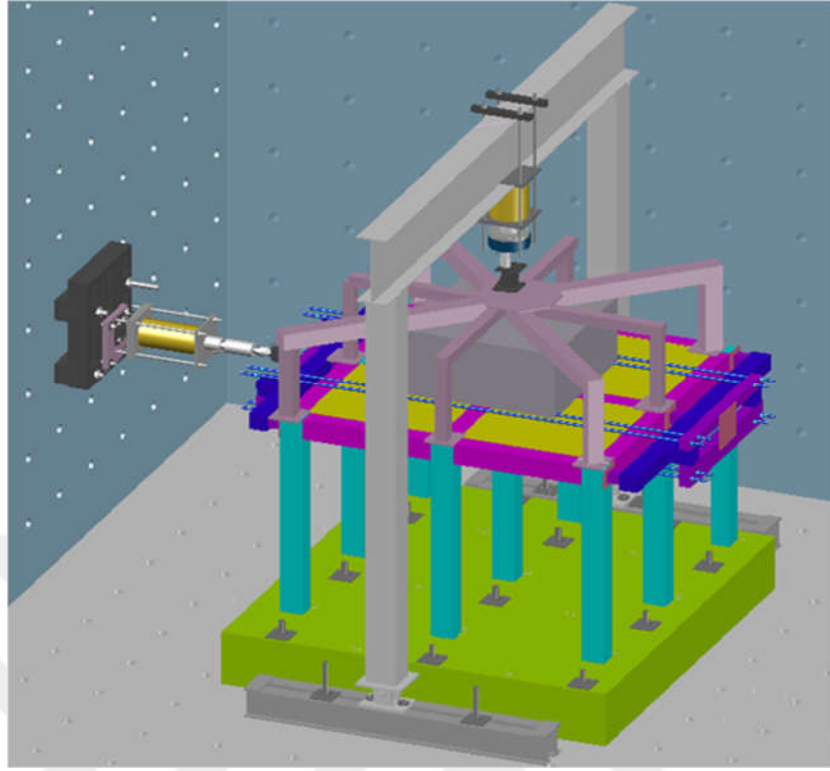


Şekil 2.47. Ø14 çapında nervürlü donatılardan alınan kuponların gerilme şekil değiştirme grafiği

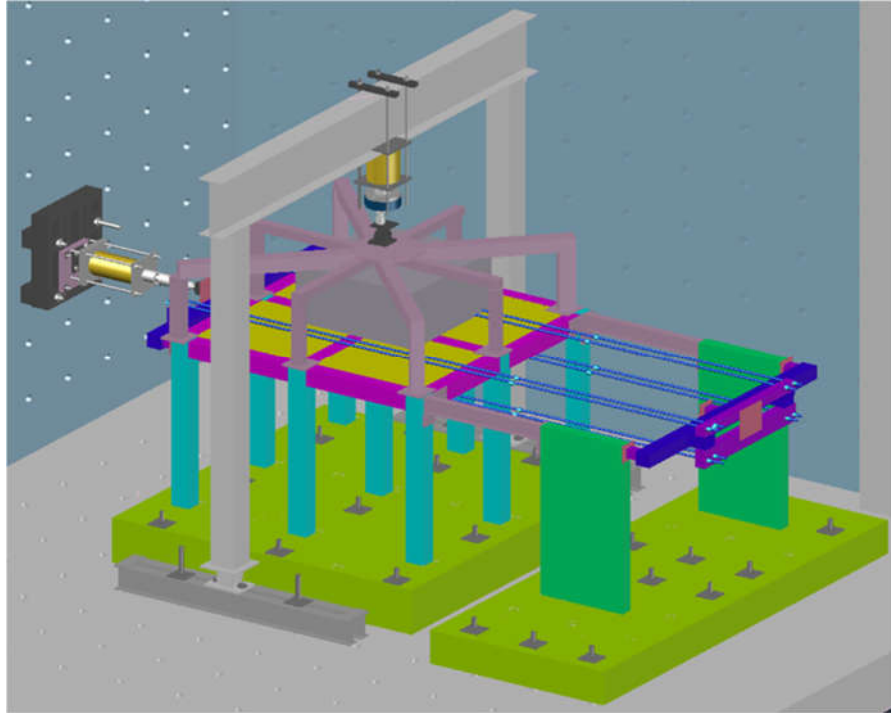
2.3. Deney Düzeneği ve Ölçüm Elemanları

Tez çalışması kapsamında üç adet; her iki yönde iki açıklıklı, tek katlı, üç boyutlu bir takım yapısal kusurlara sahip, depreme karşı dayanımı zayıf, betonarme taşıyıcı çerçeveler ve bu çerçevelerin güçlendirilmesi amacıyla her bir temel üzerinde iki adet olmak üzere toplam dört adet betonarme dış perde üretilmiştir. Betonarme taşıyıcı sisteme sahip referans çerçeve ve çelik bağ kirişlerle bağlanmak suretiyle sisteme ilave edilen betonarme dış perdelerle güçlendirilmiş hasarlı ve hasarsız betonarme çerçeve sistemler depremi temsil eden tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir. Deneyler Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Melikgazi Belediyesi Deprem Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Böylece tez çalışması kapsamında dört adet deney yapılmıştır. Her bir deneyde test edilecek numune özenli bir şekilde laboratuvar içinde deney yapılacak alan olan yükleme duvarı önüne kren yardımıyla taşınmış sonrasında numune rijit döşemeye tijler yardımıyla zemine ankastre olacak şekilde bağlanmıştır. Daha sonra her bir deneyde numuneye yatay ve düşeyde (eksenel) yük vermek amacıyla tasarlanan yatay ve düşey çelik levhalar ile orta kolon hariç her bir kolona eksenel yükü aktaracak olan çelik eksenel yükleme düzeneği deney alanına yine kren aracılığıyla taşınmıştır.

Deneylere başlamadan önce olası hataları ve eksiklikleri en aza indirmek amacıyla deney düzeneği elemanlarının ve deney numunelerinin 3 boyutlu çizimleri Şekil 2.48 ve 2.49’da gösterilmiştir. Ayrıca yukarıda bahsi geçen ve deneylerde kullanılan yatay ve düşey yükleme düzenekleri daha önce Erciyes Üniversitesi Melikgazi Belediyesi Deprem Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilen “Betonarme Yapılardaki Döşeme Süreksizliklerinin Deprem Davranışına Etkisinin İncelenmesi” isimli doktora tezinde kullanılan düzenektir [125]. 3 boyutlu çizimlerin tamamlanmasının ardından bu çizimlerin de yardımıyla her bir deneyde kullanılacak olan cihaz, bağlantı elemanı, el aletleri ve ölçüm araçlarının bir listesi hazırlanmış böylece gerek deney düzeneği kurulum aşamasında gerekse deneyler esnasında herhangi bir eksiklik ve aksaklık yaşanmasının önlenmesi amaçlanmıştır. Böylece çalışma kapsamında hazırlanmış deney numuneleri yatay yükleme levhalarına ve düşey yükleme çerçevesine yerleştirilen yatay ve düşey hidrolik krikolar kullanılarak deneye tabi tutulmuştur. Gerçekleştirilen bütün deneylerde, bilgisayar destekli veri okuma sistemi kullanılarak, gerekli yük ve yer değiştirme okumaları yapılmış ve kayıt altına alınmıştır.



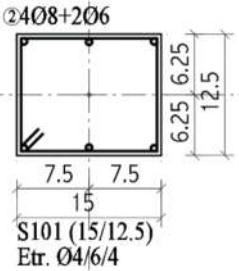
Şekil 2.48. Referans çerçeve deney modeli ve düzeneğinin üç boyutlu gösterimi [124].



Şekil 2.49. Dış perde ile güçlendirilmiş çerçeve deney modeli ve düzeneğinin üç boyutlu gösterimi [124].

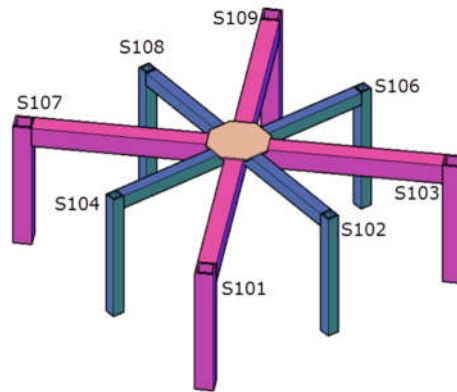
2.3.1.Eksenel Yükleme Düzenekleri

Eksenel yükleme düzenekleri oluşturulurken; DBYBHY-2007'ye göre [4] “Kiriş olarak boyutlandırılıp donatılacak taşıyıcı sistem elemanlarında, tasarım eksenel basınç kuvvetinin $N_d \leq 0.1 \times A_c \times f_{ck}$ koşulunu sağlaması zorunludur. Aksi durumda, bu elemanlar DBYBHY-2007 [4] Madde 3.3'e göre kolon olarak boyutlandırılıp donatılacaktır.” koşulu göz önünde bulundurulmuş ve düşey taşıyıcı sistem elemanlarına etkiyecek eksenel yük düzeyi en az “ $N_d = 0.1 \times A_c \times f_{ck}$ ” olarak belirlenmiştir [127]. Buna göre deney numunelerindeki her bir kolonun eksenel yük taşıma kapasitesi şu şekilde hesaplanmıştır;

	$A_c = 150 \times 125 = 18750 \text{ mm}^2$ $N_d = 0.1 \times A_c \times f_{ck}$ $N_d = 0.1 \times 18750 \times 18$ $N_d = 33.75 \text{ KN}$ Böylece her bir kolona etkiyecek eksenel yük miktarı 34 KN olarak hedeflenmiştir.
--	--

Şekil 2.50. Deney çerçevelerinde her bir kolon için eksenel yük değeri.

Kolonlar için gerekli eksenel yükleri dağıtabilmek için daha önceden tasarlanmış çelik bir düzenek kullanılmıştır [125]. Buna göre her bir modeldeki toplam dokuz kolondan sekizine eksenel yük çelik düzenek vasıtası ile aktarılmıştır. Ortadaki kolonun üzerine ise betondan yapılan bir kütle ile yük aktarımı sağlanmıştır.



Şekil 2.51. Deneylerde kullanılan eksenel yükleme düzeneği [125].

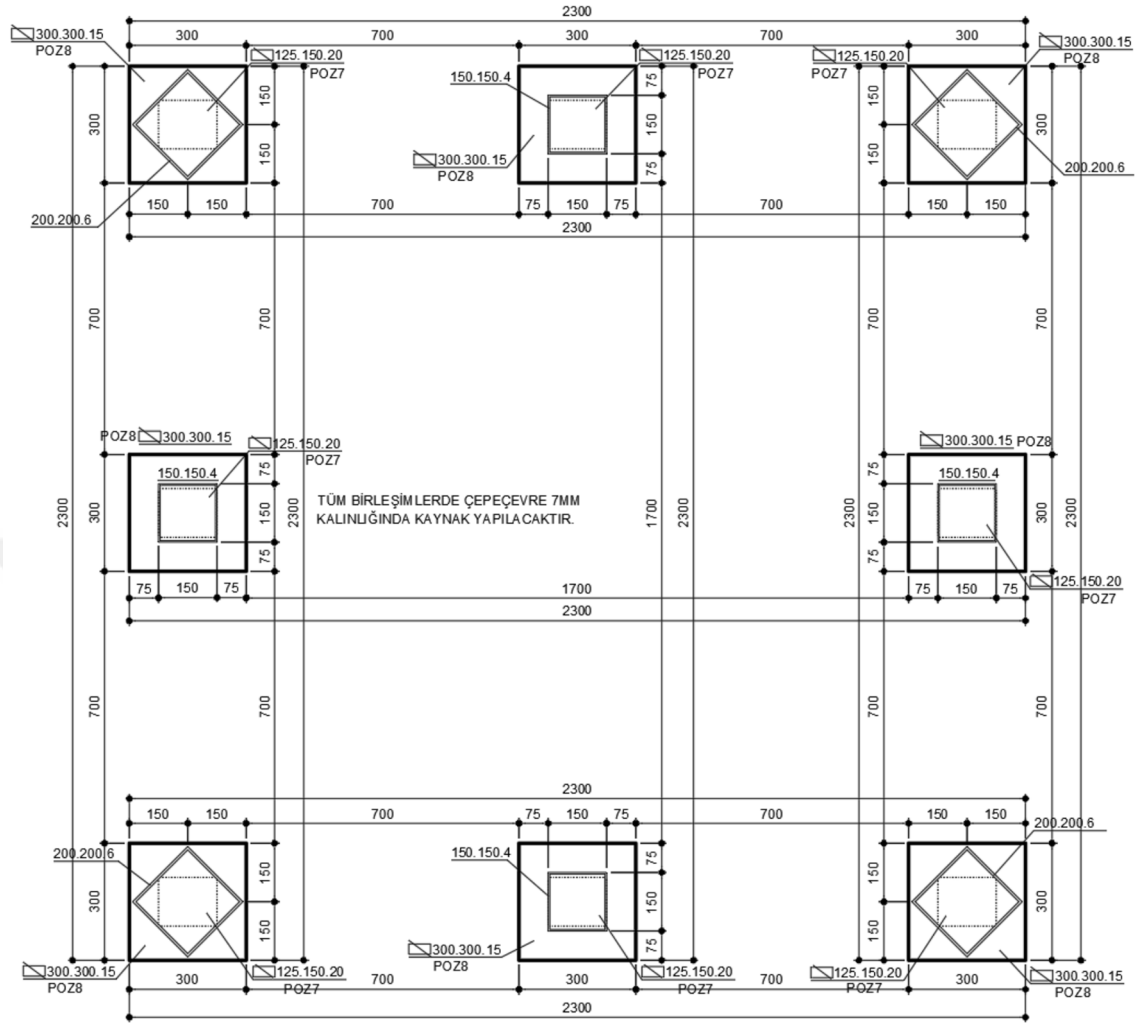
Kullanılan elik düzenekte seçilen profil ebatları, her bir kolona verilmesi gereken eksenel yük değerini sağlayacak şekilde boyutlandırılarak toplam 306 kN tekil yük elik düzenekte kullanılan profillerin rijitlikleri ile orantılı olarak betonarme kolonlara aktarılmıştır.

Deney numunelerinin düzlem dışı hareketini engellemek için numuneye paralel olarak yerleştirilecek bir elik ereve sistemi de kullanılmıştır. Aynı zamanda bu ereve sistemi eksenel yükü veren krikoyu taşımakta olup mesnetleri mafsallı olarak yapılmıştır. Bununla birlikte yükleyicinin eksenel yükleme düzeneği ile birleştiği mesnette mafsallıdır. Böylece deneyler sırasında, itme ve çekme döngüleri yapılırken ereve taşıyıcı sistemle beraber hareket etmiştir. Hareket esnasında çerçevede göz önünde bulundurulmayan kesit tesirleri meydana gelebilmektedir. Bu nedenle hesap yapılırken, ereve kirişi ağırlık merkezi kolonların ağırlık merkezinden kaydırılarak yükleme yapılmıştır.



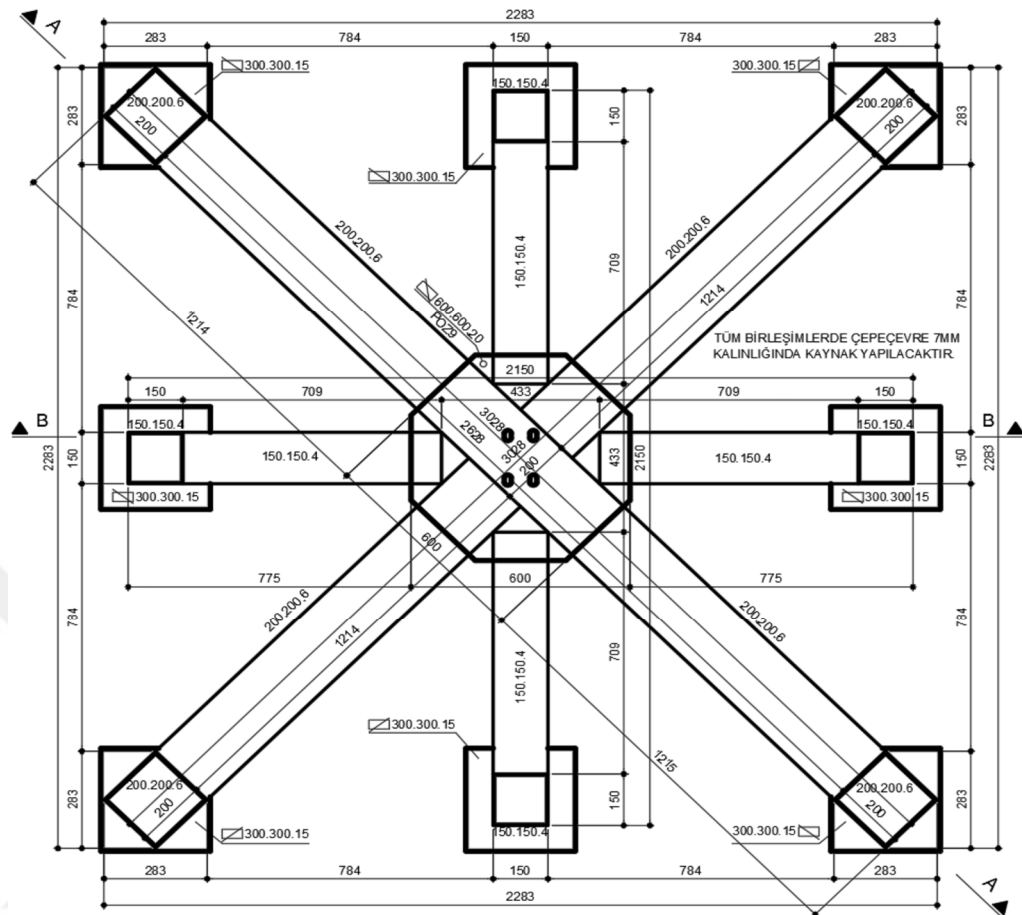
şekil 2.52. Deneylerde kullanılan eksenel yükleme erevesi [125].

Eksenel yükleme düzeneğinde kullanılan kutu kesitli profillerin, betonarme kolon kesitinden büyük olması nedeniyle levha alanı betonarme kolon kesitinin dışına taşmaktadır. Bu nedenle hem döşemede oluşacak deplasmanlara engel olmamak hem de eksenel kuvvetin tamamını betonarme kolon kesitine aktarabilmek amacı ile taban levhasının altına betonarme kolon kesiti alanında bir levha daha eklenmiştir [125].

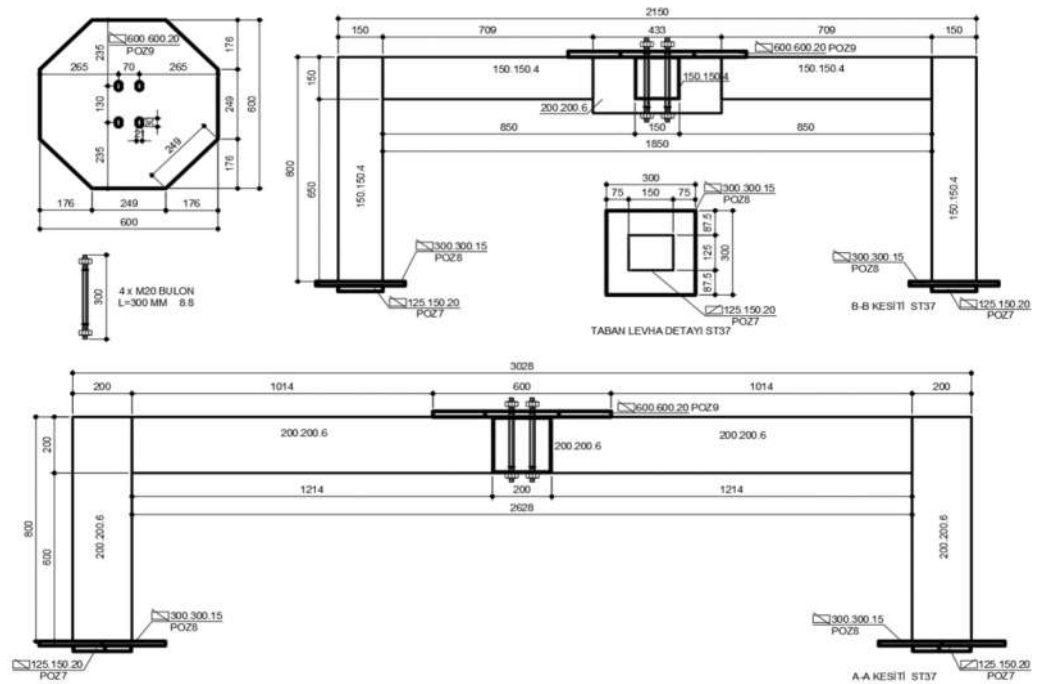


Şekil 2.53.Eksenel yükleme düzeneği kolon aplikasyon planı [125].

Yükleme düzeneğinde; köşe kolonlar ve bunları birbirine bağlayan kirişler için 200x200x6 mm kutu profil, diğer kolonlar ve bunları birbirine bağlayan kirişler içinse 150x150x4 mm kutu profili olmak üzere iki farklı profil kullanılmıştır. Bütün kolonların taban levhaları 300x300x15 mm boyutlarında imal edilmiştir. Taban levhalarının altına ise kolon kesitiyle aynı boyutlarda 125x150x20 mm levhalar kaynaklanmıştır. Eksenel yükleme çerçevesine bağlı hidrolik kriko düşey düzenek üzerinde, 600x600x20 mm boyutlarındaki levhaya mafsalla bağlanmıştır. Eksenel yükleme düzeneğinin tam ortasından uygulanan bu tekil yük, Şekil 2.53’de gösterilen profillerin rijitlikleri ile orantılı olarak çerçeve kolonlarına dağıtıldığından kenar kolonlara diğer kolonlardan daha fazla eksenel yük verilmesi sağlanmıştır [125].

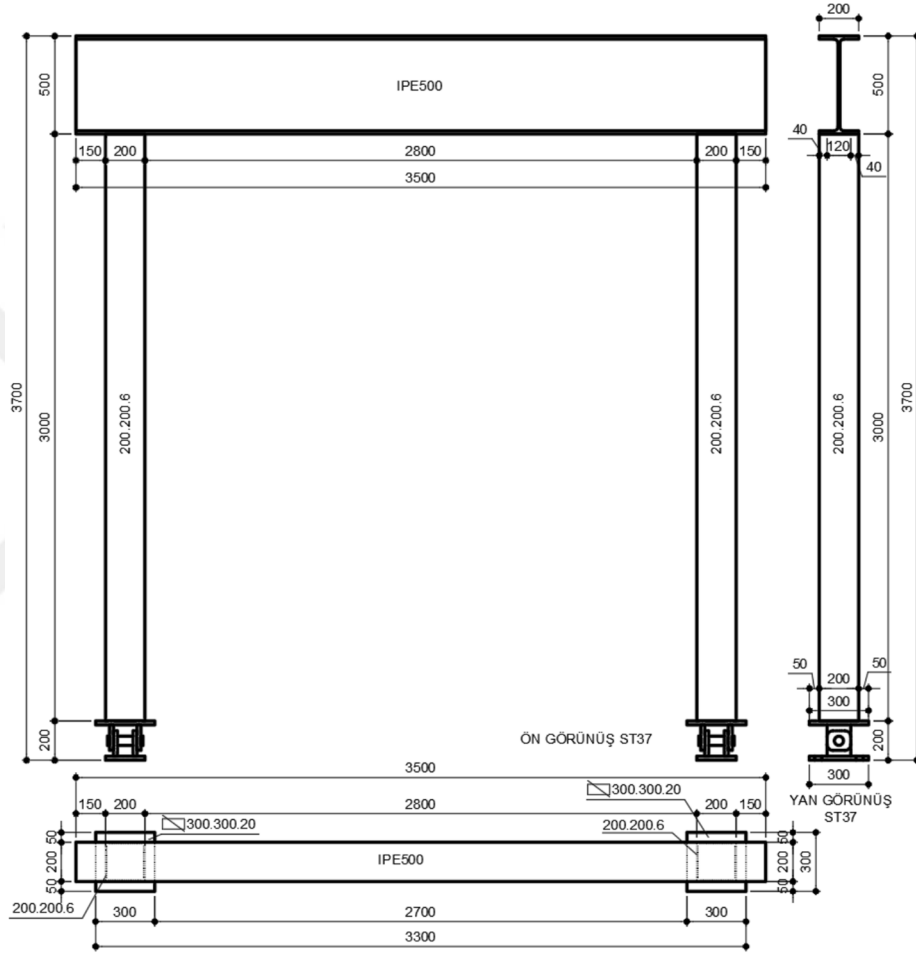


Şekil 2.54.Eksenel yükleme düzeneği konstrüksiyon planı [125].



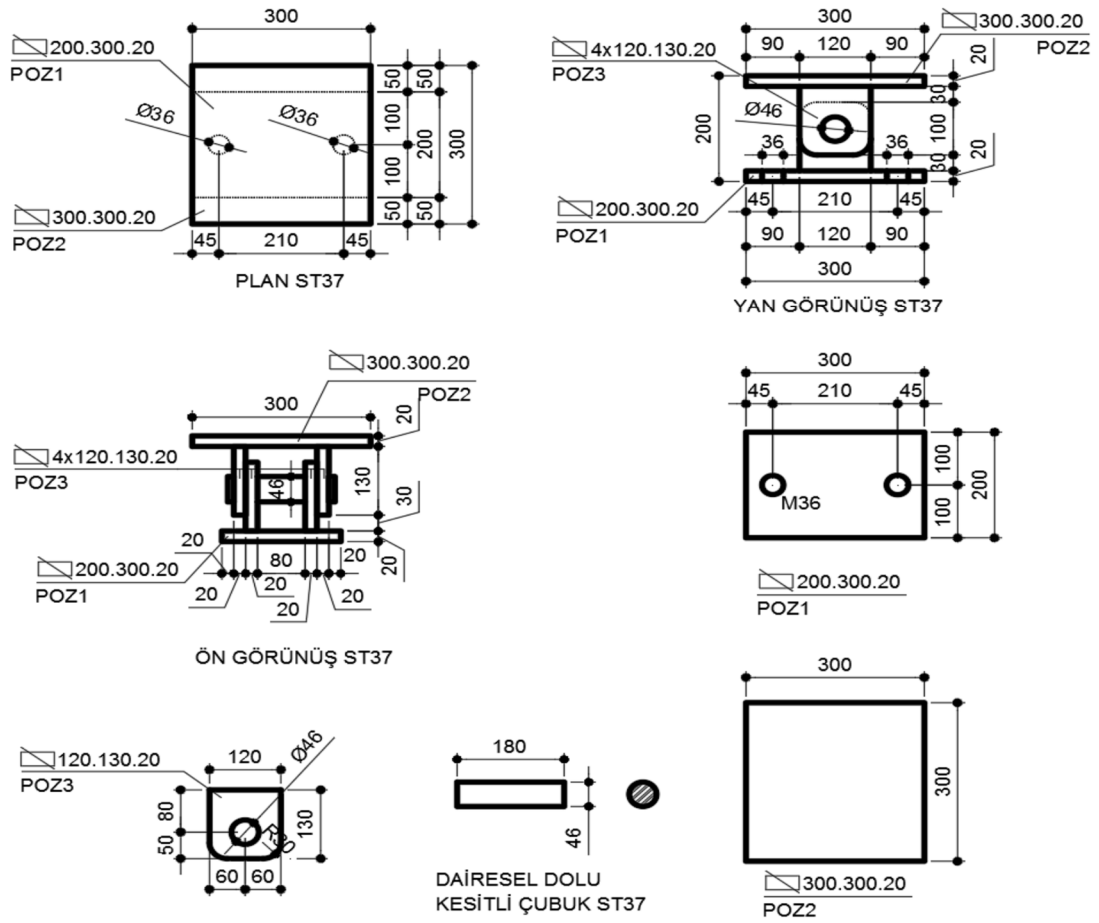
Şekil 2.55.Eksenel yükleme düzeneği kesit ve detayları [125]

Şekil 2.55’de verilen 600x600x20 mm boyutlarında POZ9 olarak isimlendirilmiş levhanın altında bulunan 200x200x6 mm boyutlarındaki kutu profilinin hem alt hem de üst yüzeyine levhadaki deliklerin iz düşümünde Ø20 mm çapında delikler açılmıştır. Burada kullanılan Ø20 bulonların boyu 300 mm olup bütün birleşimlerde çepçevre 7 mm kalınlığında kaynak yapılmıştır [125].



Şekil 2.56.Eksenel yükleme çerçevesi konstrüksiyon planı [125].

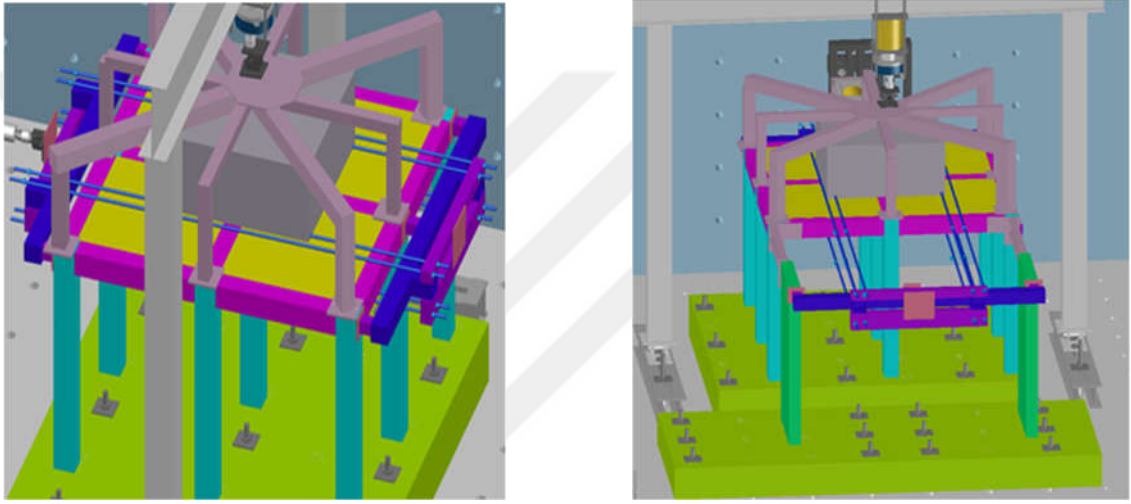
Şekil 2.56’ da görüldüğü üzere eksenel yükleme çerçevesi kolonları 200x200x6 mm kutu profilden, kirişi ise IPE500 profilinden imal edilmiştir. Deney numunelerine yatay yük uygulanması sırasında, eksenel yükleme çerçevesinin ileri ve geri hareket yapabilmesi için ayaklar mafsallı yapılmıştır. Mafsallı oluşturan sac levhaların kalınlığı ise 20 mm’dir. Yapılan hesaplamalarla mafsalın göbeğinde Ø46 mm çaplı, dairesel dolu kesitli bir çubuk kullanılmıştır (Şekil 2.55). Bununla birlikte düzenekte, kolon kiriş birleşim bölgelerine NPI100 profil, kiriş gövdesine ise berkitme levhaları edilerek güçlendirilmiştir [125].



3.3.2.Yatay Yükleme Düzenegi

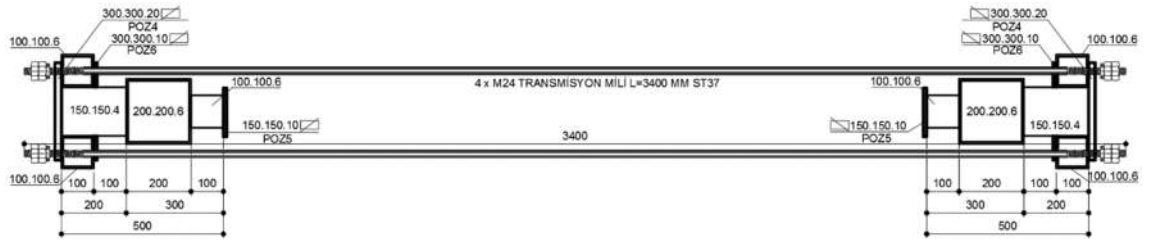
Deney numunelerini deprem etkisi altında test edebilmek için yatay yükleme düzenegine ihtiyaç duyulmuştur. Yatay yükler, kolonların kirişlerle birleştiği üst düğüm noktalarına uygulanmıştır. Deprem kuvvetini simüle eden bu yatay yükleri kolonlara aktarabilmek için hazırlanan düzenekte, tekil krikodan verilen yük, yükleme yönündeki üç adet kolona

dağıtılmaktadır. Düzenekte, yatay yük orta kolona, kenar kolonlara gelen yükün 2 katı gelecek şekilde dağıtılmaktadır. Yükleme sistemi, betonarme taşıyıcı sistemin hem itme hem de çekme yüzüne yerleştirilen iki çelik düzeneğin birbirine Ø24 mm çapında, 8 adet transmisyon mili kullanılarak bağlanması ile oluşturulmuştur. Yatay krikonun bir ucu laboratuvarındaki rijit yükleme duvarına diğer ucu ise çelik düzeneğe bağlanmıştır. Bağlantı yapılan her iki uçta mafsallıdır. Böylece yatay yükleme esnasında, eksenel kuvvet harici bir yük tesiri oluşmasının önüne geçilmiştir [125].

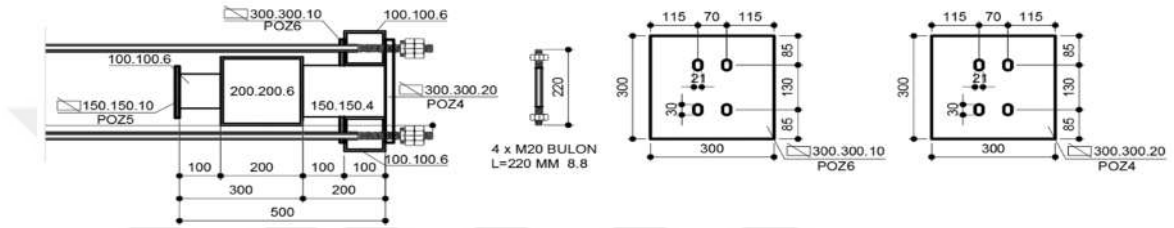


Şekil 2.59. Deneylerde kullanılan yatay yükleme levhaları [124].

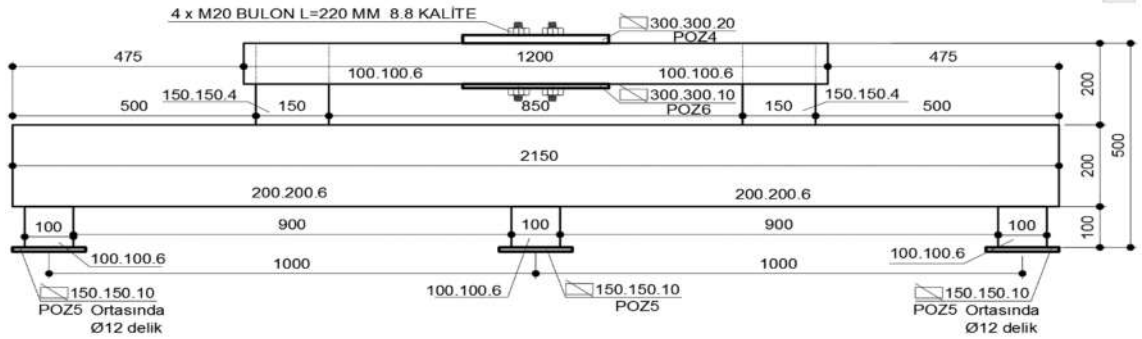
Betonarme çerçeveler, büyük yükler altında test edilirken temel hareketinin engellenmesi ve numunelerin sabitlenebilmesi amacıyla rijit döşemeye Ø36 mm çapında 8 adet ankraj bulonuyla bağlanmıştır. Ayrıca yatay ve düşey yükleyicilerle çelik düzenekler arasındaki tüm bağlantılarda Ø20 mm çapında, 4 adet bulon kullanılmıştır. Deney düzeneğinin kurulumu ve elemanların bağlanmasında kullanılmak üzere 10, 15 ve 20 mm kalınlığındaki sac levhalardan, muhtelif en ve boylarda yaptırılmıştır. Bununla birlikte yapılan tersinir tekrarlanır yükler altında LVDT ve potansiyometrik cetvellerin hareketini engelleyerek sabit tutmak için profillerden bir ayak yapılmış ve rijit döşemelere miller vasıtasıyla sabitlenmiştir. Yatay yükleme düzeneği, farklı boyutlardaki 3 adet kutu kesitli profilin biraraya getirilmesi ile imal edilmiştir. Düzenekte kullanılan levhaların her birine farklı poz numaraları verilerek detay çizimleri de projede gösterilmiştir [125].



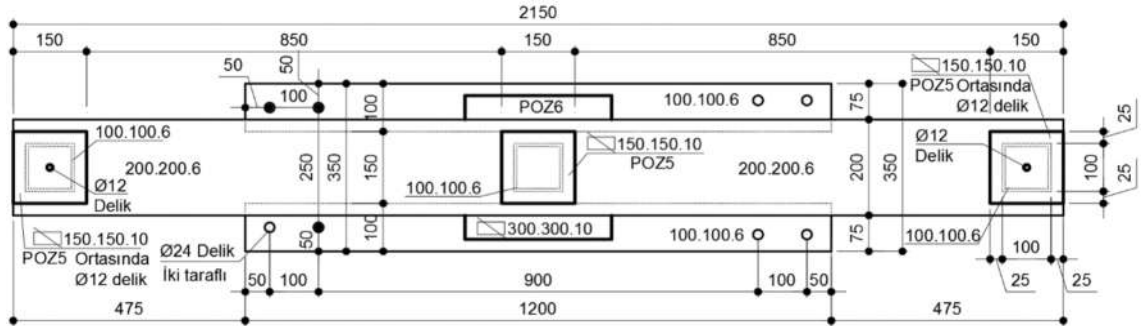
Şekil 2.60. Yatay yükleme düzeneği yan görünüş [125].



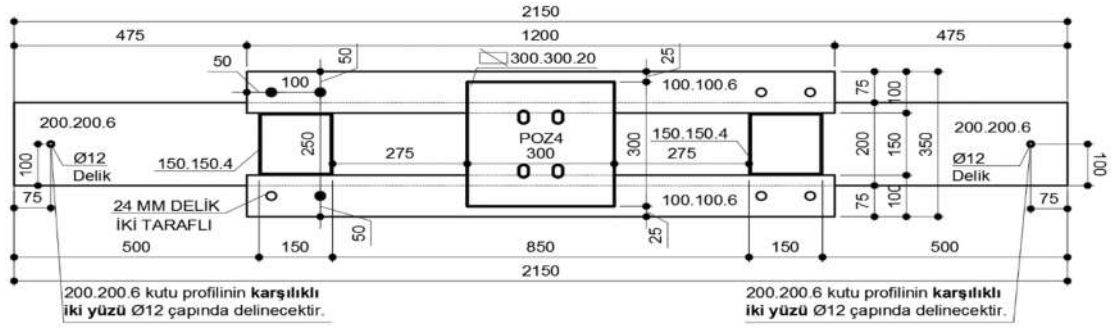
Şekil 2.61. Yatay yükleme düzeneği kesit ve detayları [125].



Şekil 2.62. Yatay yükleme düzeneği planı [125].



Şekil 2.63. Yatay yükleme düzeneği ön görünüş [125].



Şekil 2.64. Yatay yükleme düzeneği arka görünüş [125]

Yatay yükleme düzeneğinde 100x100x6 mm boyutlarında olan kutu profillerin üzerine Ø24 mm çapında karşılıklı delikler açılmış ve bu deliklere transmisyon milleri montajlanmıştır. 200x200x6 mm kutu profilinin uç köşelerine ise Ø12 mm çapında karşılıklı delikler açılmış ve açılan bu delikler yatay yükleme düzeneğinin betonarme taşıyıcı sistem üzerindeki montajında kullanılmıştır. Levhalar üzerindeki delikler M20 bulonu ile bağlanarak hidrolik kriko ile yatay yükleme düzeneği arasındaki bağlantının kurulmasında kullanılmıştır [125].

2.3.3. Ölçüm Elemanları

Yapılan deneylerde kullanılan ölçüm cihazlarının, deneyin amacına ve yapılışına uygun olarak seçilmesine özen gösterilmiştir. Deneylerde ölçüm elemanı olarak; load cell (yük hücresi), LVDT, Potansiyometrik Cetvel ve Strain Gauge kullanılmıştır. Cihazlardan alınan okuma değerleri 16 kanallı veri toplama (data logger) sisteminin 14 kanalı ile bilgisayara aktarılmış ve kayıt altına alınmıştır. Böylece kullanılan 14 adet kanalın dağılımı şu şekilde gerçekleştirilmiştir;



8 Adet Kanal: Strain Gauge

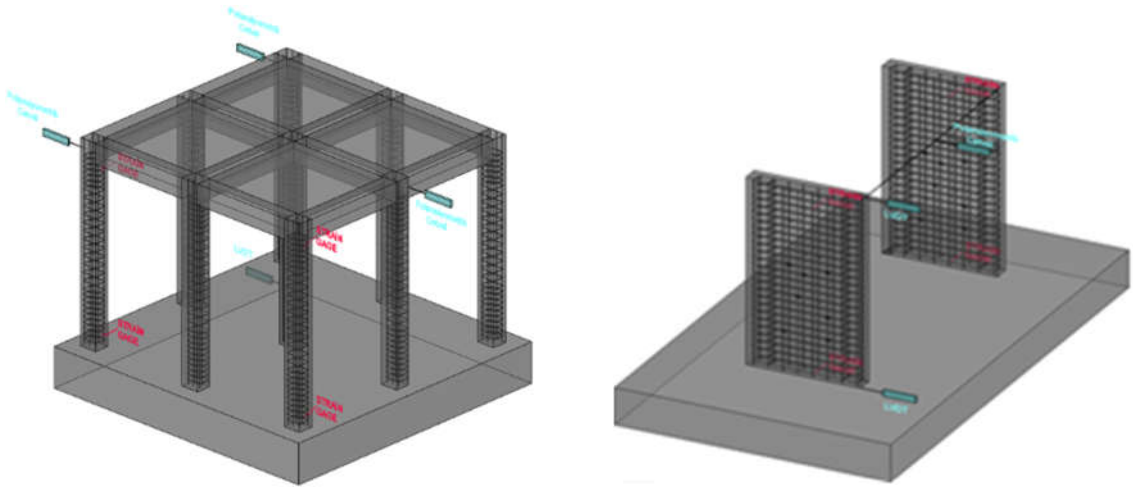
1 Adet Kanal: Eksenel yöndeki Load Cell

1 Adet Kanal: Yatay yöndeki Load Cell

3 Adet Kanal: Potansiyometrik Cetvel

1 Adet Kanal: LVDT

Şekil 2.65. Deneylerde kullanılan veri toplama (Data Logger) sistemi



Şekil 2.66. Cihaz ve ölçüm aletlerinin yerleşim planı [124].

2.3.3.1.Yük Ölçümleri

Deneylerde numunelere yatay yönde itme/çekme şeklinde ve eksenel yönde sabit olarak uygulanan yük değerlerini okumak için Load Cell (yük hücreleri) kullanılmıştır. Yatay ve düşey yönde yükü ölçen her iki load cell de 500 kN kapasitelidir. Yük hücreleri, yük uygulandığında basınca maruz kalmakta ve çıkış ucundan belirli bir gerilme vermek suretiyle çalışmaktadır. Yük hücrelerinin çıkış uçları veri toplama kutusuna bağlı olup, alınan gerilmeler veri toplama kutusuna, oradan da bilgisayara aktarılmaktadır. Yük hücrelerinden okunan yük değerleri bilgisayar ekranından da takip edilebilmektedir.



Şekil 2.67. Deneylerde kullanılan yük hücreleri.

2.3.3.2. Potansiyometrik Cetvel ve LVDT

Deneysel çalışmalarda yer değiştirme ve deplasman ölçümleri için kullanılan cihazlardan ikisi Potansiyometrik Cetvel ve LVDT'dir. LVDT (Linear Variable Differential Transformer) doğrusal yer değiştirmeyi ölçmek için kullanılan bir elektrik transformatörü türüdür. Potansiyometrik cetvel (resistive linear position transducer) ise lineer olarak çalışan, çok hassas olarak pozisyon ve hareketlerin direkt olarak ölçülmesinde kullanılan bir deplasman ölçerlerdir [134].

Deneysel tepe noktasındaki deplasmanı ölçmek için kat kotunda orta kolon hizasında 300 mm (± 150 mm) ölçüm yapabilen 1 adet potansiyometrik cetvel kullanılmıştır. Bununla birlikte çerçevelerde herhangi bir burulma olup olmadığının kontrolünü yapmak adına itme yönünde köşe kolonlara 1'er adet daha potansiyometrik cetvel yerleştirilmiş olup toplamda 3 adet Potansiyometrik Cetvel kullanılmıştır.



Şekil 2.68. Deneylerde kullanılan potansiyometrik cetveller

Deneysel sırasında temellerde deplasman olması istenmediğinden yapı temeli laboratuvar tabanına 8 adet Ø36 mm çapında ankrajlarla bağlanmıştır. Ancak numuneler itme/çekme yüküne tabi tutulurken, temelde herhangi bir ötelenme olup olmadığını kontrol edebilmek amacıyla temel seviyesine de 100 mm (± 50 mm) ölçüm yapabilen 1 adet LVDT yerleştirilmiştir. Böylece toplam 4 adet deplasman ölçer kullanılarak numunelerin kuvvet deplasman ilişkileri ortaya konulmuştur.

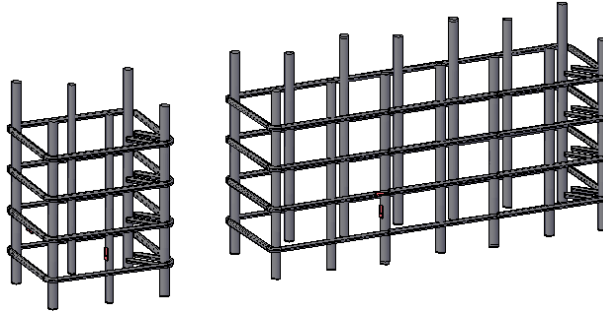


Şekil 2.69. Deneylerde kullanılan LVDT.

2.3.3.3.Strain Gauge

Strain gauge, üzerine bağlandığı metalin yük etkisi altında genişmesi sonucu oluşan uzama miktarını ölçmek için kullanılan bir tür dirençtir. Bu ölçüm işlemi yapılırken Strain gauge malzemesinin direnç değişimi hesaplanarak malzemenin uzama katsayısı ortaya çıkartılır. Gerilmeye bağlı olarak strain gauge üzerinde ± 10000 miliV'luk değişim gözlenir. İyi bir ölçüm için strain gauge sensörü genişleyen malzemeye çok iyi bir şekilde sabitlenmelidir. Bu yüzden folyo kâğıdı gibi oldukça ince bir formda imal edilir. İnceliği yaklaşık olarak 1/1000 inch yani 25.4μ seviyelerindedir. Strain gauge, yapı olarak bakır ve nikel karışımı metalik tellerin üzerinin yalıtkan bir madde ile kapatılması işlemidir [135, 136].

Her bir numunenin iki köşe kolonunun boyuna ve enine donatılarında 4'er adet olmak üzere toplamda 8 adet strain gauge kullanılmıştır. Strain gauge'ler; S101 ve S103 kolonlarında bulunan $\varnothing 6$ mm çapındaki bir adet boyuna donatı ile $\varnothing 4$ mm çapındaki enine donatıya temel kotuna en yakın olabilecek mesafede yerleştirilirken yine söz konusu kolonların aynı boyuna donatılarının üst kısmına ve kiriş altına en yakın mesafedeki enine donatılarına da birer adet strain gauge yerleştirilmiştir. Perdelerde de yine yükleme yönüne yakın taraftaki boyuna donatının alt ve üst kısmına birer adet; temele ve üst noktaya en yakın mesafede yer alan enine donatılara da birer adet olmak üzere her bir perdeye de 4 adet strain gauge yapıştırılmıştır (Şekil 2.70).



Şekil 2.70. Deney numunelerine yerleştirilen strain gaugeler.

Kolon, perde boyuna ve enine donatılarına yapıştırılan strain gauge'ler donatı çapına bağlı olarak farklı boyutlarda seçilmiştir. Ø6 mm çapındaki kolon ve perde boyuna donatılarına FLAB-6, Ø4 mm çapındaki kolon etriyelerine ve perde enine donatılarına ise FLAB-2 serisi dar tabanlı strain gauge montajı yapılmıştır. FLAB-6 tip strain gaugelerin direnç boyu 6mm hassasiyeti % 0.3 iken FLAB-2 tip strain gaugelerin direnç boyu ise 2mm hassasiyeti %1.2' dir. Seçilen strain gauge modellerinin her ikisi de 5 m uzunluğunda ön kaynaklı kablolu olarak temin edilmiştir [137, 138]. Numunelere yerleştirilen strain gaugeler 120 Ω değerinde dirence sahiptir.



Şekil 2.71. FLAB-6 ve FLAB-2 strain gaugeler

Boyuna donatılara yapıştırılan strain gauge'ler, kolon ve perde boyuna donatılarındaki birim deformasyon değerlerinin bulunması; etriyelere ve perde enine donatılarına yapıştırılan strain gauge'ler yardımıyla ise enine donatılardaki birim deformasyon değerlerinin hesaplanması amaçlanmıştır. Deneylerden elde edilen ölçümlerden faydalanılarak strain değeri aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V_o = -\frac{GF \times \epsilon}{4} \left(\frac{1}{1+GF \times \frac{\epsilon}{2}} \right) \times V_i \times GAIN \quad (2.1)$$

V_o : Veri toplama sisteminin ölçtüğü değer (mV)

V_i : Köprü ikaz gerilimi (5 volt)

GF: Kullanılan strain gauge'nin gauge faktörü

GAIN: Kalibrasyon sertifikasında verilen kanal kazanç değeri

ϵ : Strain değeri (Birim deformasyon değeri)

Strain Gauge sensörü, gerilim miktarı ölçülmek istenen yüzeye yerleştirildikten sonra Wheatstone köprüsü dört dirençle oluşturulmaktadır. Bu dirençlerin bağlantı şekli ise köprü diyot ile birebir aynıdır. Wheatstone köprüsünün dört düğüm noktasından iki tanesi bir ikaz voltajı ile beslenirken diğer iki noktada ise köprüde deformasyona bağlı olarak oluşan direnç değişimleri ölçülür. Tam köprü ölçüm yapılabilmesi için 4 strain gauge sensöre ihtiyaç vardır. Fakat ölçüm yapılabilecek yüzeye ve ölçüm hassasiyetine göre strain gauge hücresi azaltılır. İki strain gauge hücresi ile yarım Wheatstone köprüsü kurulabilir. Ya da deneylerde kullandığımız gibi tek bir strain gauge hücresi ile çeyrek Wheatstone köprüsü oluşturularak yüzey gerilimi ölçülebilmektedir [135, 136]. Bununla beraber deneysel çalışmalarda ölçülen gerinim (ϵ) değerine, elektriksel gürültü nedeniyle ulaşamamaktadır. Bu durum çeyrek köprülerin bağlantı şekli ve topolojisi yüzünden 100dB'e civarı elektriksel gürültü sönümleme özelliklerini kaybetmelerinden kaynaklanır. Tüm bunlar göz önüne alındığında ölçülebilecek minimum gerinim değerinin 10 $\mu\epsilon$ alınmasında ve sensör yerleşiminde bu değere dikkat edilmesi faydalı olmaktadır. Diğer yandan ölçüm sonuçlarının kayar noktalı ortalamasının alınmasıyla bu elektriksel gürültünün oldukça başarılı bir şekilde filtrelendiği ve gerinimdeki değişimlerin rahat bir şekilde gözlemlendiği anlaşılmıştır [135].

2.3.3.4. Veri Toplama Sistemi

Deneylerde deplasman ve yük ölçümlerinin toplanmasında TDG firması tarafından üretilen 16 kanallı AI8A Codabus veri toplama sistemi ve CODA veri toplama yazılımı kullanılmıştır. Bu sistemde maksimum 12 bit veri, eş-zamanlı olarak 8 veri/sn'ye frekansla toplanabilmektedir [136].

2.4.Deney Düzeneği Kurulumu

Deney düzeneğinin kurulması için öncelikle numuneler laboratuvar alanına taşınmış ve deney sırasına göre rijit döşeme üzerine sıralanmıştır. Sonrasında düzenek kurulurken gerekli olacak kriko, düşey düzenek, travers, yük hücreli, bağlantı ekipman ve cihazları kurulum alanına toplanmıştır.



Şekil 2.72. Deney alanı ve deney alanına taşınan numuneler.

Deney numuneleri ve deney düzeneğinde yer alan çelik konstrüksiyonlar laboratuvar içinde üç eksen de çalışabilen 15 tonluk kren yardımı ile hareket ettirilmektedir. Daha önceden belirlenen deney sırasına bağlı kalınarak; yükleme duvarı önüne sonuçları diğer deneylere referans olacak model yerleştirilmiştir. Hem laboratuvar zemininde oluşturulan rijit döşeme hem de yükleme duvarı üzerinde Ø50 mm çapında ve 500 mm derinliğinde bağlantı delikleri bulunmaktadır. Deney modellerinin temelleri, laboratuvar altındaki galeri vasıtasıyla, ankrajlar kullanılarak rijit döşemeye bağlanmıştır.



Şekil 2.73. Deney numunelerinin rijit döşeme üzerine ankrajlanması.

Deney numunelerinin temellerinin ankrajlanmasından sonra yatay yükleme düzeneğinin betonarme çerçeve montajı yapılmıştır. Yatay yükleme düzeneği, hidrolik kriko aracılığıyla uygulanan yatay yük altında numunenin itme/çekme hareketini gerçekleştirmesini sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Düzenek iki özdeş parçadan oluşmakta olup yatay yükleme yönünde bulunan kirişlerin ve kolonların birleştiği üst düğüm noktalarına mesnetlenirken Ø24 mm çapında 8 adet transmisyon milinin karşılıklı bağlanması ile de betonarme çerçeveye sabitlenirler. Böylece yatay yükün yarısının orta kolona kalan kısmının ise kenar kolonlara dağıtılması sağlanmıştır.



Şekil 2.74. Yatay yükleme düzeneğinin deney numunelerine sabitlenmesi.

Yatay çelik levhaların betonarme çerçeveye sabitlenmesi işleminden sonra sıra S105 nolu orta kolona ilave eksenel yük verebilmek amacıyla beton kütle yerleştirilmesine gelmiştir. Beton kütlenin altına 30 mm kalınlığında bir levha konulmuş, yükün sadece kolon kesitine aktarılması sağlanarak hem kiriş ve döşemelere yük verilmesi önlenmiş hem de döşemenin diyafram davranışına katkı sağlanması hedeflenmiştir. Kalan kolonlara eksenel yük verebilmek için çelik konstrüksiyondan imal edilen eksenel yük düzeneğini kren yardımıyla taşınarak düzeneğin her bir ayağında yer alan 20 mm kalınlığında sac levhaların ilgili kolon kesitine gelecek şekilde ayarlanmasıyla yerleştirilmiştir. Çelik konstrüksiyondan imal edilen düşey yükleme çerçevesini yere sabitleyecek olan traversler, deneysel çerçevenin ön ve arka yüzüne ankrajlanmıştır. Daha sonra çelik düşey çerçeve kren yardımıyla taşınarak her iki yüzdeki traverslere mafsallanmıştır.

Bu bağlantının mafsallı olması, çelik çerçevenin yatay yükleme yönünde hareketine izin vermektedir. Çerçeve üzerinde bulunan hidrolik krikonun eksenel yükleme düzeneğine bağlantısı da yatay yükleme yönünde mafsallı olarak teşkil edilmiştir. Böylece eksenel yük dışında herhangi bir kesit tesirinin betonarme taşıyıcı sistem üzerinde oluşmasının önüne geçilmiştir. Sonuç olarak eksenel yükleme düzeneği üzerine hidrolik kriko ile tekil yük verilerek, bu yük düzeneği oluşturan profillerin rijitlikleri ile orantılı olarak diğer kolonlara dağıtılmıştır. Bu sayede köşe kolonlara kenar kolonlardan daha fazla yük verilerek, gerekli ilave eksenel yük koşulu bütün kolonlar için sağlanmıştır. Kullanılan hidrolik kriko, eksenel yükleme çerçevesinin itme ve çekme döngülerinde serbestçe hareket edebilmesi amacıyla eksenel yükleme düzeneği üzerindeki levhaya mafsallı olarak bağlanmıştır.



Şekil 2.75. Eksenel yükleme düzeneği ve çerçevesinin yerleştirilmesi.

Deney numunelerine eksenel yük verebilmek için gerekli olan hazırlığın tamamlanmasının ardından numunelere yatay yük verebilmek için gerekli hidrolik krikonun hem yükleme duvarına hem de yatay yükleme düzeneğine bağlanması işlemine geçilmiştir. Kullanılan hidrolik kriko, hem yükleme duvarı üzerindeki çelik panoya ve hem de yatay yükleme düzeneği üzerindeki levhaya mafsallı olarak bağlanmıştır. Böylece deneysel modellerin itme ve çekme döngüleri sırasında sadece eksenel yatay kuvvete maruz kalmasına ve burulma yapabilmesine olanak sağlanmıştır.



Şekil 2.76. Yatay yükleme için kullanılan hidrolik krik ve bağlantı detayı.

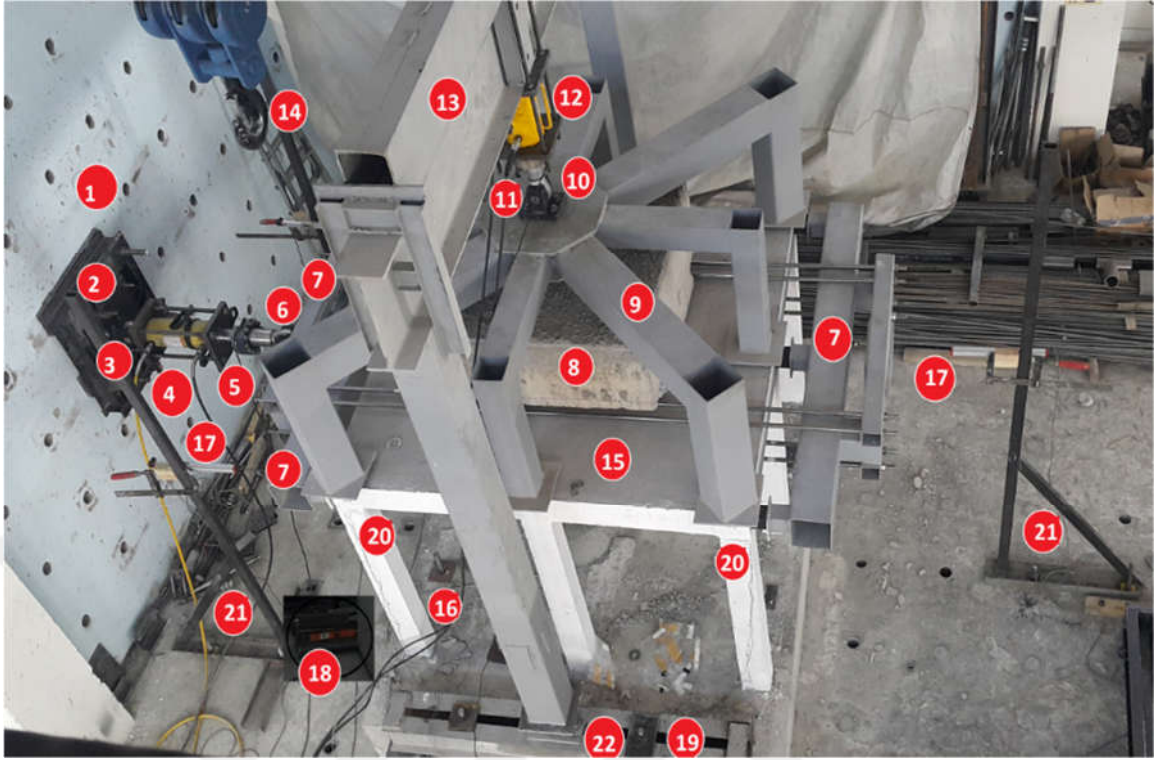
Deney düzeneğinin kurulmasından sonra deney esnasında elde edilen verilerin kaydedilerek değerlendirilebilmesi için kullanılacak ölçüm cihazlarının montajına geçilmiştir. Öncelikle hem yatay hem de düşey yönde uygulanan yük değerini okuyabilmek için her iki krikoya da yerleştirilen yük hücresi ile veri toplama sistemi arasında kablo bağlantıları yapılmıştır. Sonrasında kat deplasmanını elde edebilmek amacıyla itme/çekme yönünde bir adet potansiyometrik cetvel ve yine sistemde deney sırasında herhangi bir burulma oluşup oluşmadığını kontrol etmek amacıyla her iki köşe kolonu hizasına da birer adet potansiyometrik cetvel yerleştirilmiş ve veri toplama sistemiyle arasındaki kablo bağlantıları yapılmıştır. Ayrıca temelde deplasman kontrolü için bir adet LVDT montajı gerçekleştirilmiştir. Tüm bu deplasman ölçerlerin montaj işlemleri deney esnasında hem itme hem de çekme döngüleri sırasında ölçüm alınabilmesine olanak sağlayacak şekilde yapılmış ve veri toplama sistemine takılan bağlantı kabloları sayesinde deney sırasında okumalar alınmıştır. Deneyler esnasında çatlak gelişimini takip edebilmek için kolonlar üzerine skalalar çizilmiştir. Betonarme taşıyıcı sistemdeki kolonlar ve güçlendirme perdelerinde bulunan boyuna ve enine donatılara yapıştırılan strain gaugelerden ölçüm almak amacıyla kurulan köprü kablolarının bağlantıları yapılmıştır. Veri sistemine takılan kablolardan geçen akım değeri deney başlamadan önce kontrol edilerek sıfırlanmıştır. Deney sırasında alınan ölçümler bilgisayardaki CODA veri toplama yazılımı sayesinde toplanarak işlenebilmekte ve bu ölçümlere ait grafikler de çizdirilebilmektedir [136]. Veri toplama sistemi de bilgisayara bağlandıktan sonra deneylerin yapılması aşamasına geçilmiştir.



Şekil 2.77. Ölçüm cihazlarının montaj ve bağlantılarının yapılması.



Şekil 2.78. Strain Gauge köprü kablolarının bağlantılarının yapılması.



Şekil 2.79. Strain Gauge köprü kablolarının bağlantılarının yapılması.

Tablo 2.18. Deney düzeneğini oluşturan elemanlar.

NO	ELEMAN ADI	NO	ELEMAN ADI
1	Yükleme Duvarı	12	Hidrolik Kriko
2	Çelik Pano	13	Eksenel Yüklem Çerçevesi
3	Mafsallı Birleşim	14	Kren
4	Hidrolik Kriko	15	Betonarme Taşıyıcı Sistem
5	Yük Hücresi	16	Temel Ankrajı
6	Mafsallı Birleşim	17	Potansiyometrik Cetvel
7	Yatay Yüklem Düzeneği	18	LVDT
8	Beton Kütle	19	Travers
9	Eksenel Yüklem Düzeneği	20	Strain Gauge Bağlantı Kabloları
10	Mafsallı Birleşim	21	Ölçüm Cihazlarını Tutan Sac Ayağı
11	Yük Hücresi	22	Mafsallı Birleşim

Perde ile güçlendirilen çerçevelerden hasarlı çerçevenin güçlendirilmesi için deney düzeneği kurulurken ilk olarak hasar verilen çerçeve eski haline getirilmiş sonrasında çelik profil bağ kirişlerin daha önceden belirlenen uzunluğuna göre betonarme perdeler yerleştirilmiş ve temelleri rijit zemine ankrajlanmıştır. Sonrasında çerçevelerin kolonları ile güçlendirme perdeleri arasındaki çelik bağ kirişlerin montajına geçilmiştir. IPE140 çelik kiriş, kolonlara ve perdeler Şekil 2.19’da gösterilen çelik levhalar kullanılarak ankrajlar yardımıyla bağlanmıştır. İlk işlem olarak $\phi 14$ lük donatılar önceden belirlenen ve delinen yerlere epoksi ile hem hasarlı çerçevenin kolonlarına hem de güçlendirme perdelerine karşılıklı şekilde ekilerek ankrajlanmıştır. L şeklinde çelik levhalar hem kirişe hem de kolon-kiriş birleşim bölgesini de içine alacak şekilde kolona kadar uzanmakta olup bu levhalar üzerine ankraj donatılarının yerleştirilebilmesi için delikler açılmıştır. Böylece ankraj donatılarıyla levhalar birbirine kaynaklanmıştır. Ayrıca yine dikdörtgen çelik levhalara da perdeye ekilecek ankraj donatılarının yerleşimi için delikler açılmış böylece söz konusu levhaların bu deliklere yerleştirilen donatılara kaynaklanmasıyla bağ kirişin bağlanacağı alan hazırlanmış ve perdelerle çerçeveyi bağlayacak olan bağ kirişlerinin hazırlıklarına başlanmıştır. Bağ kirişi için IPE140 çelik profil 1250 mm uzunluğunda kesilmiş ve L korniyerlerin çelik kirişe bulonlanması için hem korniyerlere hem de kirişlere iki sıra delik açılmıştır. Bu şekilde her bir kirişin ucuna sırt sırta yerleştirilmiş iki adet L korniyer bulonlanmıştır. Sonrasında bağ kirişler perde ve çerçeve arasına yerleştirilmiş ve önceden hazırlanmış levhalara L korniyerlerin kaynatılmasıyla bağ kirişlerin perde ve çerçeveye bağlanma işlemi tamamlanmıştır. Şekil 2.80’de bu işlemlere ait resimler görülmektedir.



Alt Tarafa Delik Açma



Üst Tarafa Delik Açma



Perde Elemanın Alt ve Üst Tarafına Delik Açılması



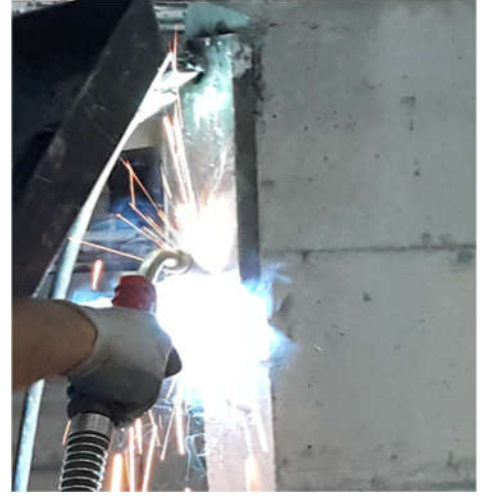
Açılan Deliklerin İçinde Bulunan Tozların Basınçlı Hava Yardımıyla Uzaklaştırılması.



Epoksi Uygulamasıyla Ankraj Ekimi



Kolona L şeklinde çelik levhanın kaynatılarak montajlanması



Perdeye dikdörtgen şeklinde çelik levhanın kaynatılarak montajlanması



Çelik Bağ Kirişlerin Projeye Uygun Olarak Kesilmesi ve Üzerine Delik Açılması



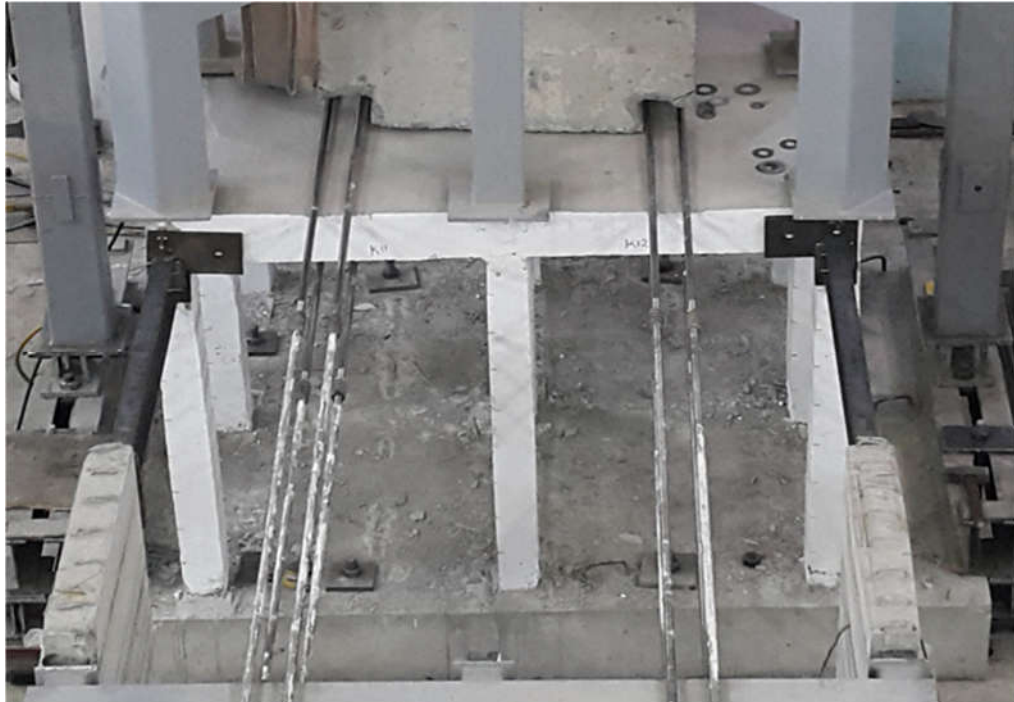
Çelik Bağ Kirişlere L Korniyerlerin Bulonlanması için Delik Açılması



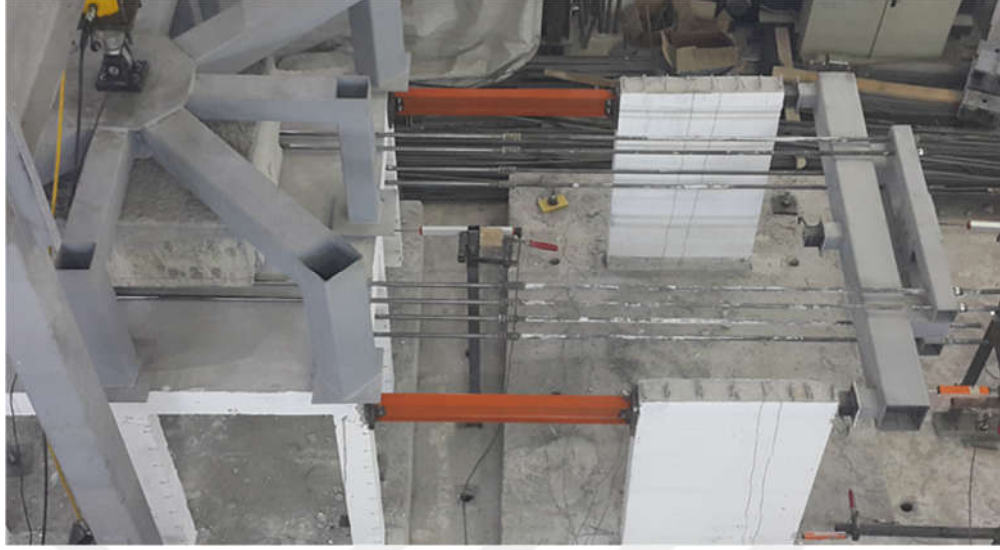
Çelik Bağ Kirişlerin Levhalar Arasına Yerleştirilmesi



Çelik Bağ Kirişlerine Bulonlarla Bağlanan L Korniyerlerin Levhalara Kaynaklanması



Güçlendirme Amacıyla Perdeleri Çerçeveye Bağlayan Çelik Bağ Kirişler



Çerçeveye Bağlayan Çelik Bağ Kirişlerin Boyanarak Son Halini Alması

Şekil 2.80. Çerçeveleri güçlendirme perdelerine bağlayan çelik bağ kirişlerin montajı

Perdeler ile güçlendirilen çerçevelerin deney düzeneklerinin kurulumu da yatay düzeneğin ve düşey düzeneğin kurulumu şeklinde gerçekleştirilmiştir. Düşey düzeneğin kurulumu referans çerçevenin düşey düzeneğinin kurulumuyla tamamen aynıdır (Şekil 2.81). Ancak yatay düzeneğin kurulumunda çerçevenin sol uç aksına eklenen perdeler nedeniyle birkaç değişiklik yapılmıştır.



Şekil 2.81. Çerçevelerin güçlendirme perdeleriyle bağlandığı deneylerde düşey yükleme düzeneğinin kurulması.

Yatay yükleme krikosunun bağlandığı yatay yükleme levhası aynı şekilde bağlanmıştır. Aynı zamanda yatay yükleme krikosu, rijit duvara bağlanan levha, mafsal ve krikonun bağlandığı yük hücresi de aynı şekilde montelenmiştir. Ancak çerçevenin sol uç tarafına perdeler ile çerçeveyi bağlayan bağ kirişlerin yapılması nedeniyle uç akstaki kolon-kiriş düğüm noktalarına bağlanan yatay yükleme levhası perdeleri de içine alacak şekilde perdelerin C yüzüne bağlanmıştır (Şekil 2.82 ve 2.83).



Şekil 2.82. Çerçevelerin güçlendirme perdeleriyle bağlandığı deneylerde yatay yükleme levhalarının montajı.

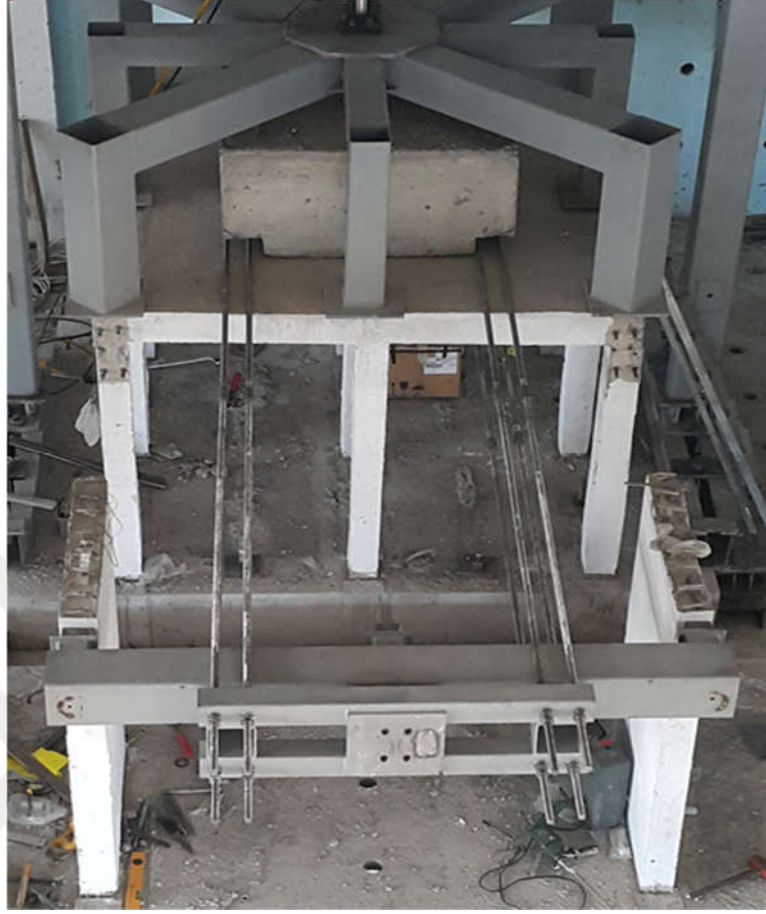


Şekil 2.83. Yatay yükleme levhalarının perdelere bağlanması.

Çerçeve ve perde elemanların itme-çekme döngülerinin gerçekleştirilebilmesi için yatay yükleme levhalarını bağlayan transmisyon milleri manşonlu ekler yapılmak suretiyle uzatılmış ve böylece yükleme düzeneğinin kurulumu tamamlanmıştır (Şekil 2.84 ve 2.85).



Şekil 2.84. Çerçevelerin güçlendirme perdeleriyle bağlandığı deneylerde kullanılan transmisyon millerine manşonlu ek yapılması.



Şekil 2.85. Çerçevelerin güçlendirme perdeleriyle bağlandığı deneylerde kullanılan yatay yükleme düzeneğinin kurulması.

Bununla birlikte ölçüm elemanlarının sayısı da artmıştır. Her bir güçlendirme perdesinde temelin hemen üzerindeki enine ve boyuna donatılara birer adet ve perdenin en üstünden 15 cm aşağısında bulunan enine ve boyuna donatılara da birer tane olmak üzere toplamda dört adet strain gage bulunmakta olup her iki perdede sekiz adet strain gage vardır. Bununla birlikte öndeki perdenin elastik eğrisini elde etmek amacıyla perde temelinin hemen üstüne ve aynı hizada perdenin en üst noktasına birer LVDT yerleştirilmiştir. Perde tepe deplasmanını ölçmek amacıyla bir adet de potansiyometrik cetvel kullanılmış bunun dışında diğer ölçüm elemanlarının yer ve sayısı referans çerçeve ve iki nolu çerçeveyi hasarlandırmak için yapılan deneyle aynıdır. Böylece sırasıyla üçüncü ve dördüncü deneyler olan; hasarlı çerçevenin dış perde ile güçlendirilmesi ve hasarsız çerçevenin dış perde ile güçlendirilmesi deneylerinin düzenek kurulumları tamamlanmıştır ve veri toplama sistemine takılan bağlantı kabloları sayesinde deneyler sırasında okumalar alınmıştır (Şekil 2.86 ve 2.87).



Şekil 2.86. Çerçevelerin güçlendirme perdeleriyle bağlandığı deneylerde kullanılan ölçüm düzeneğinin kurulumu.

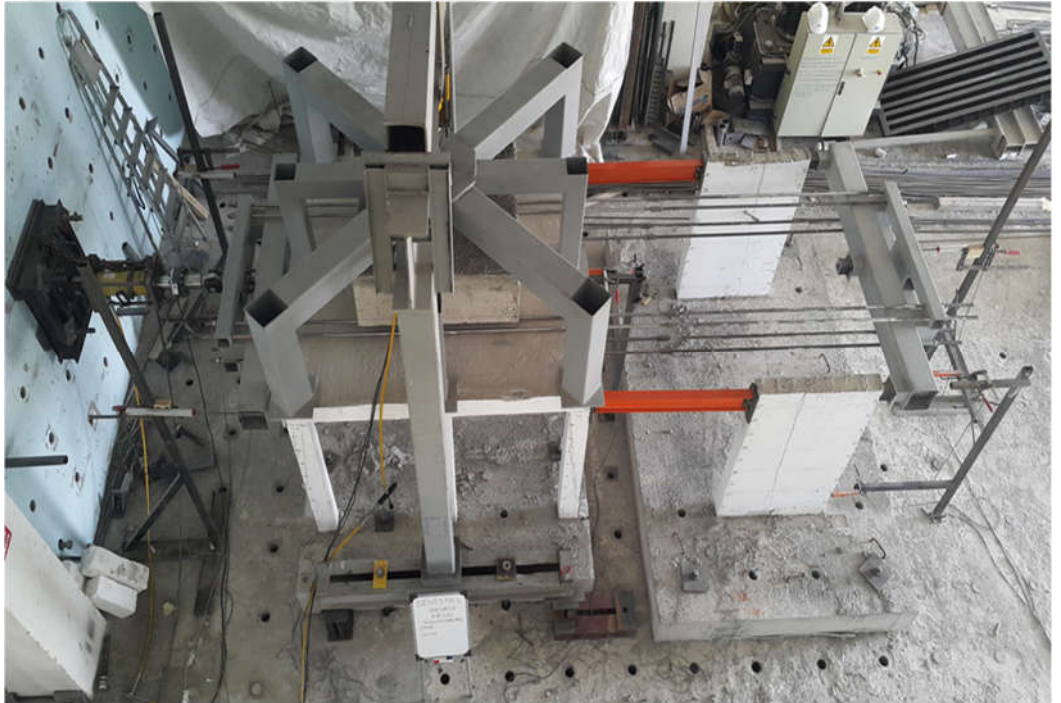


- 16 Adet Kanal: Strain Gauge
- 1 Adet Kanal: Eksenel yöndeki Load Cell
- 1 Adet Kanal: Yatay yöndeki Load Cell
- 4 Adet Kanal: Potansiyometrik Cetvel
- 3 Adet Kanal: LVDT

Şekil 2.87. Güçlendirme deneylerinde kullanılan veri toplama (Data Logger) sistemi.



Şekil 2.88. Hasarlı çerçevenin dış perdelerle güçlendirilmesi deneyinde kullanılan deney düzeneği.



Şekil 2.89. Hasarsız çerçevenin dış perdelerle güçlendirilmesi deneyinde kullanılan deney düzeneği.

2.5. Deneylerin Uygulanması

Betonarme çerçeveler önceden belirlenen deney sırasına göre, deneyler ilk olarak referans numunenin deneyi, sonrasında referans numuneyle özdeş çerçevenin hasar verilmek amacıyla test edilerek güçlendirme perdesi ilavesiyle tekrar deneye alınması ve son olarak da yine özdeş çerçevenin hasarsız haliyle güçlendirme perdesi ilave edilerek deneye tabi tutulması şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde uygulanan yükleme programı sistemin akma yüküne kadar yük kontrollü akma sınırından sonra ise deplasman kontrollü olarak uygulanmıştır. Her bir döngüde bir itme ve bir de çekme hareketi yapılmıştır. Referans çerçeve deneyinde, ilk döngü 5 kN yatay yük verilerek başlayıp akma gerçekleşene kadar yük 5 kN 'luk artışlarla devam etmiştir. Akma gerçekleştikten sonra yüklemeye deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir. Deplasman kontrollü yüklemede betonarme taşıyıcı sistem deplasmanı her döngüde 8 mm olarak arttırılmıştır. Deneyler toplam 26 döngüde tamamlanmıştır. Referans deneyin sonunda betonarme taşıyıcı sistemde çekme döngüsünde 94.30 mm itme döngüsünde ise 102.79 mm deplasman yaptırılmıştır. Buna göre yük değeri maksimum yük taşıma kapasitesinin %30 altına düştüğü noktadan itibaren deplasman oranını göçme hasar sınırının üzerinde bir değere sahip olduğu noktada deney tamamlanmıştır.

İkinci deney ise betonarme çerçevenin hasarlandırılması amacıyla gerçekleştirilmiştir. İlk döngü 5 kN yatay yük verilerek başlayıp akma gerçekleşene kadar yük 5 kN 'luk artışlarla devam etmiştir. Akma gerçekleştikten sonra yüklemeye deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir. Deplasman kontrollü yüklemede betonarme taşıyıcı sistem deplasmanı her döngüde 8 mm olarak arttırılmıştır. Deney; çerçevenin belirlenen görelî kat ötelemesi oranının %2,6 ya ulaşarak hasar görmesiyle sonlandırılmıştır. Deneyin sonunda betonarme taşıyıcı sistemde çekme ve itme döngüsünde 40 mm deplasman yaptırılmıştır.

Üçüncü deney ise ikinci deneyde hasarlandırılan numunenin bağ kirişli dış perdelerle güçlendirilerek tersinir-tekrarlanır yükler altında test edilmesidir. İlk döngü 5 kN yatay yük verilerek başlayıp 26.döngüye kadar 5 kN artırılmış sonrasında ise 5 kN 'luk artışlarla devam etmiştir. Deneyde akmanın gerçekleşmesi son döngüde gerçekleşmiş ve perde tabanı temelden oldukça fazla bir şekilde ayrıldığından bu yük ve deplasmanda deney tamamlanmıştır. Deney, 41 döngü sürmüş çerçeve elemanın çekme döngüsünde 40,52

mm itme döngüsünde ise 29,04 mm deplasman perde elemanın ise çekme döngüsünde 46,97 mm itme döngüsünde ise 26,15 mm deplasman yaptığı gözlenmiştir. Dördüncü deney ise hasarsız betonarme çerçevenin bağ kirişli dış perdelerle güçlendirilerek tersinir-tekrarlanır yükler altında test edilmesidir. İlk döngü 5 kN yatay yük verilerek başlayıp 26.döngüye kadar 5 kN artırılmış sonrasında ise 10 kN 'luk artışlarla devam etmiştir. Deneyde akmanın gerçekleşmesi 28. itme döngüsünde gerçekleşmiştir. Deney, perde tabanının temel birleşim bölgesinden ayrılması nedeniyle sonlandırılmıştır. Deney, 42 döngü sürmüş çekme ve itme döngüsünde çerçeve 21,52 mm perde ise çekme döngüsünde 30,77 mm itme döngüsünde ise 18,57 mm deplasman yaptığı kaydedilmiştir.

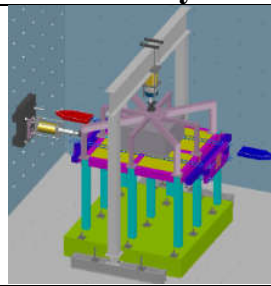
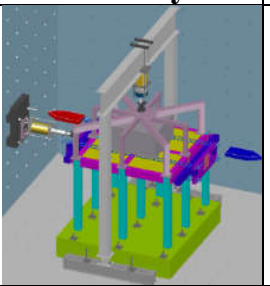
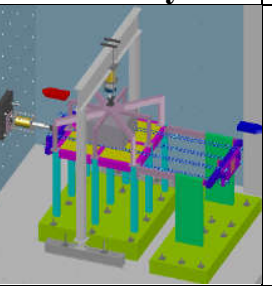
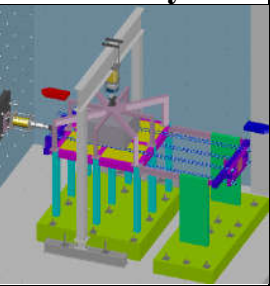
Bütün deneylerdeki tüm döngülerde her bir itme ve çekme hareketinden sonra deney durdurularak çatlak gelişimi incelenmiştir. Deneyler süresince çatlak gelişimini izleyebilmek için her bir kolonun üzerine skalalar çizilmiştir. Bu skalalar da, çerçevenin kat yüksekliği yükleme yönündeki kolon yüksekliği olan 150 mm lik aralıklarla parçalara ayrılmış ve bu şekilde kolonların üzeri; 1h, 2h şeklinde 9h' a kadar derecelendirilmiştir. Burada "h" yükleme yönündeki kolon yüksekliğini ifade etmektedir. İtme döngülerinde oluşan çatlaklar mavi, çekme döngülerinden sonra oluşan çatlaklar ise kırmızı renkli kalem ile işaretlenmiştir. Deney föyleri hazırlanarak deneylere ait gelişimler aşama aşama kayıt altına alınmıştır.

3.BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1.Deneysel Bulgular

Tez çalışması kapsamında Erciyes Üniversitesi Deprem Araştırma Laboratuvarında toplamda gerçekleştirilen 4 adet deneyden elde edilen bulgular bu bölümde verilmiştir. Deneylerin tamamında kullanılan betonarme taşıyıcı sisteme sahip çerçeveler malzeme boyut ve geometrik bakımdan özdeş olup; güçlendirme deneylerinde kullanılan perde ve bağ kirişlerde malzeme, boyut ve geometrik bakımdan özdeştir. Deneyler değişkenlik gösteren parametreye göre; güçlendirilmemiş (referans) çerçeve deneyi ve güçlendirilmiş (bağ kirişli dış perdeyle) çerçeve olarak iki temel başlığa ayrılabilir. Güçlendirilmiş çerçeve deneyleri de kendi arasında hasarlı ve hasarsız çerçevenin güçlendirilmesi olarak iki alt başlığa ayrılabilir. Şekil 3.1’ de deney sırasına göre deneyler numaralandırılmış ve deney modelleri isimlendirilmiştir. Ayrıca her bir deneyin yapılış amacı kısa bir şekilde özetlenmiştir.

1.Deney	2.Deney	3.Deney	4.Deney
			
RCN	HÇN	HGÇN	GÇN
Referans Üç Boyutlu Betonarme Çerçeve Modeli	Güçlendirilmemiş Üç Boyutlu Betonarme Çerçeve Modeli	Hasarlı (%2.6) Güçlendirilmiş Üç Boyutlu Çerçeve Modeli	Hasarsız Güçlendirilmiş Üç Boyutlu Çerçeve Modeli
Referans (Güçlendirilmemiş) üç boyutlu betonarme çerçeve deneyi	%2.6 Hasar sınırına kadar hasar vermek için yapılan üç boyutlu çerçeve deneyi	Hasar gördükten sonra çelik bağ kirişli dış perde ile güçlendirilmiş numune deneyi	Hasar görmeden çelik bağ kirişli dış perde ile güçlendirilmiş numune deneyi

Şekil 3.1. Deneylerin ve deney modellerinin isimlendirilmesi.

Şekil 3.1’de görüldüğü üzere çalışma kapsamında yapılan ilk deney referans çerçeve deneyidir. Referans çerçeve deneyi adından da anlaşılacağı üzere güçlendirme uygulamasının etkilerinin daha iyi gözlenebilmesi amacıyla diğer deneylerle karşılaştırılacaktır.

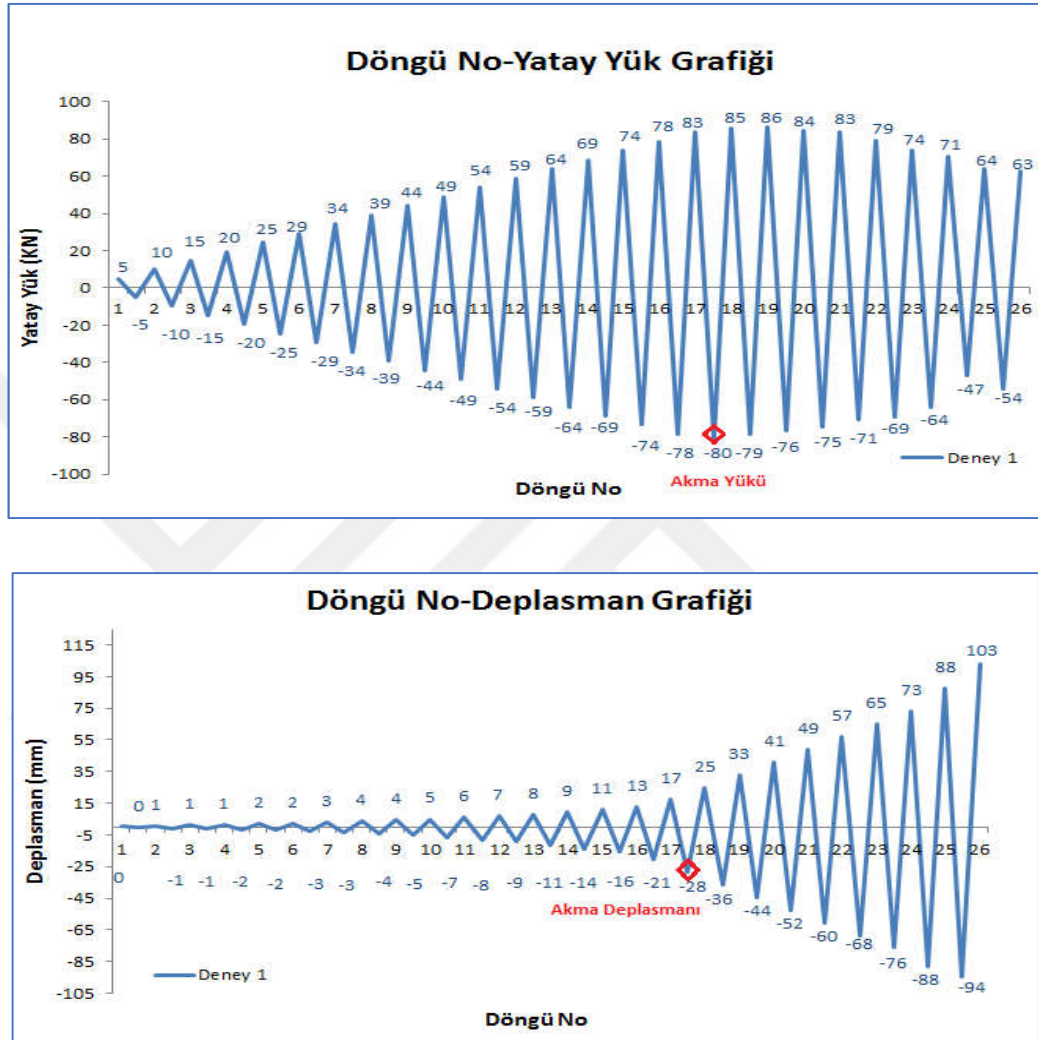
İkinci deneyse referans çerçeveyle özdeş çerçevenin %2,6 hasar sınırına kadar hasarlandırılması için yapılan deneydir. Bu deneyden sonra üçüncü deney ikinci deneyde hasarlandırılan çerçevenin bağ kirişli dış perde uygulamasıyla güçlendirilmesi, dördüncü deney ise hasarsız çerçevenin bağ kirişli dış perde uygulamasıyla güçlendirilmesidir. Bu şekilde hasarlı ve hasarsız çerçevenin güçlendirilmesi deneylerinin sonuçları da birbirleriyle karşılaştırılacak ve gerekli değerlendirmeler yapılacaktır. Sonuç olarak; tez çalışması kapsamında deprem dayanımı zayıf, kusurlu çerçevelerin hem hasarlı hem hasarsız durumda çelik bağ kirişli betonarme dış perdeyle güçlendirilmesinin etkileri; hem de güçlendirmenin kusurlu çerçeve üzerindeki etkileri araştırılmış ve elde edilen sonuçlar ortaya konmuştur.

3.1.1.Deneysel Yükleme Programları

Daha öncede belirtildiği gibi deneylerin tamamında tüm döngülerde bir itme ve bir çekme hareketi yapılmıştır. Deneylerde uygulanan yükleme programı sistemin akma yüküne kadar yük kontrollü akma sınırından sonra ise deplasman kontrollü olarak uygulanmıştır. Tüm deneylerde, ilk döngü 5 kN yatay yük verilerek başlamıştır. İlk iki deneyde akma gerçekleşene kadar yük 5 kN ’luk artışlarla devam ederken son iki güçlendirme deneyinin 26.döngüye kadar 5 kN sonrasında ise 10 kN luk artışlarla devam edilmiştir. İlk iki deneyde deplasman kontrollü yüklemeye geçildikten sonra 8 mm artışla yüklemeye devam edilmiş, üçüncü deneyde ise 6 mm artışla, son güçlendirme deneyinde ise 0.5 mm deplasman artışıyla devam edilmiştir.

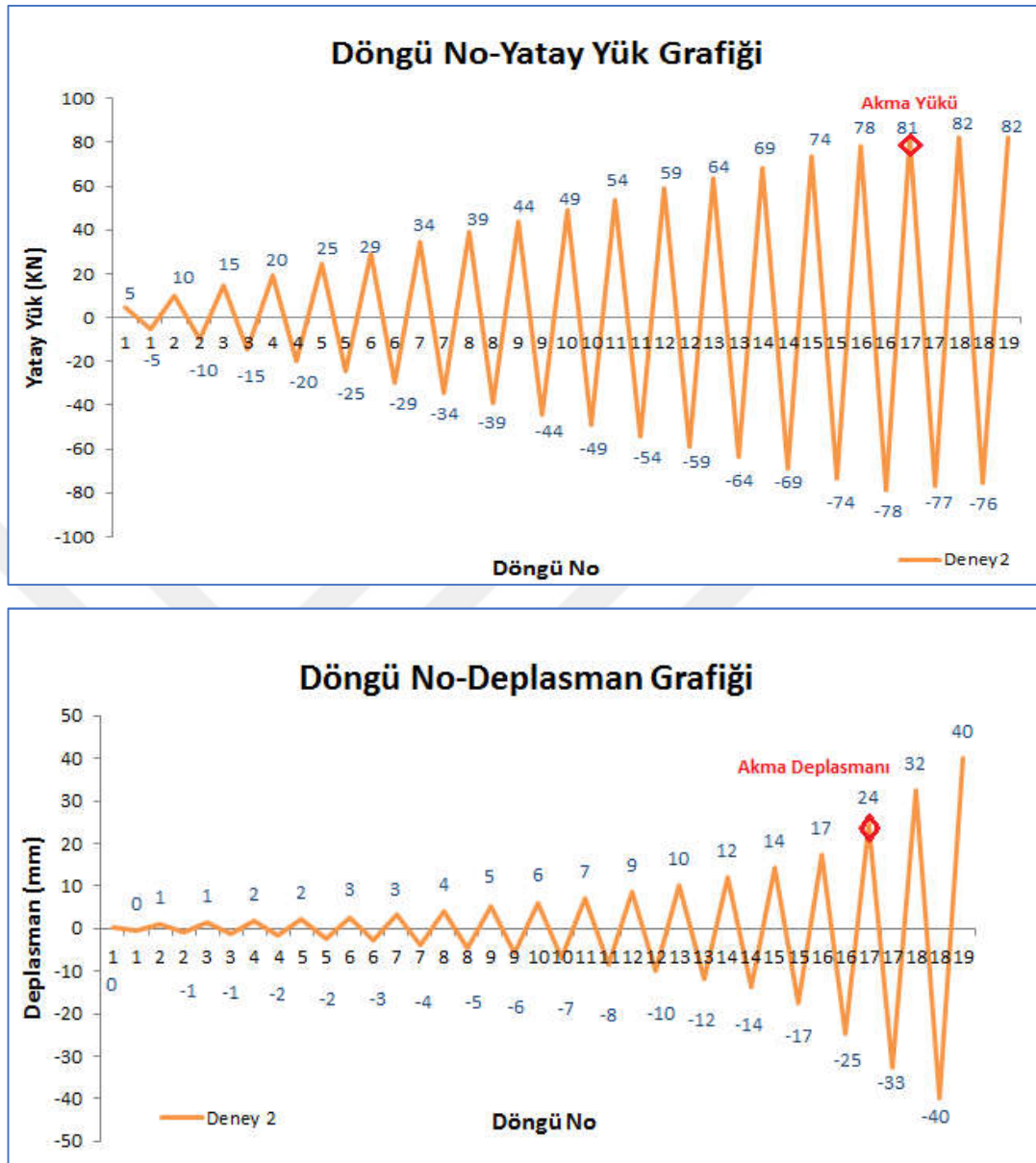
Referans çerçeve deneyinde akma 17. çekme döngüsünde meydana gelmiştir. Akma yükü yaklaşık 80,41 kN, akma deplasmanı ise yaklaşık 28,37 mm civarındadır. Akma gerçekleştikten sonra 18. döngüde yük kontrollü yüklemeden deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Toplamda 26 döngü sonunda betonarme taşıyıcı sistemde çekme döngüsünde 94.30 mm itme döngüsünde ise 102.79 mm deplasman yaptırılmıştır. Buna göre yük değeri maksimum yük taşıma kapasitesinin %30 altına düştüğü noktadan itibaren δ/H oranının 0.069 olmasıyla göçme hasar sınırının üzerinde bir değere sahip

olduğu noktada deney tamamlanmıştır. Referans çerçevenin test edildiği 1. deneye ait yükleme geçmişi aşağıda verilmiştir.



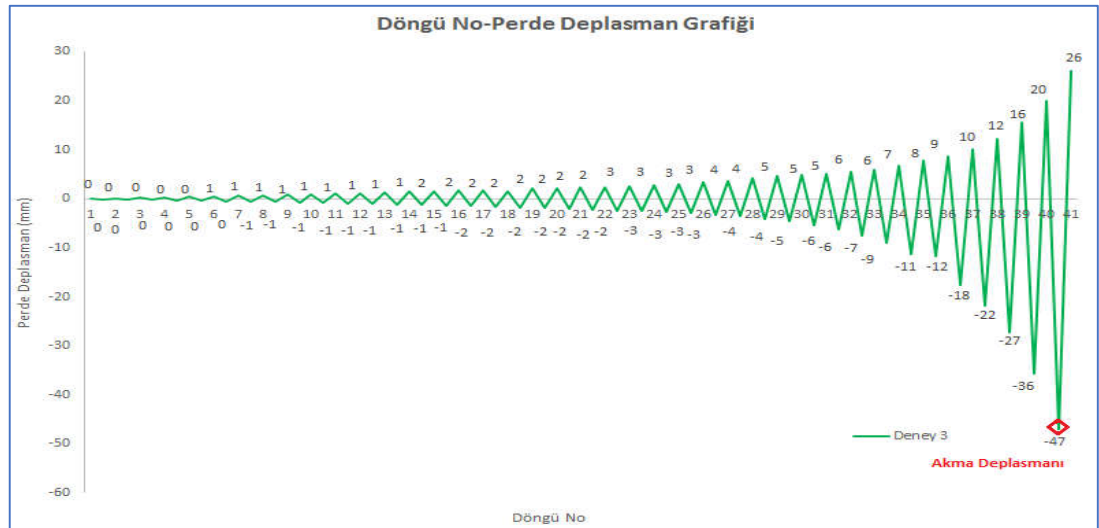
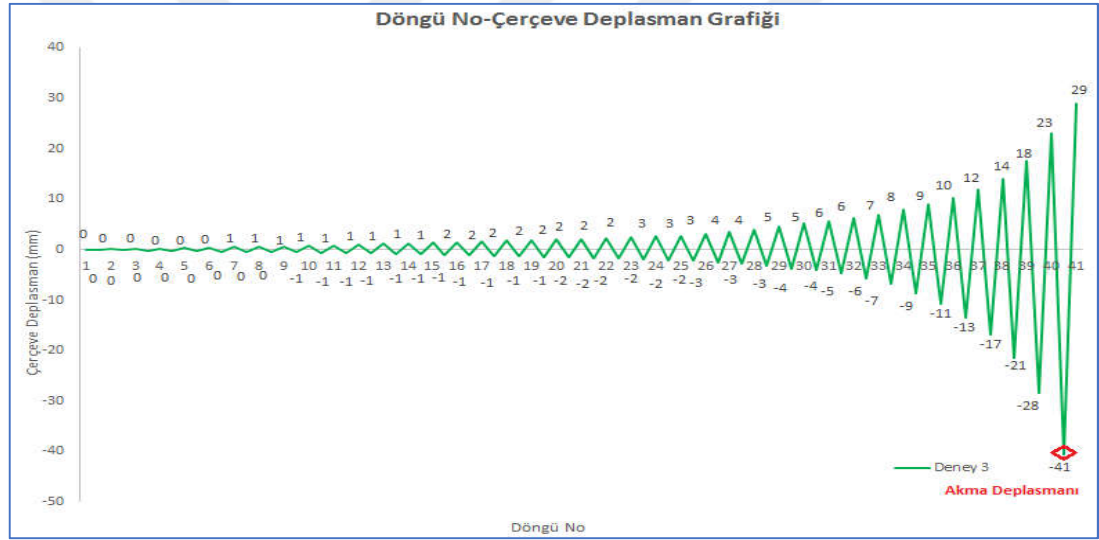
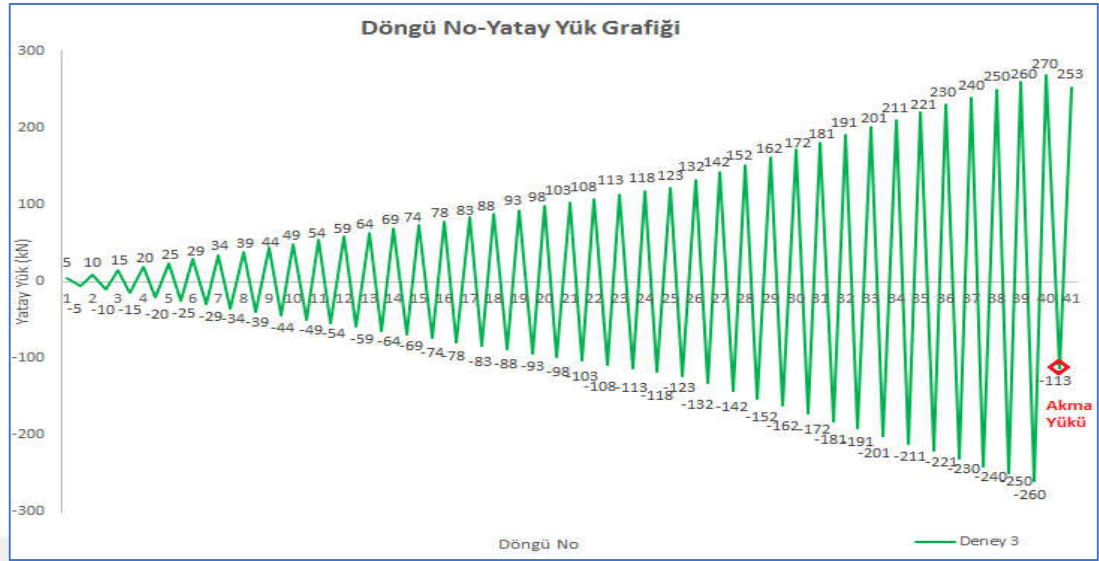
Şekil 3.2 1. Deneyin yatay yük ve tepe deplasmanına göre yükleme geçmişi.

Çerçeveyi hasarlandırma deneyinde ise akma 17. itme döngüsünde gerçekleşmiştir. Akma yükü yaklaşık olarak 81.40 kN akma deplasmanı ise 24.46 mm'dir. 18. döngüde ise deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Deney, çerçeve istenilen hasar sınırı olan δ/H oranının 0.026'ya ulaşmasından sonra sonlandırılmıştır. Böylece toplamda 19 döngü gerçekleştirilmiş olup çerçeve hem itme hem de çekme döngüsünde 40 mm deplasman yapmıştır. Referans çerçeveye özdeş çerçevenin hasar görmesi için yapılan 2. deneye ait yükleme geçmişi aşağıda verilmiştir.



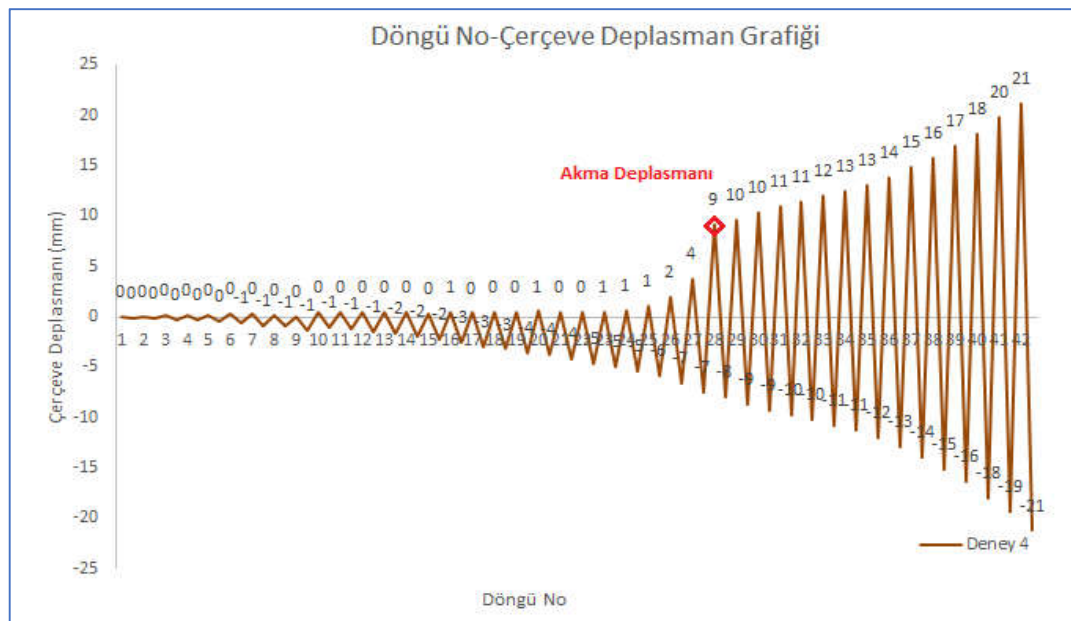
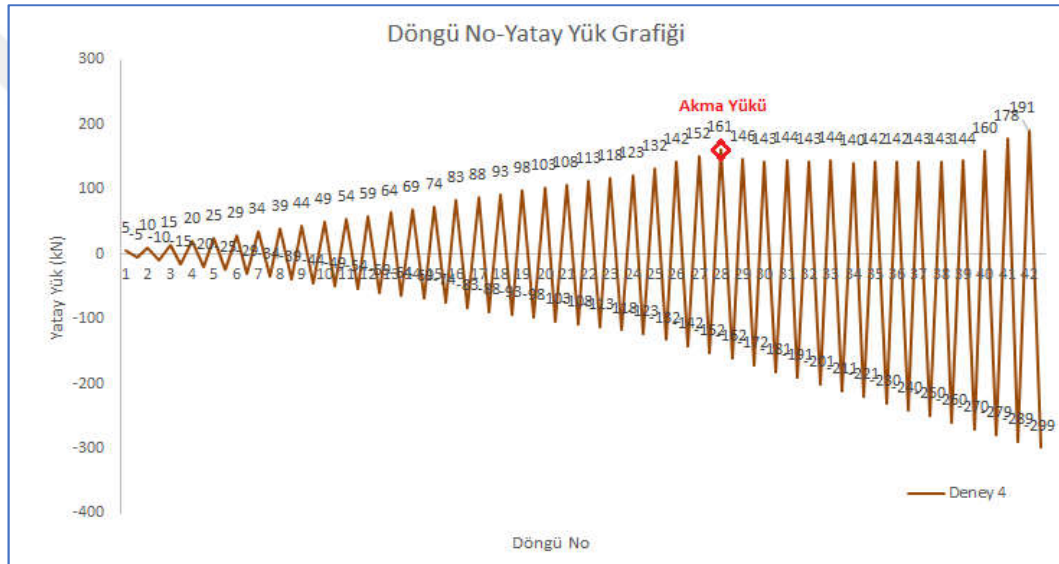
Şekil 3.3 2. Deneyin yatay yük ve tepe deplasmanına göre yükleme geçmişi

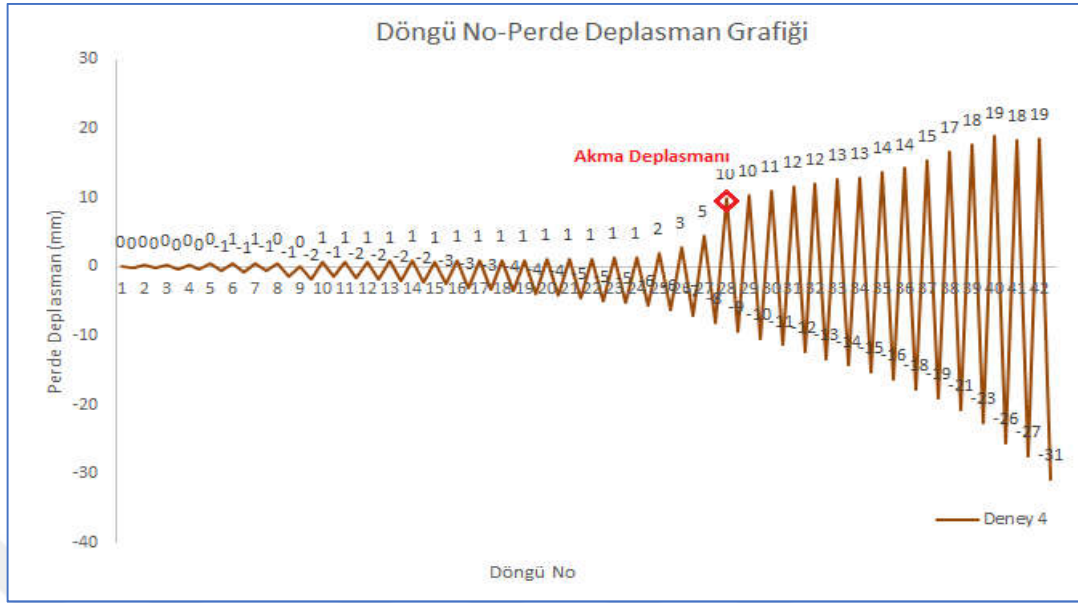
Hasarlı çerçevenin bağ kirişli dış perdelerle güçlendirilerek tersinir-tekrarlanır yükler altında test edilen üçüncü deney toplam 41 döngüde tamamlanmıştır. Deneyde akma 40. döngüde meydana gelmiştir. Bu döngüye kadar deney yük kontrollü olarak gerçekleşmiş olup, bu döngüden sonra deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Akma yükü yaklaşık olarak 112.78 kN akma deplasmanı çerçevede 40.50 mm perde de ise 46,97 mm'dir. Son döngüde perdenin temelinden belirgin bir şekilde ayrılmasıyla da deney sonlandırılmıştır. Hasarlı çerçevenin güçlendirilmesi deneyi olan 3. deneye ait yükleme geçmişi aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.4 3. Deneyin yatay yük ve tepe deplasmanına göre yükleme geçmişi.

Hasarsız çerçevenin bağ kirişli dış perdelerle güçlendirme deneyinde toplam 42 döngü yapılmıştır. Deneyde akma 28. itme döngüsünde meydana gelmiş ve bu noktadan sonra itme döngülerinde deplasman kontrollü yüklemeye geçilirken çekme döngüsünde sistem yük almaya devam ettiğinden deney sonuna kadar yük kontrollü yükleme yapılmıştır. İtme döngüsünde akma yükü yaklaşık olarak 160.82 kN akma deplasmanı ise çerçevede 9.11 mm iken perde deplasmanı 9.92 mm'dir. Deney perdenin temelinden belirgin bir şekilde ayrılmasıyla sonlandırılmıştır. Hasarsız çerçevenin güçlendirilmesi deneyi olan 4. deneye ait yükleme geçmişi aşağıda verilmiştir.

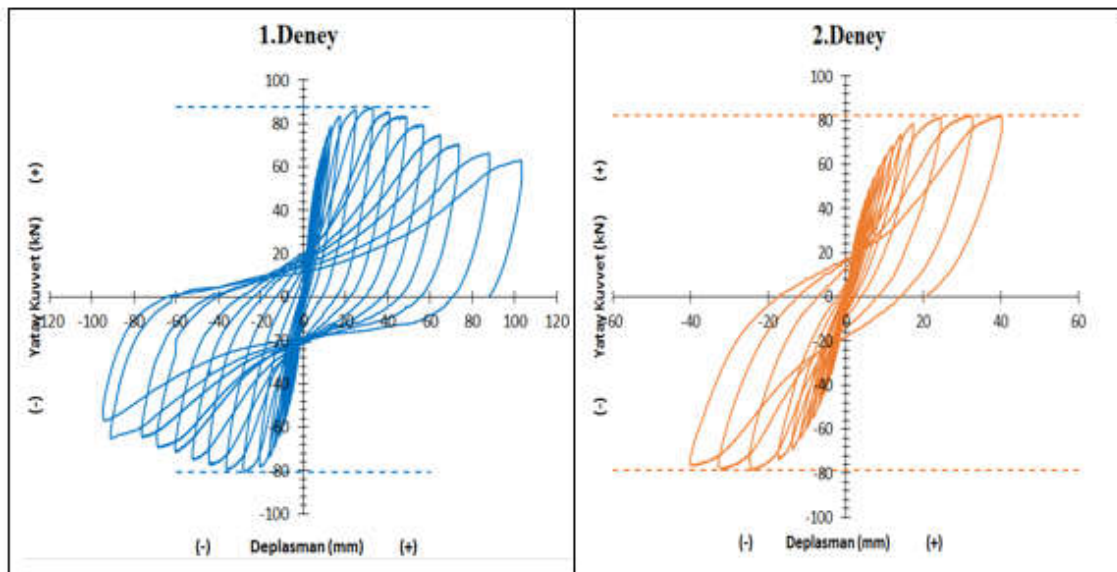


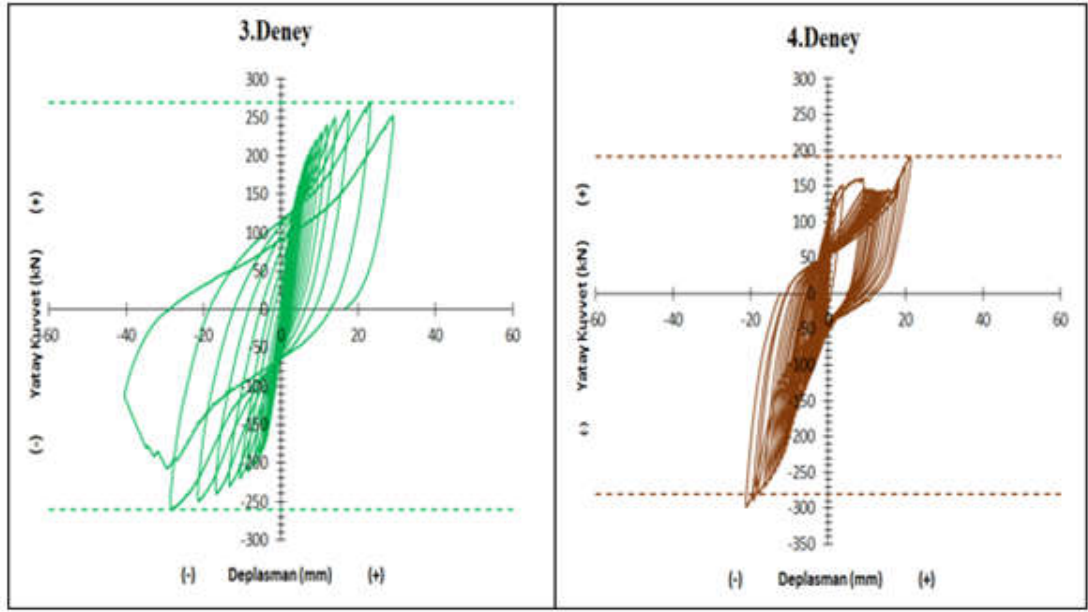


Şekil 3.5. 4. Deneyin yatay yük ve tepe deplasmanına göre yükleme geçmişi.

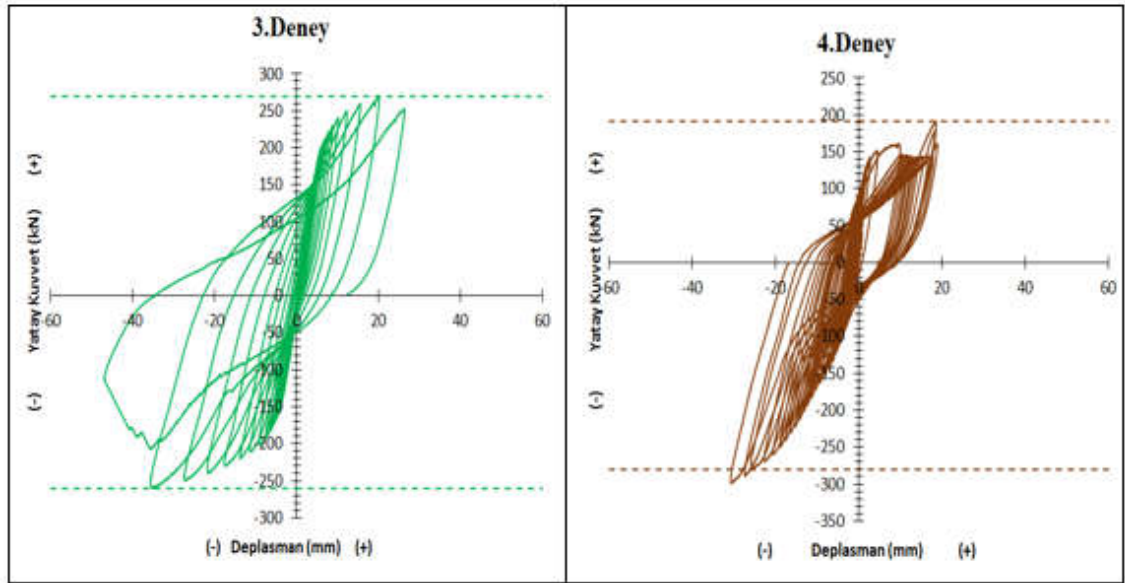
3.1.2. Deneyisel Kuvvet Deplasman İlişkisi

Yatay kuvvet-deplasman grafikleri (Histeresis Grafikleri), deney sırasında yük hücresinden okunan değerler ile LVDT ve potansiyometrik cetvellerden okunan değerler yardımıyla çizilmiştir. Deneyisel çalışmalarda bağ kirişli perdelerle güçlendirilen hasarsız betonarme çerçevenin yaptığı deplasman miktarı bağ kirişli perdelerle güçlendirilen hasarlı betonarme çerçevenin yaptığı deplasman miktarına göre azalmıştır. Deneylerden elde edilen kuvvet deplasman ilişkilerine ait grafikler aşağıda verilmiştir.





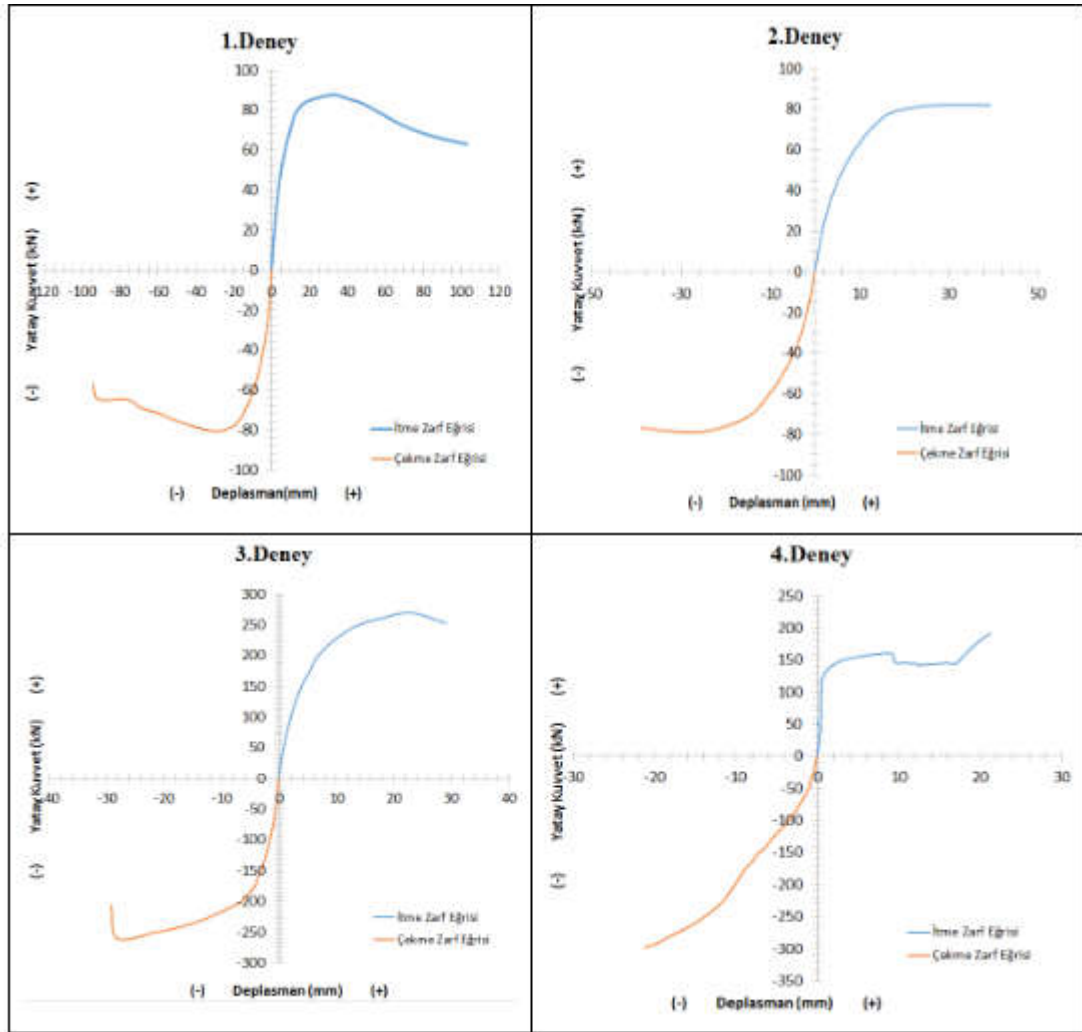
Şekil 3.6. Tüm deneylere ait çerçevelerde yatay kuvvet-deplasman ilişkisi (Histerisis Eğrileri)



Şekil 3.7. Güçlendirme deneylerinde kullanılan perdelerde yatay kuvvet-deplasman ilişkisi (Histerisis Eğrileri)

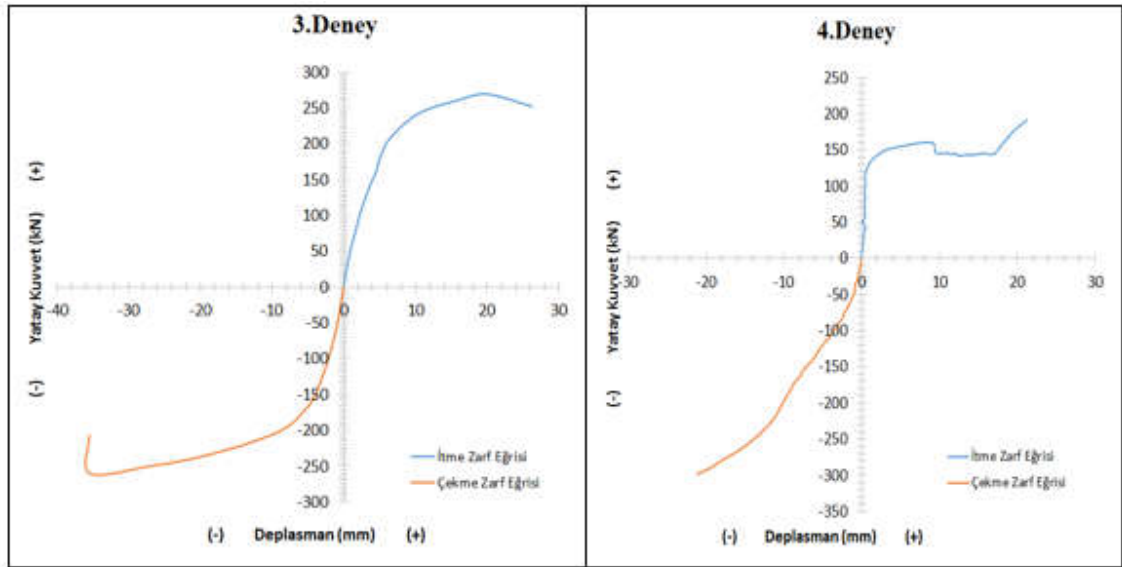
3.1.3. Deneysel Dayanım Zarfı

Deneyler süresince uygulanan toplam yatay yük-yatay tepe deplasman eğrilerine ait dayanım zarf eğrileri, her bir döngüde elde edilen maksimum yük noktaları ve bu noktalara gelen tepe deplasman değerlerinin birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Şekil 3.8’de gerçekleştirilen tüm deneyler sonucunda çerçevelere ait elde edilen dayanım zarf eğrileri verilmiştir. Grafiklerde mavi ile çizilmiş eğriler itme döngülerindeki zarf eğrilerini gösterirken kırmızı eğriler çekme döngülerindeki zarf eğrilerini gösterir.



Şekil 3.8. Tüm deneyler için çerçevelere ait dayanım zarf eğrileri.

Şekil 3.9’da ise sırasıyla hasarlı ve hasarsız çerçevelerin güçlendirme deneylerinde kullanılan perdeler ait dayanım zarf eğrileri gösterilmiştir.



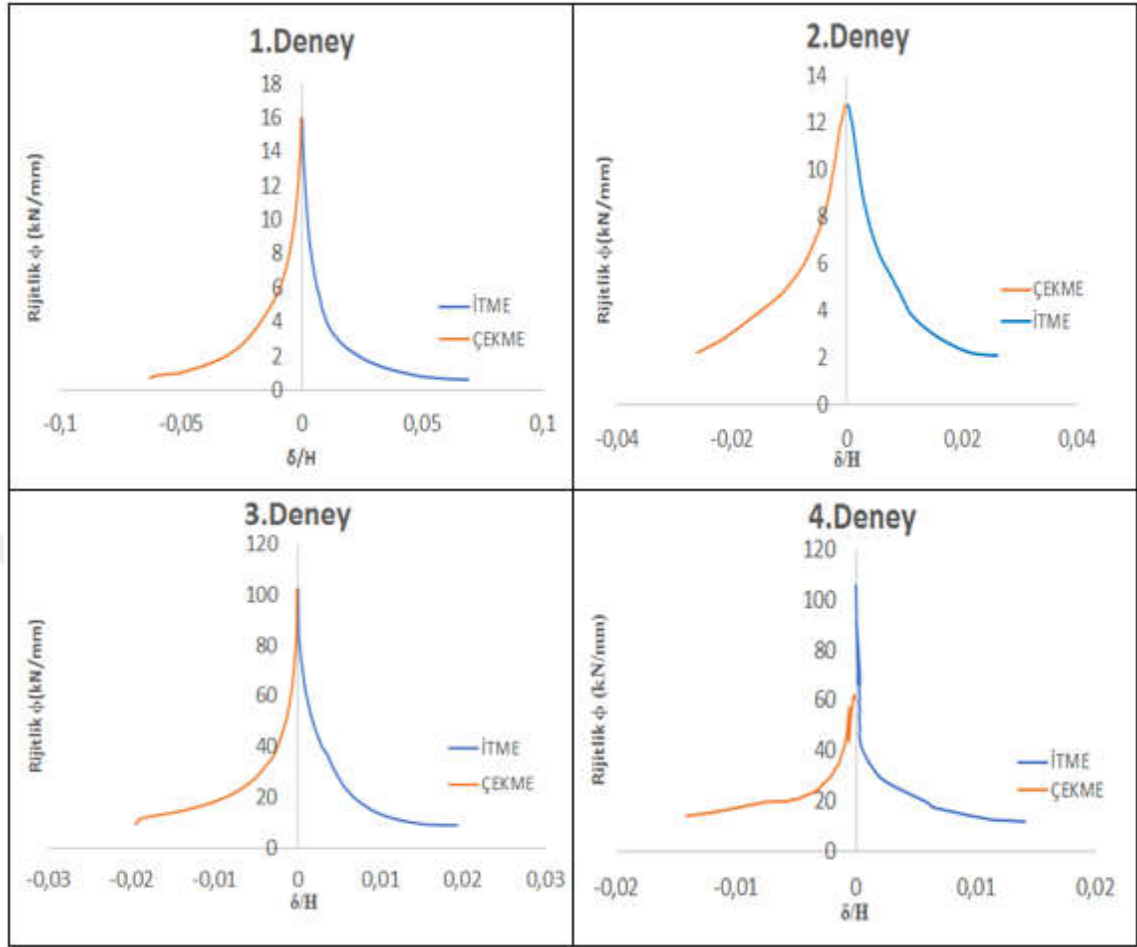
Şekil 3.9. Güçlendirme deneylerinde kullanılan perdeler ait dayanım zarf eğrileri.

3.1.4. Deneysel Rijitlik Azalımı

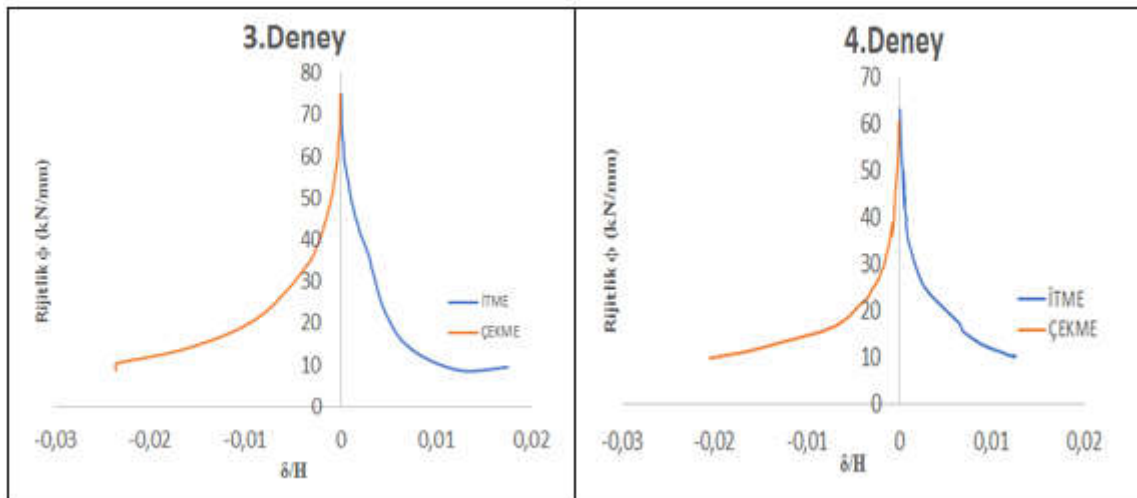
Yapısal kavram olarak rijitlik, taşıyıcı sistemlerin ötelenme ve yer değiştirme tesirlerine karşı gösterdiği direncin bir ölçüsü olarak tanımlanır. Taşıyıcı sistemlerde rijitliğin artmasıyla birlikte sistemde şekil değiştirme olabilmesi için gerekli yatay kuvvette artmalıdır. Deneysel çalışmalarda ise numunelerin yatay yükleme altında, plastik mafsall oluşumu nedeniyle rijitliklerinde azalma meydana geldiği bilinmektedir. Bu nedenle tüm deneyler için betonarme çerçeve ve perde numunelerine ait rijitlik değerleri, her bir döngü için yük-deplasman grafiğinin eğimi bulunarak belirlenmiştir. Bunun için her bir döngüde elde edilen yük-deplasman eğrisinden okunan yatay yük değerleri F_1 ve F_2 ile bu yük değerlerine karşılık gelen yatay deplasman değerleri δ_1 ve δ_2 olarak ifade edilirse, o çevrim için rijitlik değeri (ϕ) şu şekilde hesaplanır;

$$\text{Rijitlik } (\phi) = \frac{(|F_1| + |F_2|)}{(|\delta_1| + |\delta_2|)} \quad (3.1)$$

Rijitlik azalım eğrileri ise hesaplanan rijitlik değerlerinin, tepe deplasmanı / kat yükseklik oranı (δ/H) ile değişiminin grafiksel olarak çizilmesiyle elde edilmiştir. Rijitlik azalım grafikleri, deney sonuçlarının daha iyi karşılaştırılabilmesi amacıyla, döngü sayısına bağlı olarak değil, δ/H oranına bağlı olarak Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Tüm deneyler için çerçevelere ait rijitlik azalım grafikleri.



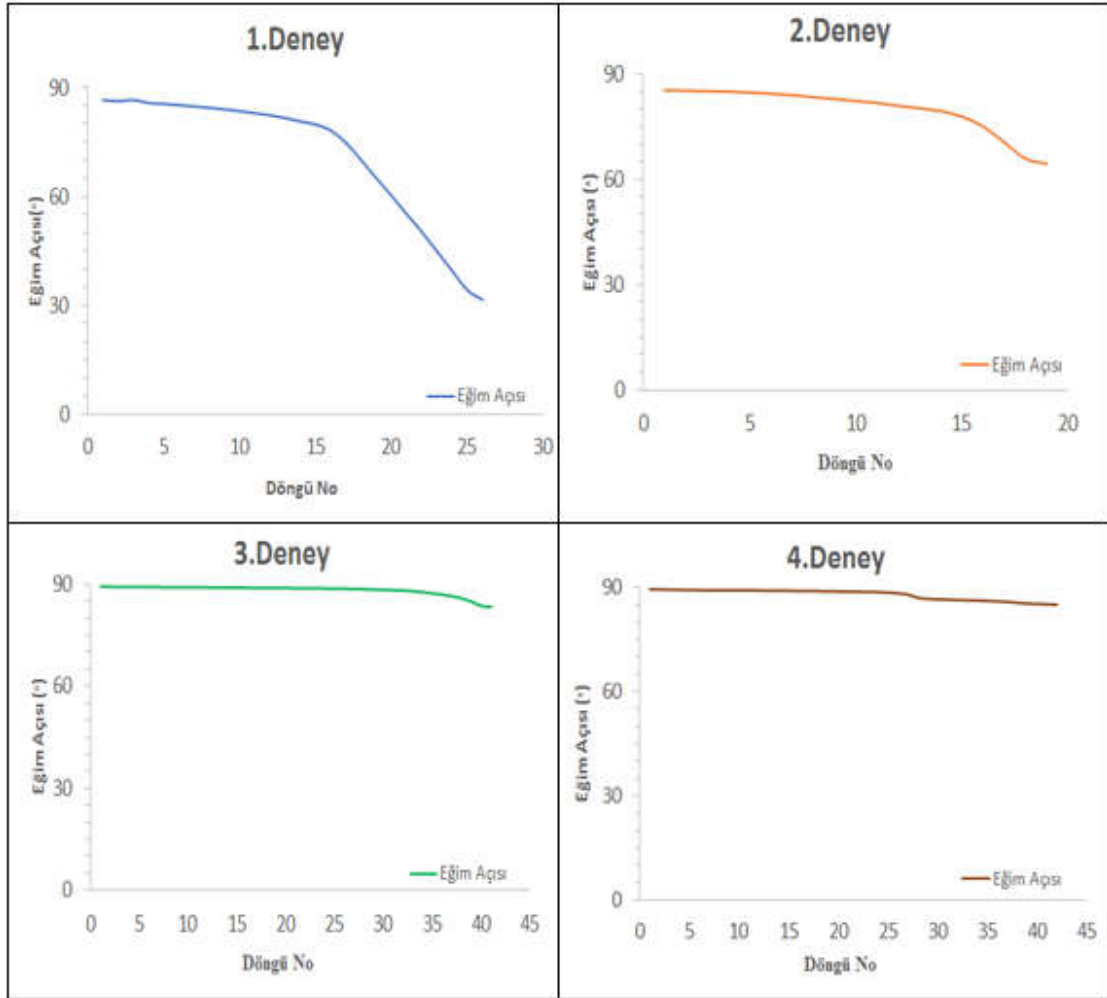
Şekil 3.11. Güçlendirme deneylerinde kullanılan perdeler için rijitlik azalım grafikleri.

3.1.5. Deneysel Eğim Açısı Grafiklerinin Çizilmesi

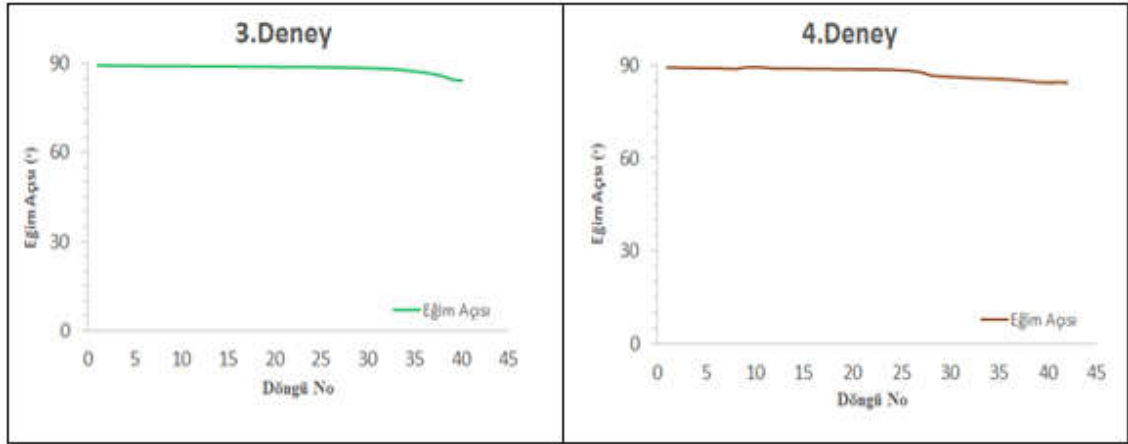
Deney numunelerinin rijitlik değerlerinin daha iyi incelenebilmesi için her bir deneyde kullanılan elemanların eğim açısı grafikleri de elde edilmiştir. Her bir döngüde oluşan eğrilerin eğimlerinden hareketle denklem 3.2 ve 3.3 deki formüller kullanılarak eğim açıları belirlenmiş ve eğim açısı grafikleri çizilerek Şekil 3.12’ de verilmiştir.

$$\tan(\theta) = \frac{(|F1| + |F1|)}{(|\delta1| + |\delta2|)} \quad (3.2)$$

$$(\theta) = \tan^{-1} \frac{(|F1| + |F1|)}{(|\delta1| + |\delta2|)} \quad (3.3)$$



Şekil 3.12. Tüm deneyler için çerçevelere ait eğim açısı grafikleri.

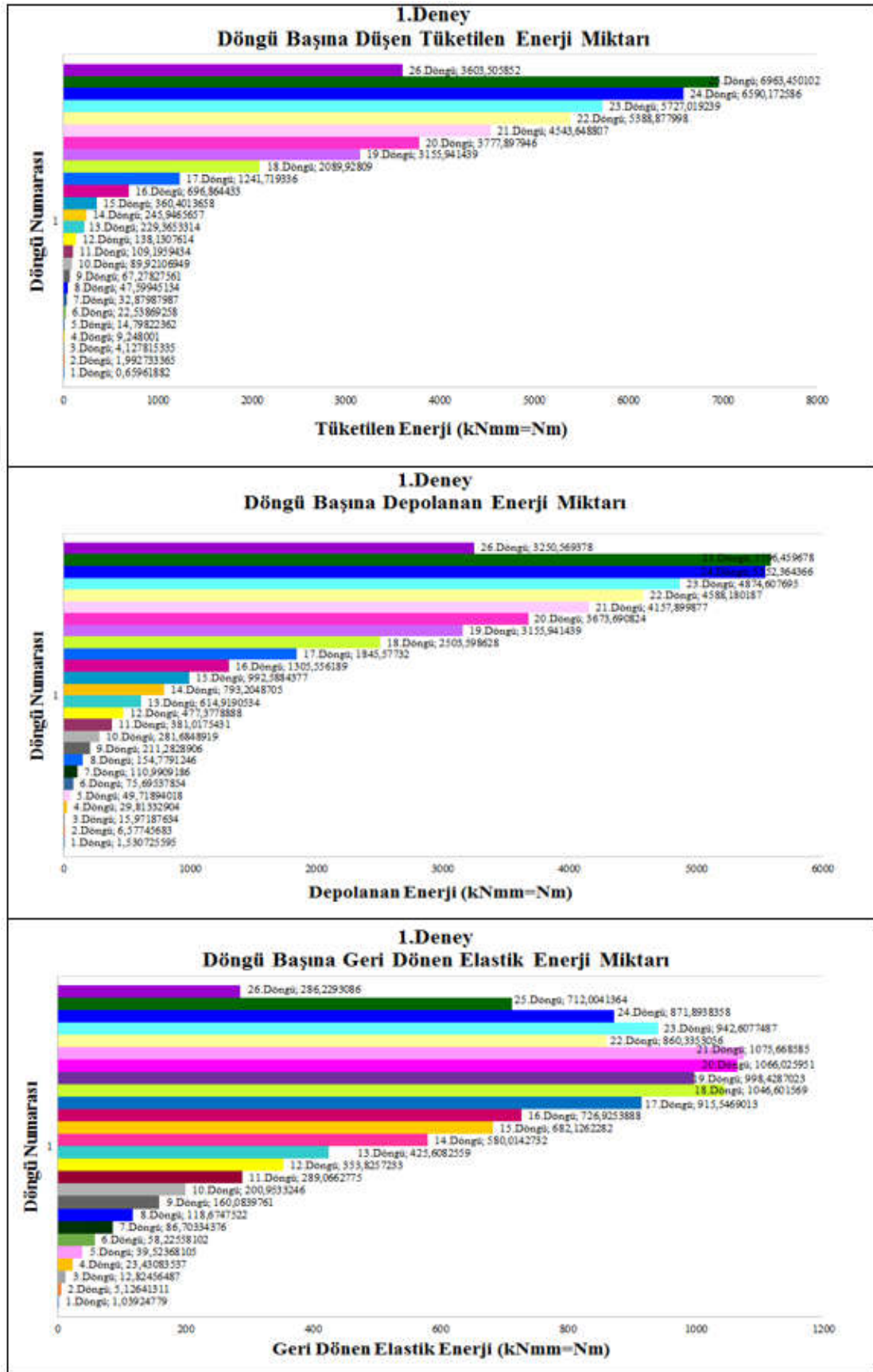


Şekil 3.13. Güçlendirme deneylerinde kullanılan perdeler için eğim açısı grafikleri.

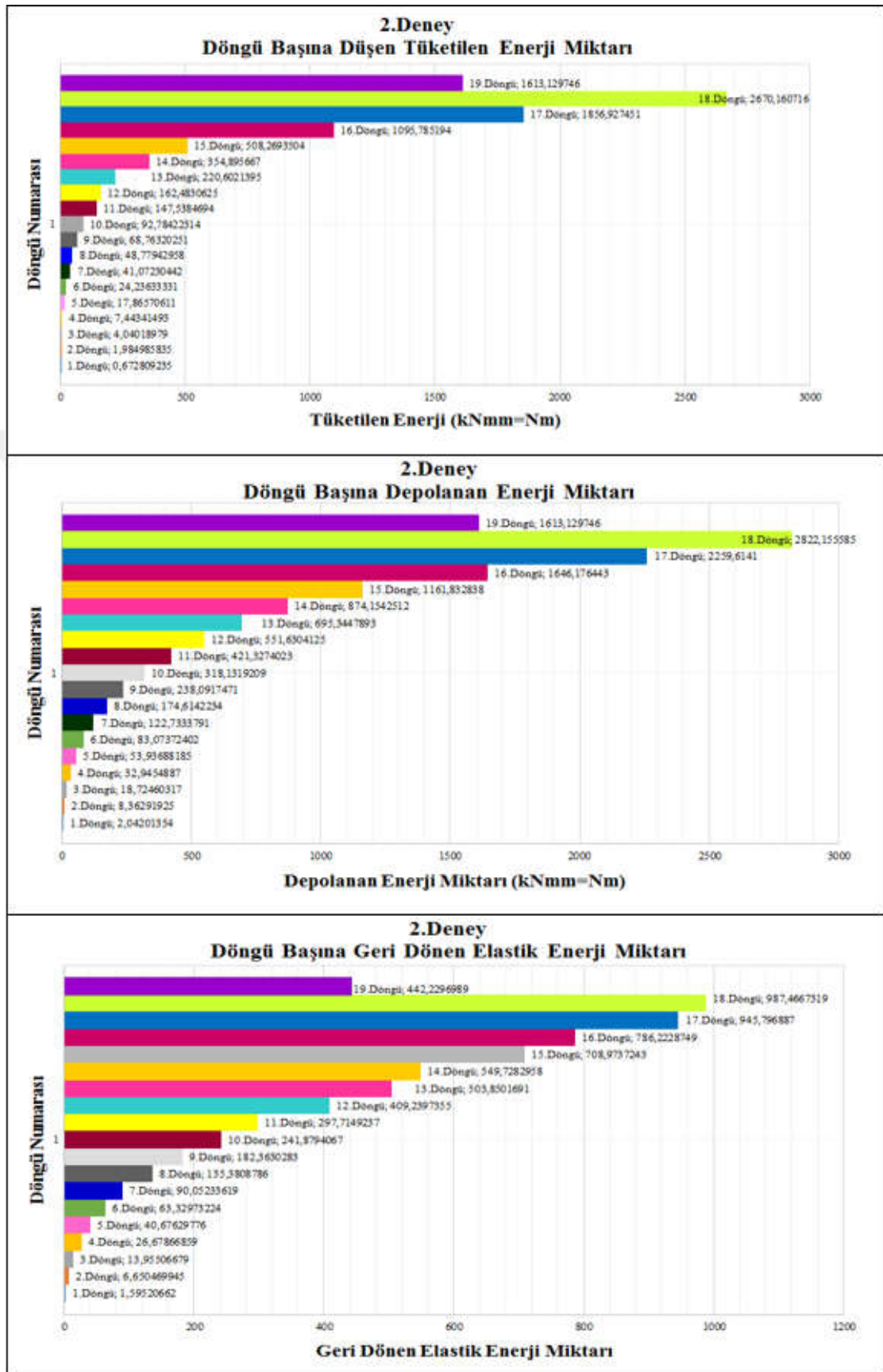
Yukarıdaki grafiklerden de görüldüğü üzere her döngüde θ açısı başlangıçta yatay eksene yaklaşık dik bir şekilde başlamış ve döngüler ilerledikçe eğim açısı da azalarak devam etmiştir. Bu şekilde eğimin azalmasıyla birlikte rijitlik, ileriki döngülerde azalarak devam etmiştir.

3.1.6. Deneysel Tüketilen Enerji

Tersinir-tekrarlanır yatay yük altındaki taşıyıcı sistemler, elastik ötesi davranış gereği üstüne gelen enerjinin bir kısmını deformasyon yaparak tüketir. Bu şekilde enerji tüketimi deplasman yapabilme kapasitesi ile orandır. Tüketilen bu enerji, özellikle deprem etkisi gibi dinamik yükleme durumlarında büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle her bir deney sonunda numuneler tarafından tüketilen enerji miktarları hesaplanmıştır. Her bir döngüde elde edilen yatay kuvvet-deplasman ilişkisini gösteren histeresis eğrilerinin altında kalan alan hesaplanmıştır. Bu eğrinin altında kalan alanı bulmak için öncelikle döngüdeki ileri yüklemede yatay yük-deplasman eğrisinin altında kalan alan; daha sonra ise geri yüklemede yatay yük-deplasman eğrisinin altında kalan alan hesaplanmıştır. Son olarak bir döngü için toplam tüketilen enerji, bu alanların toplanmasıyla hesaplanmıştır. Böylece, her döngüde elde edilen tüketilen enerji değerleri toplanarak, toplam tüketilen enerji değerlerine ulaşılmıştır. Bununla birlikte her bir deneyde döngü başına depolanan enerji miktarı, döngü başına geri dönen elastik enerji miktarı ve kümülatif enerji tüketim miktarları verilmiştir. Ayrıca toplam tüketilen enerji değerinin, tepe deplasmanı / kat yüksekliği” oranı ile değişiminin grafiksel olarak çizdirilmesiyle, her bir deney sonunda tüketilen enerji grafikleri elde edilmiştir.

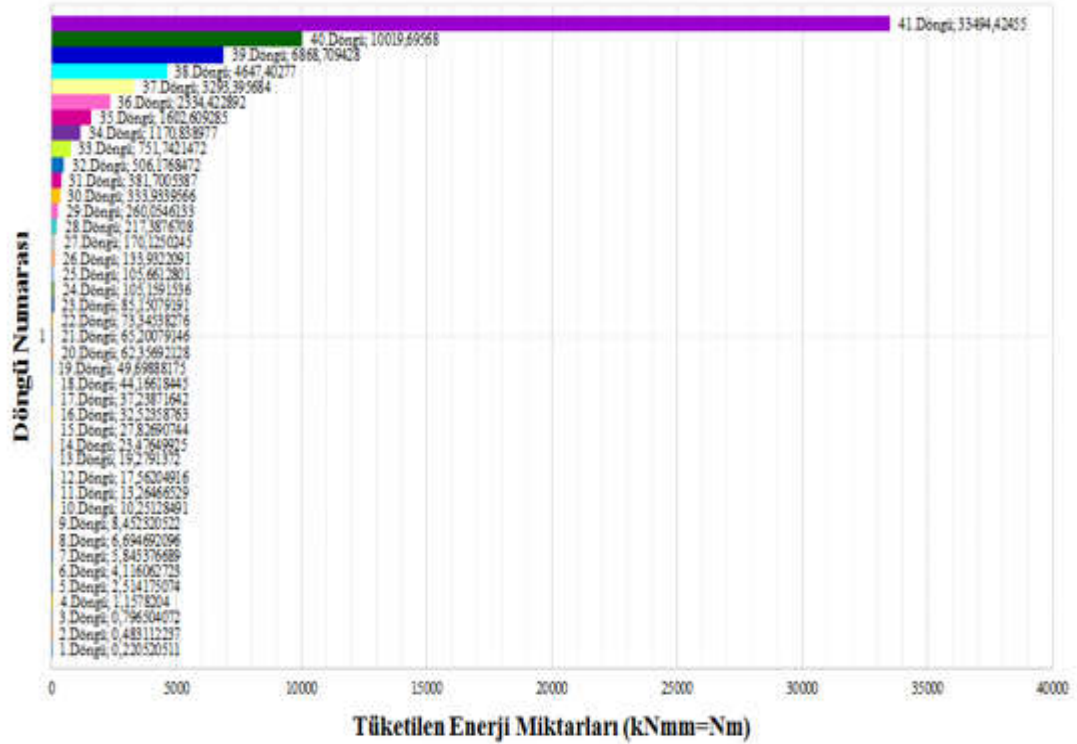


Şekil 3.14. 1.Deney için çerçeveye ait döngü başına düşen enerji miktarları.

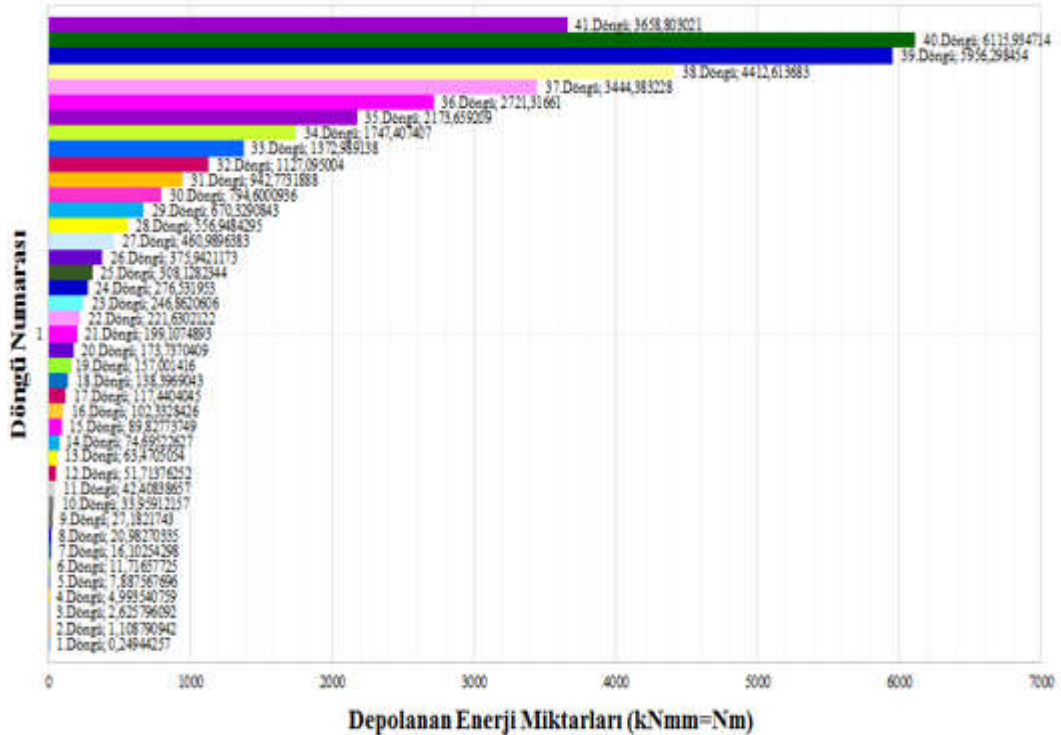


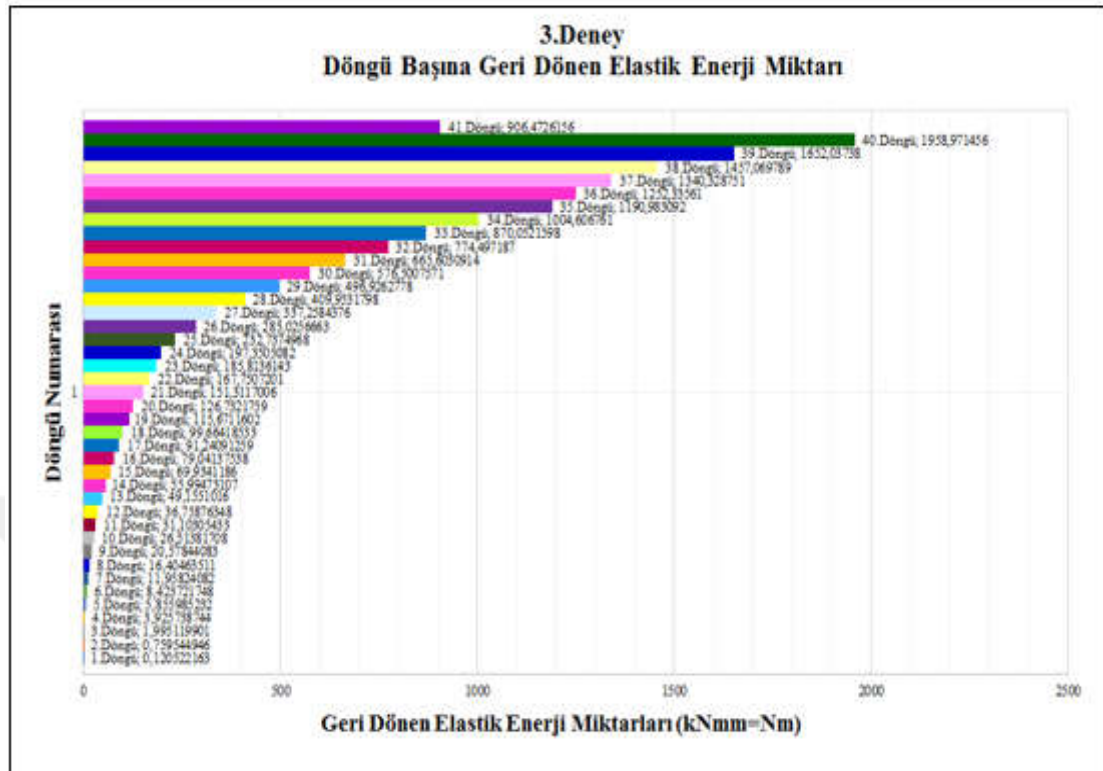
Şekil 3.15. 2.Deney için çerçeveye ait döngü başına düşen enerji miktarları.

3.Deney Döngü Başına Düşen Tüketilen Enerji Miktarı

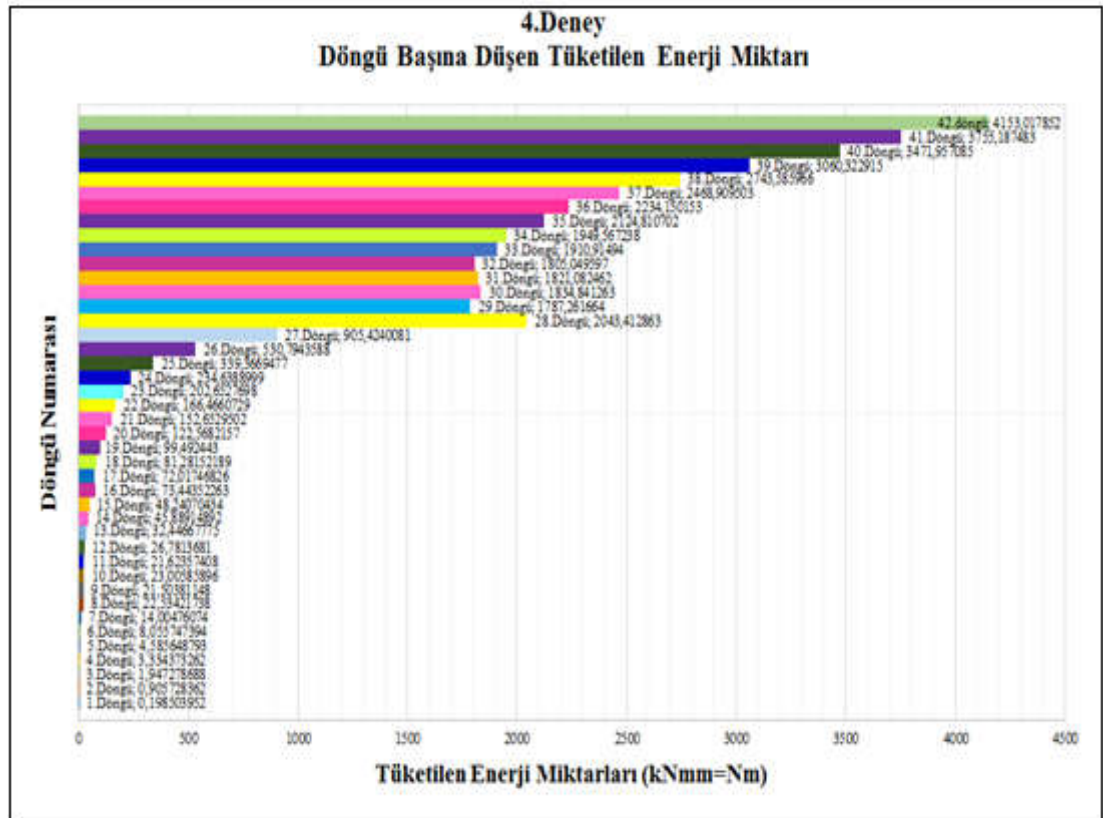


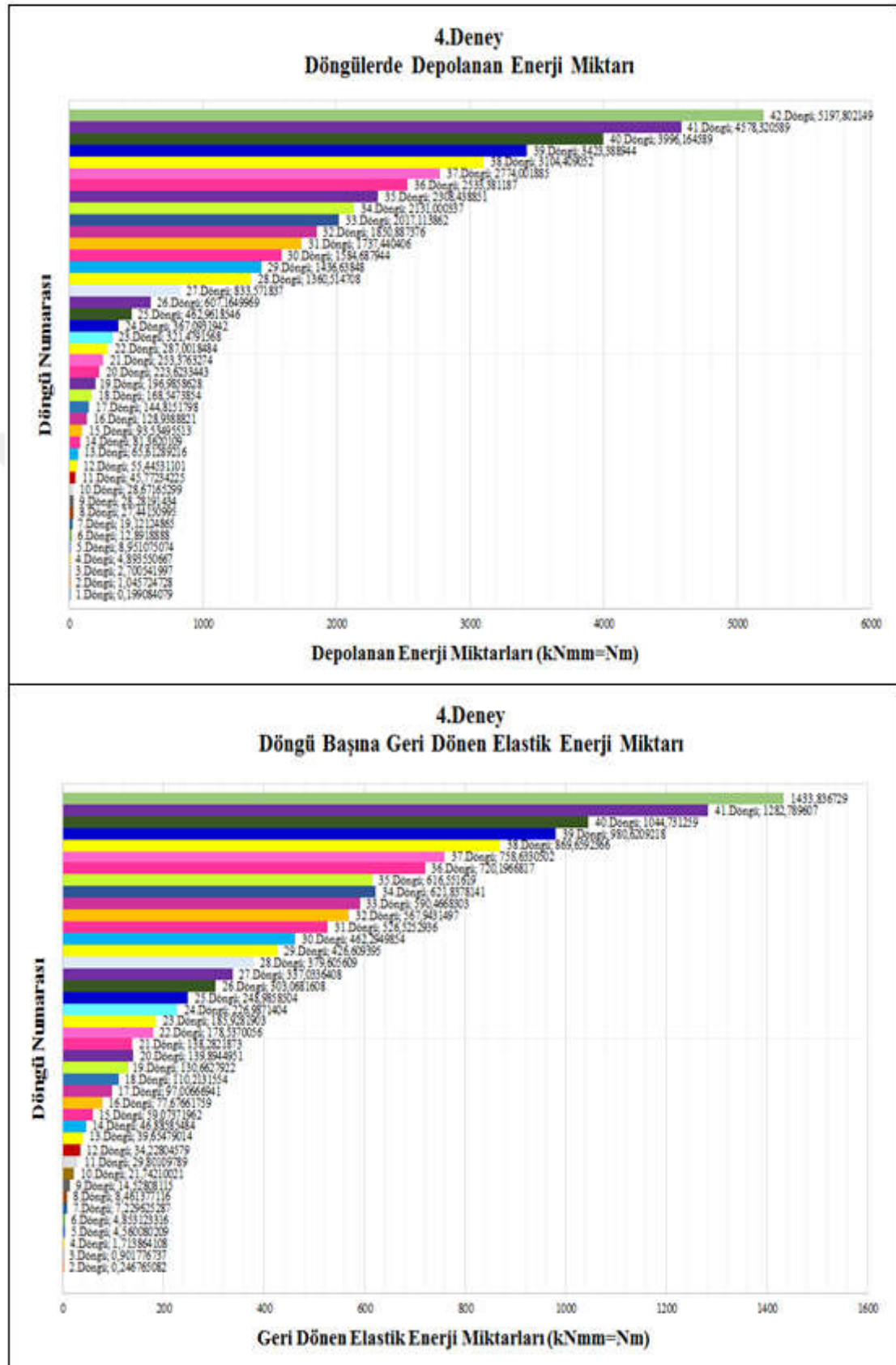
3.Deney Döngülerde Depolanan Enerji Miktarı





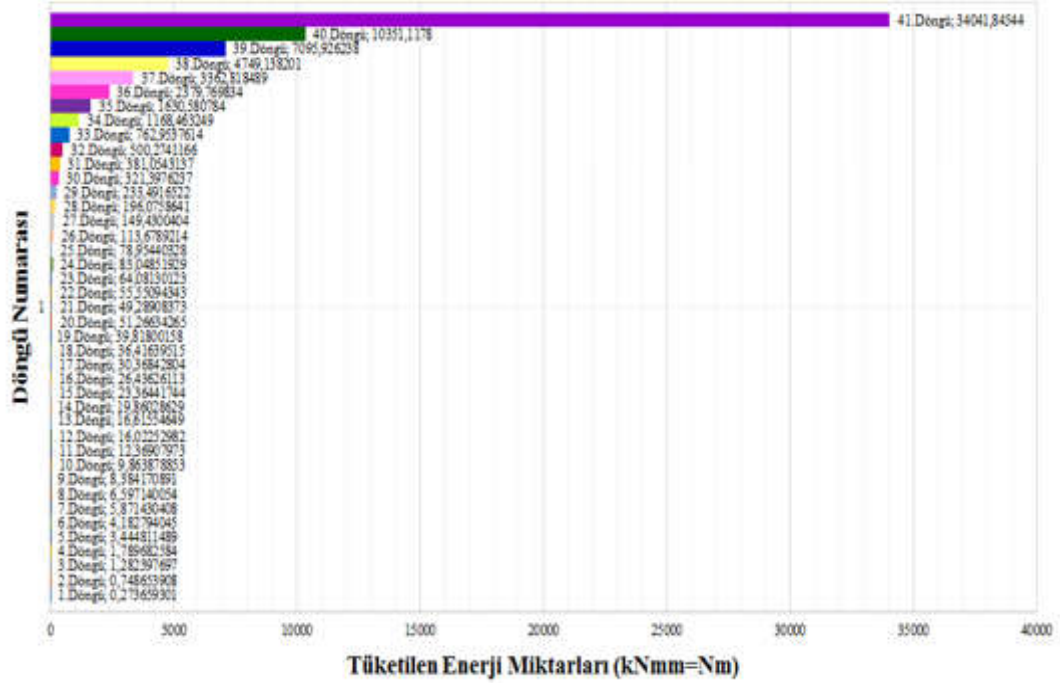
Şekil 3.16. 3.Deney için çerçeveye ait döngü başına düşen enerji miktarları.



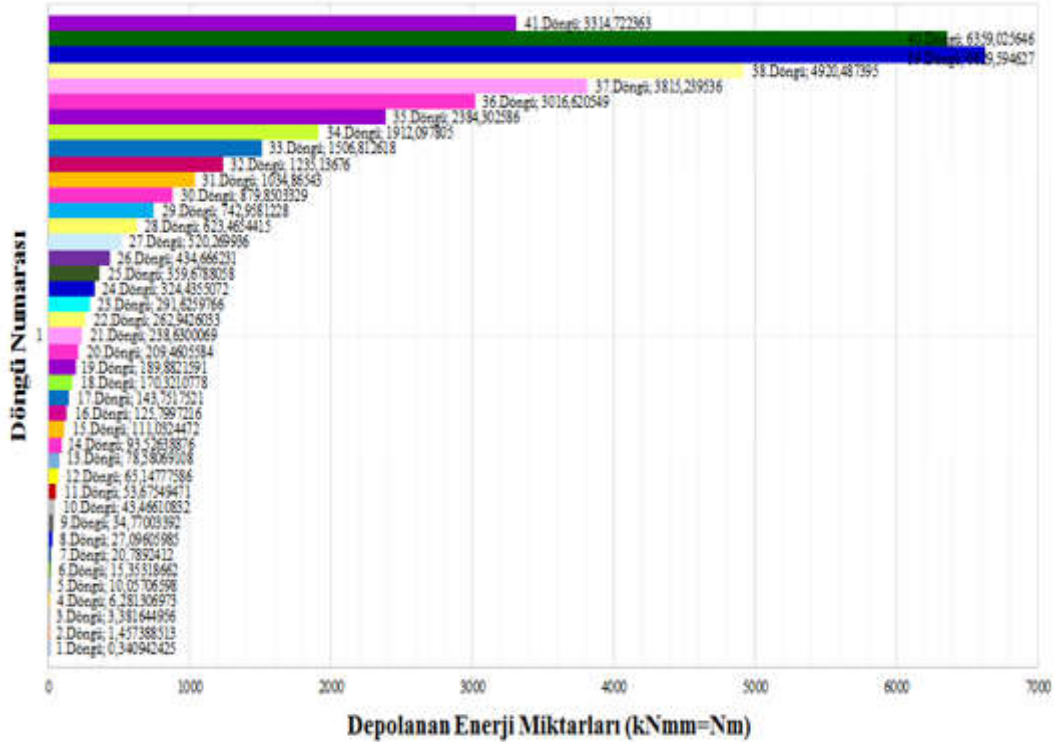


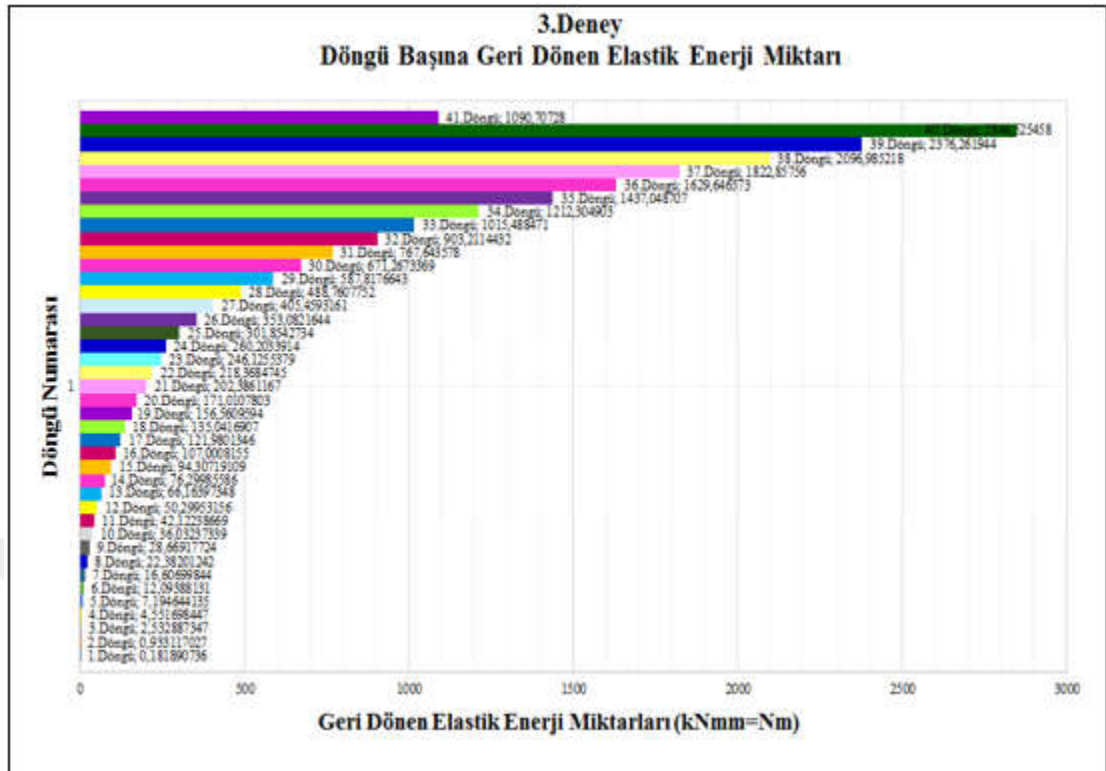
Şekil 3.17. 4.Deney için çerçeveye ait döngü başına düşen enerji miktarları.

3.Deney Döngü Başma Düşen Tüketilen Enerji Miktarı

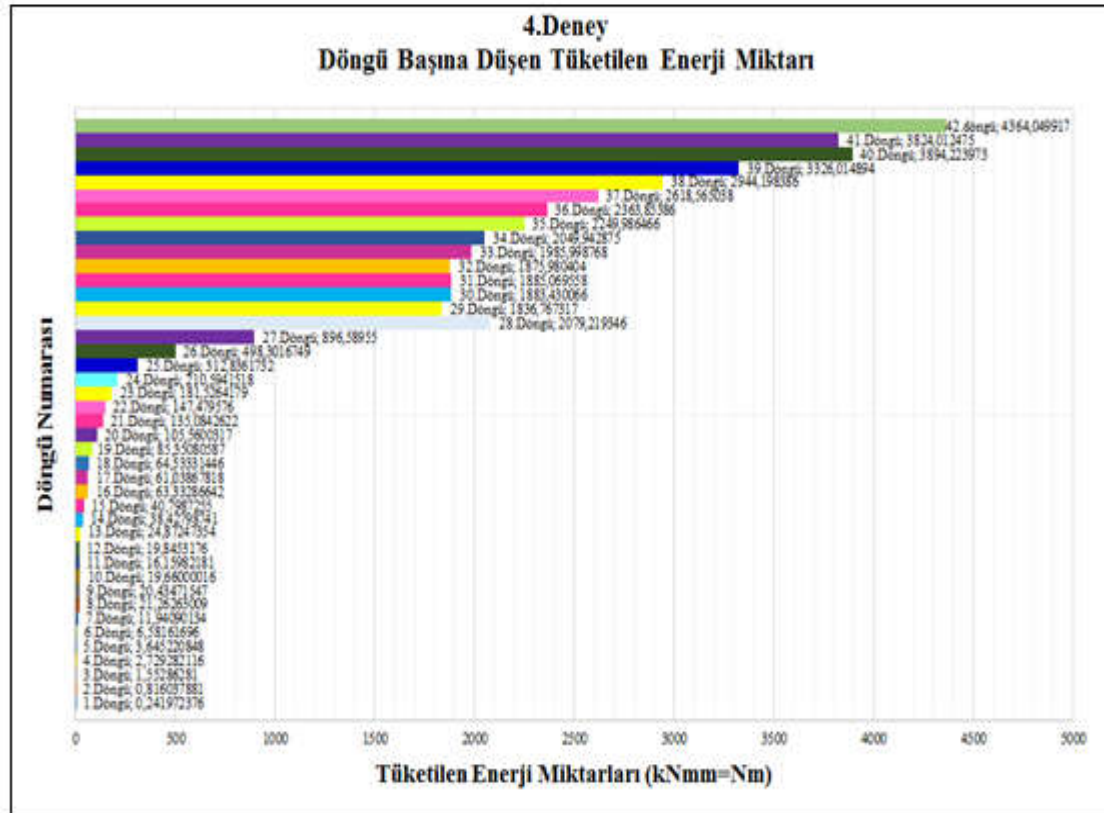


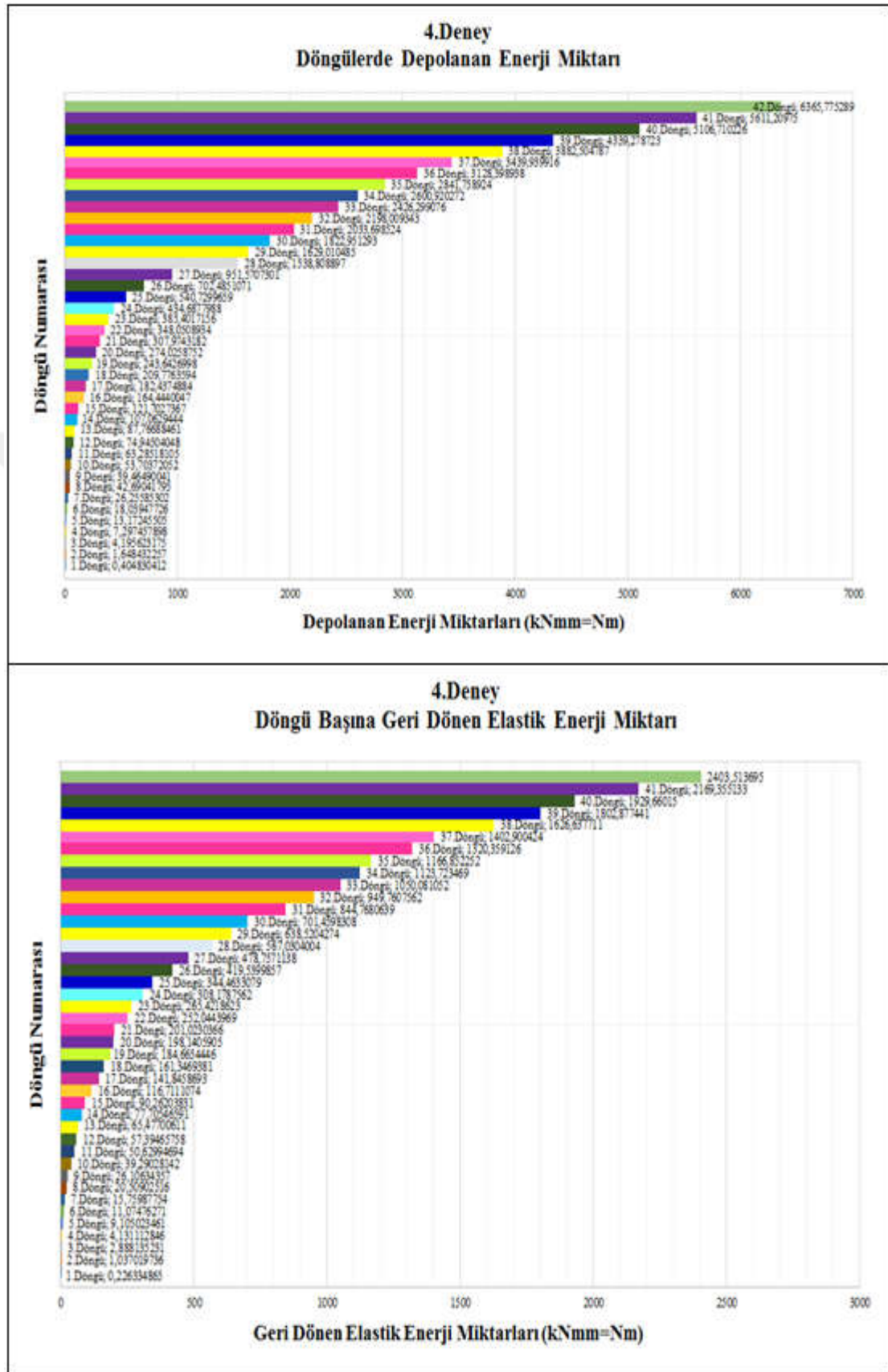
3.Deney Döngülerde Depolanan Enerji Miktarı





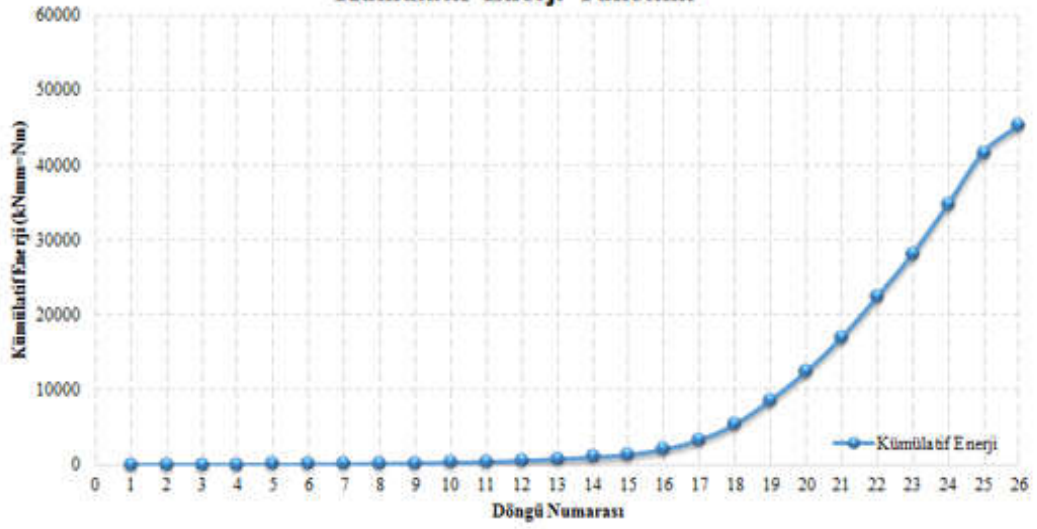
Şekil 3.18. 3.Deney için perdeye ait döngü başına düşen enerji miktarları.



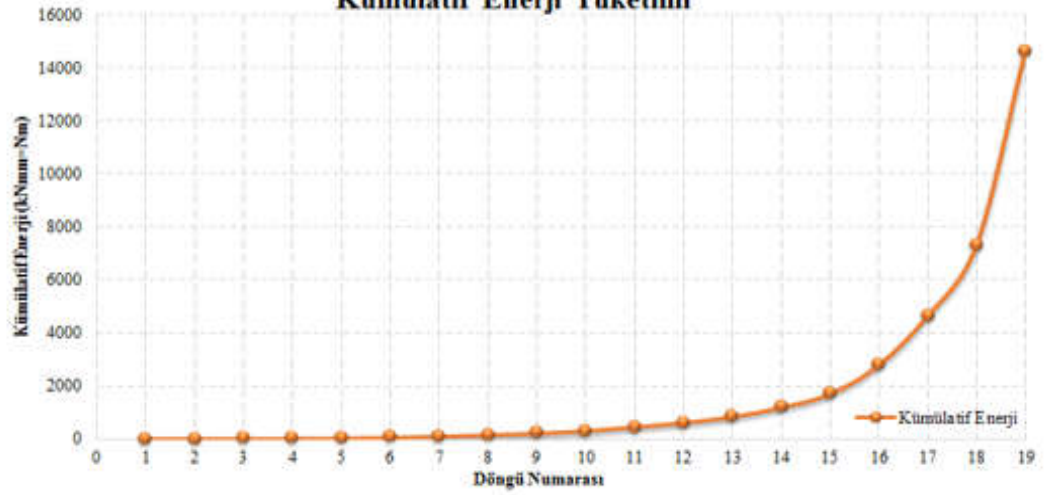


Şekil 3.19. 4.Deney için perdeye ait döngü başına düşen enerji miktarları

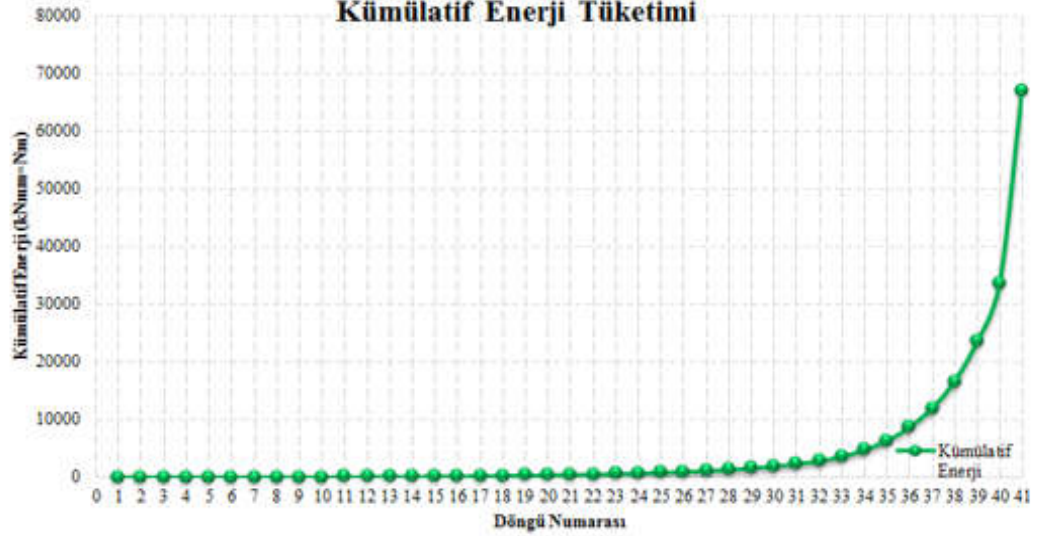
1.Deney
Kümülatif Enerji Tüketimi

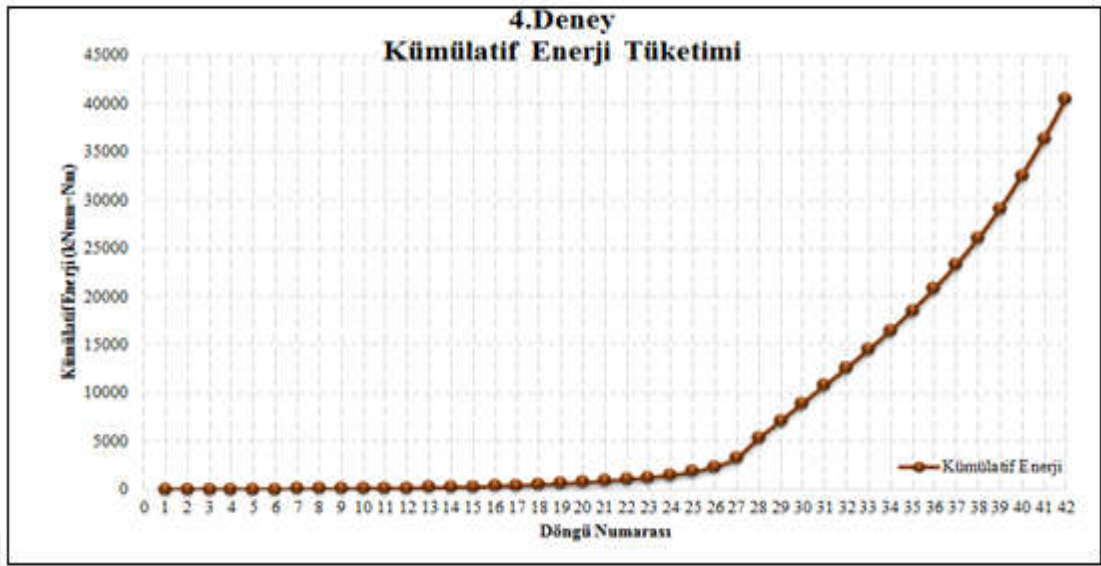


2.Deney
Kümülatif Enerji Tüketimi

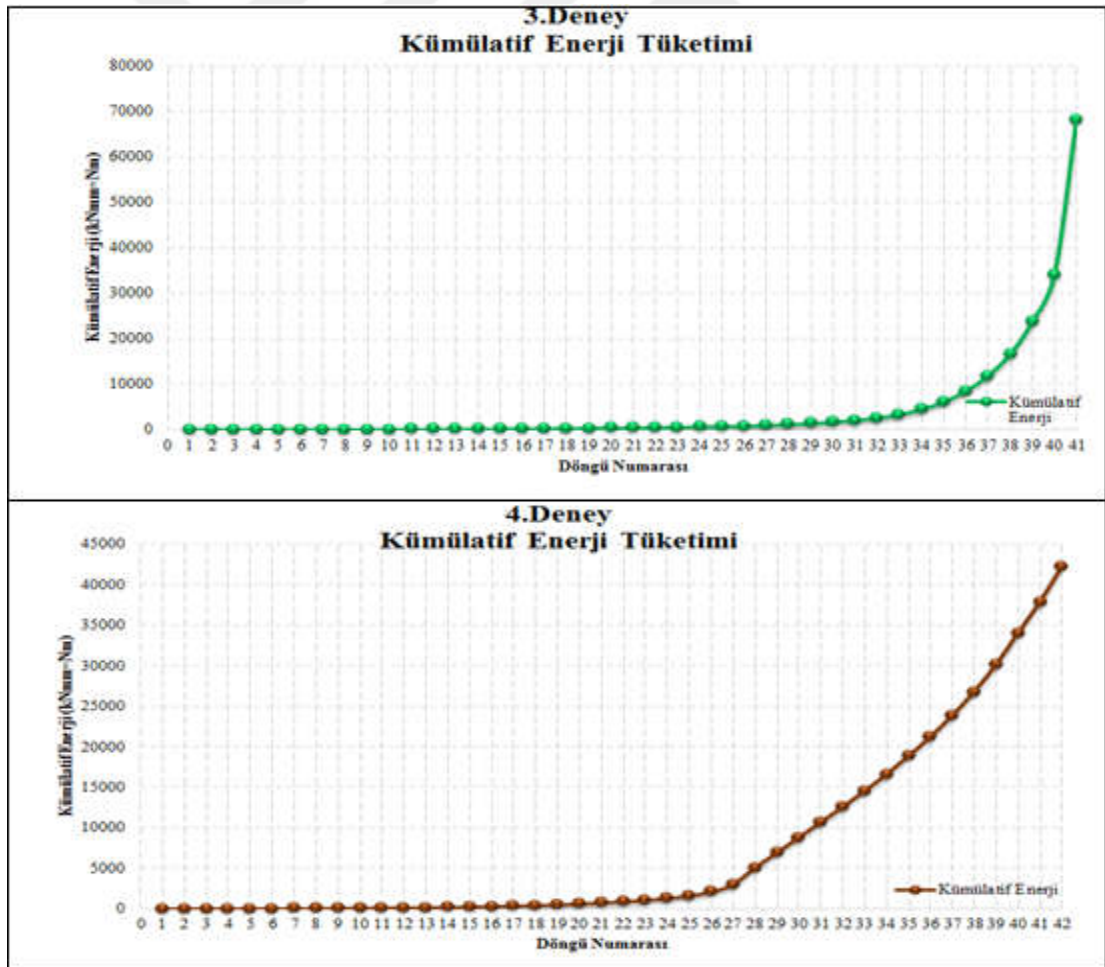


3.Deney
Kümülatif Enerji Tüketimi

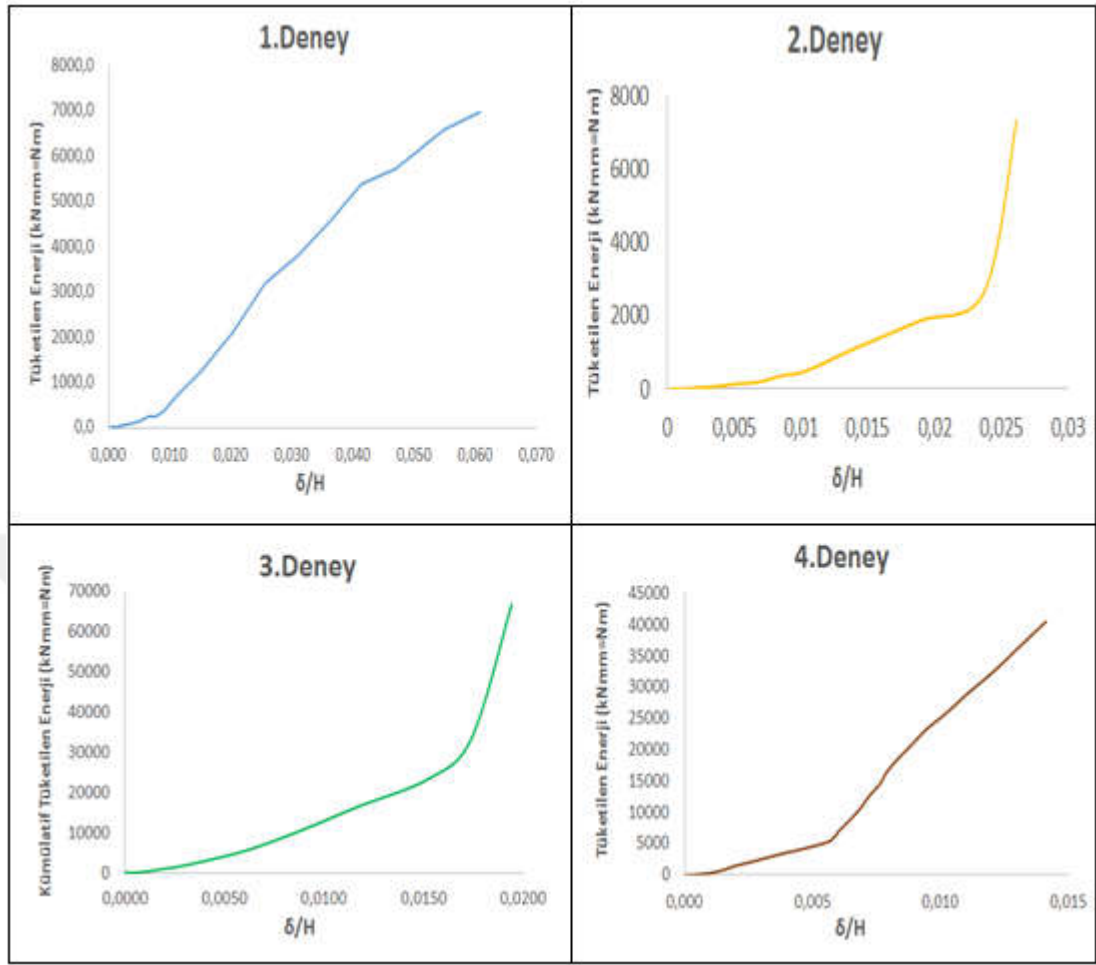




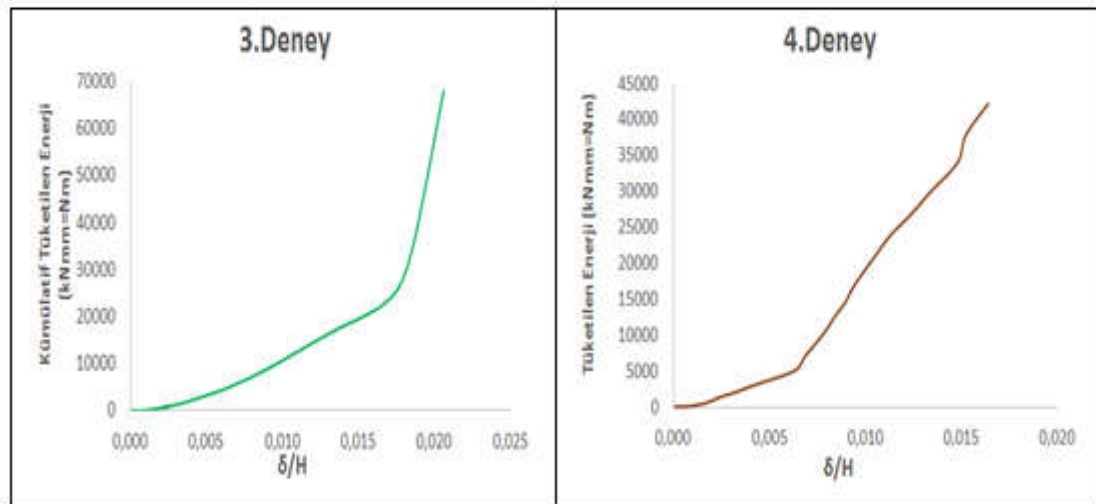
Şekil 3.20. Tüm deneyler için çerçevelere ait kümülatif enerji tüketim grafikleri.



Şekil 3.21. Güçlendirme deneylerinde kullanılan perdeler için kümülatif enerji tüketim grafikleri.



Şekil 3.22. Tüm deneyler için çerçevelere ait tüketilen enerji grafikleri.

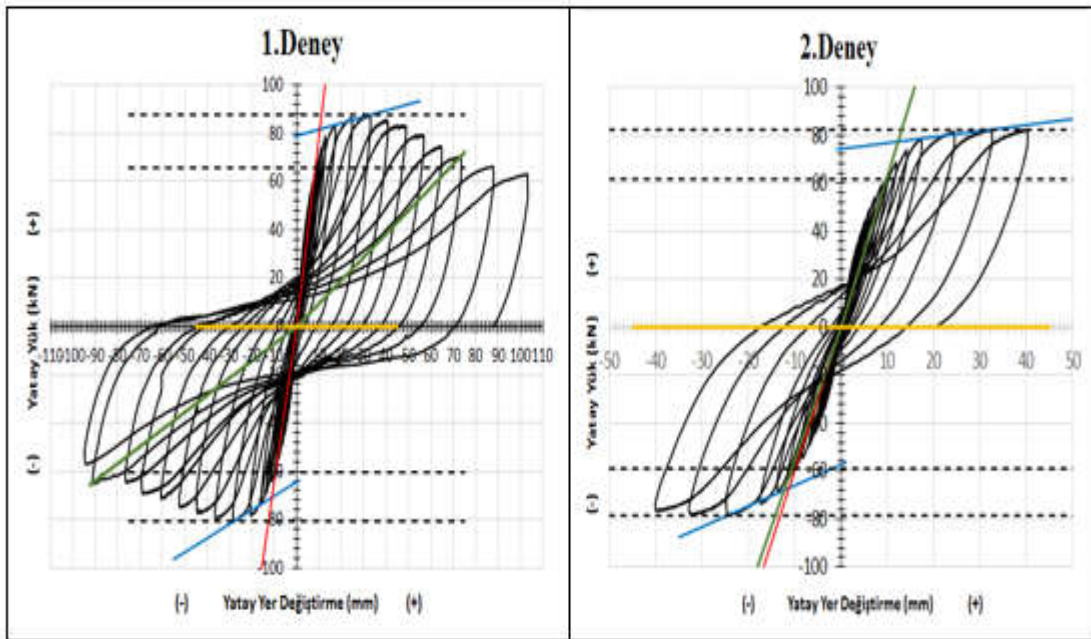


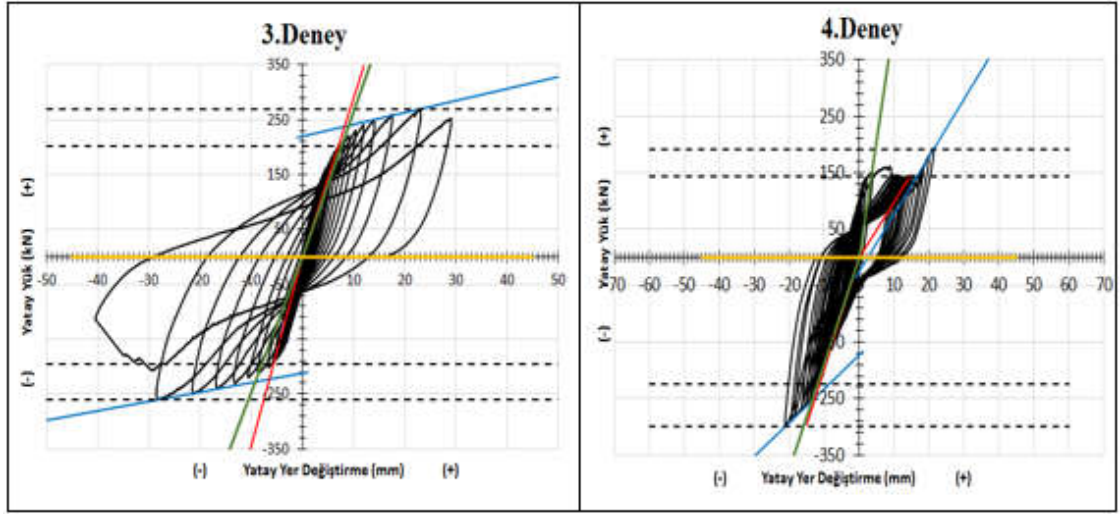
Şekil 3.23. Güçlendirme deneylerinde kullanılan perdeler için tüketilen enerji grafikleri.

3.1.7. Deneysel Düktilite Grafikleri

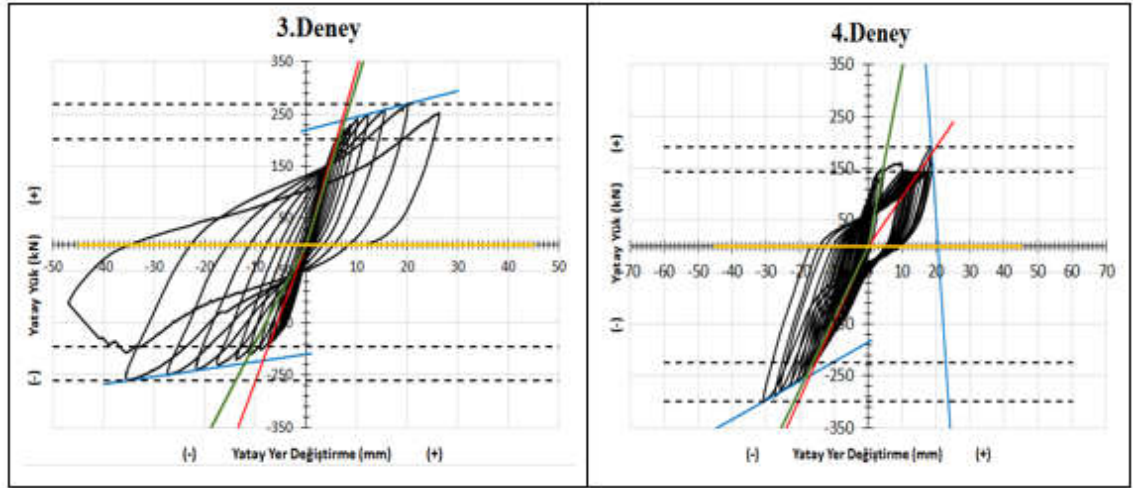
Düktilite, yükler altında taşıyıcı sistemin enerji tüketebilme kapasitesi olarak tanımlanıp özellikle deprem etkisi altındaki taşıyıcı sistemler için büyük önem taşımaktadır. Düktilite hesabı için sistemin ulaşabildiği maksimum deplasmanın, akma deplasmanına oranı hesaplanır. Histeresis eğrilerinden elde edilen zarf eğrileri yardımıyla sistemin düktilitesine ulaşabilmek için grafiksel bir yöntem kullanılmıştır. Yöntemde ilk olarak zarf eğrisi Excel ortamında çizilmiştir. Daha sonra ileri ve geri çevrimler için maruz kalınan maksimum yatay yük seviyesi işaretlenmiştir (F_{max}). Maksimum yükün %25 düştüğü noktaya karşılık gelen nokta zarf eğrisinde işaretlenmiş ve karşılık gelen Δ_2 deplasman değeri okunmuştur. Zarf eğrisine çizilen teğet ile yatay yükte %25 düşüşe karşılık gelen eğrilerin kesişim noktasına karşılık gelen Δ_1 deplasman değeri elde edilmiştir. Bununla birlikte maksimum yatay yükün %20 azaldığı noktalardaki deplasman değerleri de bulunmuştur. Böylece bu noktalardan hem itme hem de çekme döngülerinde histeresis eğrisine çizilen teğetlerin kesim noktaları belirlenerek Denklem 3.4 te yerine yazılmış ve her bir deneyin hem itme hem de çekme döngülerindeki düktilite katsayıları hesaplanmıştır.

$$\mu = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y} \quad (3.4)$$





Şekil 3.24. Tüm deneyler için çerçevelere ait düktilite grafiklerinin çizimi.



Şekil 3.25. Güçlendirme deneylerinde kullanılan perdeler için düktilite grafiklerinin çizimi

Tablo 3.1. Deney numunelerinin düktilite katsayılarının karşılaştırılması.

Deney Numunesi	İtme Döngüsü			Çekme Döngüsü				
	Δ_{max}	Δ_y	μ	Δ_{max}	Δ_y	μ	Δy_{ort}	μ_{ort}
1.Deney	73,45	10,35	7,10	91,26	11,04	8,26	10,70	7,68
2.Deney	11,79	9,43	1,25	11,61	10,27	1,13	9,85	1,19
3.Deney-Çerçeve	7,97	8,19	0,97	8,58	6,50	1,32	7,34	1,15
3.Deney-Perde	6,80	7,04	0,97	11,32	8,54	1,33	7,79	1,15
4.Deney- Çerçeve	7,74	7,18	1,09	5,73	5,62	1,02	6,40	1,06
4.Deney-Perde	8,08	7,35	1,10	7,28	7,07	1,03	7,21	1,07

3.1.8. Deneysel Çatlak Gelişimi

Deneyler sırasında deney numunelerinin üzerindeki çatlak gelişimlerinin incelenmesi hem yapı hem de eleman davranışı açısından oldukça önemli bilgiler vermektedir. Bu nedenle numune üzerindeki her bir eleman projesine uygun olarak numaralandırılmış ve çatlak konumu ve seviyesini daha iyi belirleyebilmek adına kolonların üzerine skalalar çizilmiştir. Her bir döngüde bir itme bir de çekme yatay kuvveti uygulanmıştır. Her bir itme döngüsünde meydana gelen çatlaklar mavi kalem, her bir çekme döngüsünde oluşan çatlaklar ise kırmızı kalem ile çizilmiş olup üzerlerine döngü numaraları yazılmıştır. Böylece çatlak gelişiminin izlenmesi sağlanmıştır.

Tablo 3.2. Elemanlarda ilk çatlakların oluştuğu döngüler.

Deney Adı	Kolonda İlk Çatlak Oluşumu	K-T Birleşimi İlk Çatlak Oluşumu	K-K Birleşimi İlk Çatlak Oluşumu	Kirişte İlk Çatlak Oluşumu	Döşemede İlk Çatlak Oluşumu	Perdede İlk Çatlak Oluşumu	P-T Birleşimi İlk Çatlak Oluşumu
1.Deney	4.Döngü	13.Döngü	6.Döngü	16.Döngü	16.Döngü	Perde Yok	Perde Yok
2.Deney	5.Döngü	7.Döngü	5.Döngü	16.Döngü	-	Perde Yok	Perde Yok
3.Deney	7.Döngü	7.Döngü	12.Döngü	20.Döngü	-	32.Döngü	37.Döngü
4.Deney	4.Döngü	4.Döngü	4.Döngü	4.Döngü	-	14.Döngü	38.Döngü

Deneye tabi tutulan betonarme çerçevelerde, kolonlarda ilk çatlağın oluşması ilk ve son deneylerde aynı döngülerde diğer deneylerde ise hemen hemen benzer döngülerde meydana gelmiştir. Kolon-temel birleşim bölgelerinde ise ilk çatlak oluşumu en erken hasarsız çerçevenin güçlendirilmesi deneyinde, en geç referans deneyde oluşmuştur.

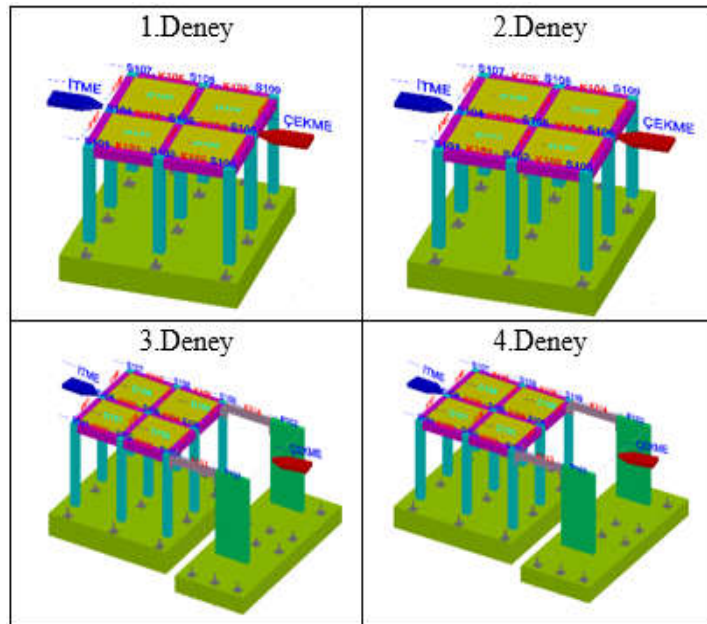
Kolon kiriş birleşim bölgelerinde ise, ilk çatlak oluşumu en erken yine hasarsız çerçevenin güçlendirilmesi deneyinde en son da hasarlı çerçevenin güçlendirilmesi deneyinde görülmüştür. Kirişte ilk çatlak oluşumu sisteme perde ilave edilmesiyle birlikte daha erken döngülerde meydana gelmiş ancak, çatlak yoğunluğunun dış perdelerle güçlendirilmesiyle birlikte azaldığı görülmüştür. Çatlaklar ilk olarak 4.deneyde en son ise 1. ve 2. deneylerde aynı döngülerde oluşmuştur. Döşemede ise çatlak oluşumu sadece referans deneyde oluşmuş özellikle çerçevenin güçlendirilmesinden sonra döşemelerde herhangi bir çatlak meydana gelmemiştir. Kolonlarda, kirişlerde ve birleşim bölgelerinde görülen ilk çatlakların tamamı eğilme çatlağı olup, kolon ve kirişlerdeki

çatlak yoğunluğunun çerçevelerin dış perdelerle güçlendirilmesiyle birlikte azaldığı görülmüştür.

Betonarme çerçeveye hasar verme deneyi olan ikinci deney dışında kolonlarda kesme çatlağı oluşmamış ayrıca tüm deneylerde herhangi bir burulma çatlağına rastlanmamıştır. Kolon kiriş birleşim bölgelerinde eğilme çatlağı oluşumu bununla beraber ikinci deneyde 45° lik kesme çatlakları da görülmüştür. Kirişlerde daha çok çekme ve kesme kuvvetinden kaynaklanan eğik eğilme çatlakları meydana gelmiş ve çatlaklar genellikle mesnetlere yakın bölgelerde kiriş üst ve alt yüzlerinde görülmüştür.

Gerçekleştirilen tüm deneylerde itme ve çekme döngülerinde kolonların çekme yüzünde eğilme çatlağı oluşmuştur. Kolonların temel ile birleştiği bölgelerde betondaki ezilmelerden dolayı basınç kırılmaları meydana gelmiş bunun sonucu olarak kolon donatıları burkulmuş ve kolon temel birleşiminde mafsallaşma meydana gelmiştir.

Güçlendirme deneylerinde kullanılan perdelerde ise hasarsız çerçevenin güçlendirilmesi deneyinde ilk çatlak oluşumu gözlenirken hasarlı çerçevenin güçlendirilmesi deneyinde çok daha ileri döngülerde çatlak oluşumu gözlenmiştir. Güçlendirme perdeleri ise perde yüksekliği kısıtlaması nedeniyle kesme perdesi olarak çalıştığından çatlaklar genellikle perde-temel birleşim bölgesinde meydana gelmiş olup yer yer perde orta bölgelerinde de eğilme çatlakları oluştuğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.26. Deney modellerinde eleman isimlendirilmesi ve yükleme yönleri.



Şekil 3.27. 1.Deney (Referans Çerçeve) başlangıcında taşıyıcı sistemin görünümü.

1.Deney düzeneğine ait görünüm Şekil 3.27’de verilmiştir. Bu deney çerçevesinin pek çok parametre açısından tam kapasitesinin belirlenmesi ve diğer deneylerle karşılaştırılması amacıyla yapılmıştır. Deney verilerinin elde edilmesi amacıyla 8 adet strainage, 1 adet LVDT, 3 adet potansiyometrik cetvel ve 2 adet loadcell kullanılmıştır. Deneye ilk olarak 5 kN luk yük verilerek başlanmış ve 5 kN luk artışlarla yük kontrollü olarak 18.döngüye kadar devam edilmiş sonrasında ise 8 mm artışla deplasman kontrollü olarak sonlandırılmıştır. Deney sırasında belli döngülerde çatlak kontrolü yapılmış ve bununla ilgili olarak hazırlanan rapor Tablo 3.3’de verilmiştir. Buna göre ilk çatlak oluşumu 4.itme döngüsünde 20 kN yükte S1 kolonunun 1h seviyesinde ve S4 kolonun 8h seviyesinde meydana gelmiştir. 6.çekme döngüsünde 30 kN’da S5, S6 ve S9 kolonlarının kolon kiriş birleşim bölgelerinde enine eğilme çatlağı oluşumu gözlenmiştir. 16. İtme döngüsünde 80 kN da K6 kirişinde çatlak meydana gelmiştir. Döşemelerde ise ilk çatlak yine 16.döngüde ancak bu kez çekme döngüsünde D2 döşemesinde oluşmuştur. Kolon-temel birleşim bölgesinde ilk çatlak ise 13.itme döngüsünde 65 kN’ da S1 kolonunda gözlenmiştir. Deney sırasında yapılan çatlak kontrolüne göre en çok hasar alan elemanlar kolonlar olup en çok hasar gören bölgeler ise kolon-kiriş ve kolon-temel birleşim bölgeleri olarak gözlenmiştir. Bununla birlikte kolon temelindeki donatılarda burkulmalar meydana gelmiştir.

Tablo 3.3. 1.Deney numunesinde döngülerde gözlenen davranış.

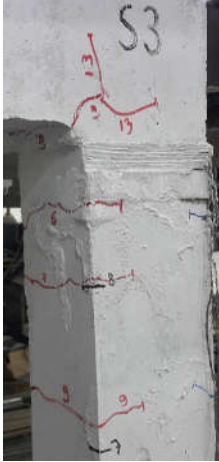
Döngü No	Yatay Yük (kN)	Yatay Tepe Deplasmanı (mm)	Gözlenen Davranış
1.1	5	0,31	-----
1.2	-5	-0,31	-----
2.1	10	0,65	-----
2.2	-10	-0,69	-----
3.1	15	1,06	-----
3.2	-15	-1,1	-----
4.1	20	1,48	S1 kolonu A yüzünde 1h seviyesinde enine eğilme çatlağı, S4 kolonu C yüzünde 8h seviyesinde enine eğilme çatlağı oluşmuştur.
4.2	-20	-1,55	-----
5.1	25	1,96	S2 kolonu C yüzünde 9h seviyesinde enine eğilme çatlağı, S4 kolonu A yüzünde 1,5h seviyesinde enine eğilme çatlağı oluşmuştur. Bununla birlikte S7 kolonu C yüzünde 9h seviyesinde, S8 kolonu C yüzünde 9h ve A yüzünde 1,5h seviyesinde enine eğilme çatlağı gelişimi gözlenmiştir.
5.2	-25	-2,07	-----
6.1	30	2,43	S2 kolonu C yüzünde 8h seviyesinde enine eğilme çatlağı, S4 kolonu C yüzünde 9h seviyesinde enine eğilme çatlağı oluşmuştur. Ayrıca S5 kolonu C yüzünde 8h seviyesinde, enine kılcak çatlaklar gözlenmiştir.
6.2	-30	-2,71	S3 kolonu A yüzünde 8,5h seviyesinde enine eğilme çatlağı; S5, S6 ve S9 kolonlarında kolon-kiriş birleşim bölgesinde enine çatlaklar gözlenmiştir.
7.1	35	2,96	S1 kolonu A-B köşesinde 1,5h seviyesinde, S3 kolonu C yüzünde 8,5h enine eğilme çatlağı; S4 kolonu A-B köşesinde 1h seviyesinde aynı kolonun C yüzünde 7,5h seviyesinde ve S8 kolonunun B-C köşesi 8,5h seviyesinde enine eğilme çatlakları gözlenmiştir.
7.2	-35	-3,48	S9 kolonu A yüzünde 8h seviyesinde yan yüzlere kadar devam eden aynı şekilde S6 kolonu A yüzünde 8h seviyesinde yan yüzlere kadar devam eden çatlaklar oluşmuştur. S5 ve S3 kolonlarında A yüzünde yan yüzlere devam eden enine eğilme çatlağı yine S5 kolonunun B-C köşesi 1h seviyesinde enine eğilme çatlakları gözlenmiştir. Bununla birlikte S6 kolonun C yüzünde 0,5h seviyesinde ve S8 kolonunun A yüzünde 8,5h seviyesinde enine eğilme çatlakları oluşmuştur.
8.1	40	3,55	S3 kolonu 8h seviyesinde C yüzünde ve aynı kolonun A yüzünde 1h seviyesinde enine eğilme çatlağı; S5 kolonu C yüzünde 1h seviyesi ve S1 kolonunun C yüzünde 8h seviyesinde, S2 kolonu C yüzünde 7h seviyesinde ve S8 kolonu C yüzünde 8h seviyesinde enine eğilme çatlakları oluşmuştur.
8.2	-40	-4,32	S2 kolonu A yüzünde 7h seviyesinde enine eğilme çatlağı, S3 kolonu C yüzünde 1h seviyesinde enine eğilme çatlağı oluşmuştur. Ayrıca S8 kolonu A yüzünde 8h, C yüzünde 0,5h seviyesinde, S9 kolonu C yüzünde 0,5h seviyesinde, S4 kolonu A yüzünde 8,5h seviyesinde enine eğilme çatlağı gelişimi gözlenmiştir.

9.1	45	4,19	S1 ve S8 kolonu A yüzünde 0,5h seviyesinde, S3 kolonu A yüzünde 1,5h seviyesinde enine eğilme çatlakları oluşmuştur. S9, S7 ve S6 kolonunda C yüzünde 8,5h seviyesinde enine eğilme çatlakları gözlenmiştir. Bununla birlikte S5 kolonun B-C köşesinde 7,5h seviyesinde ve S2 kolonunda 7h seviyesinde yan yüzlere kadar uzanan çatlaklar olmakla birlikte 9h seviyesinde 5 . Döngüde oluşan eğilme çatlakları yan yüzeylere kadar ilerlemiştir.
9.2	-45	-5,35	S9 kolonu C yüzünde 1.5h seviyesinde, S4 kolonu C yüzünde 0,9h seviyesinde enine eğilme çatlakları oluşmuştur. S3 kolonu A yüzünde kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan çatlak yan yüzlerden birleşim noktasına verev olarak devam etmiştir. S5 kolonu A yüzünde 8,5h seviyesindeki enine eğilme çatlağı B yüzüne kadar devam etmiş aynı kolonda C yüzünde 1h seviyesinde de eğilme çatlağı gelişmiş, S4 kolonunda A yüzünde 8h seviyesinde, S8 kolonunda C yüzünde 1h seviyesinde enine eğilme çatlakları oluşmuştur.
10.1	50	4,97	S4 kolonunda A-B köşesinde 1h seviyesinde 7.itme döngüsünde oluşan çatlaklar devam etmiş, S1 kolonu C yüzünde kolon-kiriş birleşim bölgesinde yeni çatlak oluşumu gözlenmiş ve çatlak düğüm noktasının sağında ve solunda devam etmiştir. S5 ve S9 kolonlarının A yüzünde 1.5h seviyesinde enine eğilme çatlağı meydana gelmiştir. Ayrıca S9 kolonu C yüzünde 8h seviyesinde enine eğilme çatlağı ve S2 kolonu A yüzünde 0.5h seviyesinde eğilme çatlağı gelişmiştir.
10.2	-50	-6,47	S6 kolonunun A yüzünde kolon-kiriş birleşim bölgesinde çatlaklar yan yüzeylere doğru ilerlemiştir. S8 kolonu C yüzünde 2.5h seviyesinde enine eğilme çatlağı meydana gelmiştir. Bununla birlikte S1 kolonu C yüzünde 1.5h seviyesinde enine eğilme çatlağı ve S2 kolonu A yüzünde kolon-kiriş birleşim bölgesinde eğilme çatlağı gözlenmiş ayrıca aynı kolonda C yüzünde 1.5h seviyesinde enine çatlaklar her iki yana doğru ilerlemiştir.
11.1	55	6,05	-----
11.2	-55	-7,88	-----
12.1	60	6,92	-----
12.2	-60	-9,23	-----
13.1	65	8,08	S1 kolonunun A yüzünde kolon-temel birleşim bölgesinde çatlak gözlenmiştir. Yine aynı kolonunun B yüzünde temelde çatlak oluşmuştur. Ayrıca S1 kolonu C yüzünde oluşan çatlak D yüzeyine kadar devam etmiştir. Bununla birlikte 10. döngüde C yüzeyinde kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan çatlak D yüzeyine kadar devam etmiştir. S5 kolonun C yüzünde kolon-kiriş birleşim bölgesinde enine eğilme çatlakları bulunmaktadır. S9 kolonu C yüzünde birleşim bölgesinde enine çatlaklar görülmektedir ve S7 kolonu C yüzünde de birleşim bölgesinde başlayan ve düğüm noktasında devam eden enine çatlak mevcuttur. S2 kolonu B yüzünde kolon-kiriş birleşim bölgesinde enine çatlak gözlenirken, S4 kolonu A yüzünde temel birleşim noktasında çatlak izlenmektedir. Bununla birlikte S6 kolonu C yüzünde

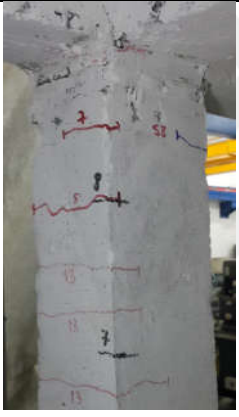
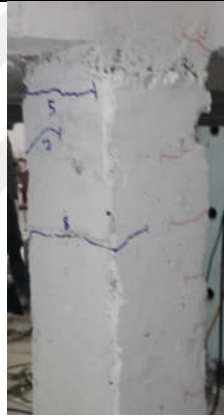
			kolon-kiriş birleşim bölgesinde çatlaklar bulunmaktadır.
13.2	-65	-11,13	S3 kolonu kolon-kiriş birleşim bölgesi boyunca D yüzündeki çatlak D2 döşemesine kadar ilerlemiş ve yine S3 kolonu B yüzünde düğüm noktası üzerinde dallanmalar başlamıştır. S1 kolonu A ve B yüzünde kolon-kiriş birleşim bölgesinde çatlak bulunmaktayken S2 kolonu D yüzünde kolon-kiriş birleşim bölgesinde de çatlak gözlenmiştir.
14.1	70	9,47	-----
14.2	-70	-13,55	-----
15.1	75	11,02	-----
15.2	-75	-15,88	-----
16.1	80	12,77	S1 kolonu B yüzünde kolon-kiriş birleşim bölgesinde çatlak bulunurken yine S1 kolonunda düğüm noktasında dallanmalar başlamıştır. S9 kolonu A yüzünde ve S4 kolonu C yüzünde kolon-kiriş birleşim bölgesinde çatlak bulunmaktadır. S3 kolonu A yüzünde de temel-kolon birleşim bölgesinde çatlak gözlenmiştir. K6 kirişinde B yüzü birleşim bölgesinde S9 kolonuna yakın tarafta çatlak vardır. S1 ve S7 kolonu C yüzünde kolon-kiriş birleşim bölgesindeki çatlak genişliği ise 1 mm mertebesine ulaşmıştır. S4 kolonu A-D köşesinde 8h mertebesinde kabuk betonda ezilme gözlemlendi. S1 kolonu A-D köşesi 7h mertebesinde kabuk beton bloğunda dökülmeler gözlemlendi. Ayrıca K2 kirişin S3 kolonuna yakın tarafında birleşim bölgesinde çatlaklar bulunmaktadır.
16.2	-80	-20,48	S3 kolonunun C yüzünde temel-kolon birleşim bölgesinde çatlak 1mm'ye ulaşmıştır. Yine S3 kolonu D yüzünde 1mm seviyesinde temel-kolon birleşim bölgesinde açılma vardır Bununla birlikte K11 kirişine ve S3 kolonuna yakın taraftaki D2 döşemesinde çatlak meydana gelmiştir. S3 kolonu düğüm noktasında kirişte çatlaklar bulunmaktadır. K7 kirişinde eğik verevleşme gösteren çatlak gelişimi sözkonusudur. S6 kolonunda temel-kolon birleşim bölgesinde C yüzünde çatlak genişliği 1mm'ye ulaşmıştır. Bununla birlikte S6 kolonunda A-D bölgesinde 9h mertebesinde kabuk betonda dökülme olmuştur. K5 kirişinde S7 kolonuna yakın tarafta kolon-kiriş birleşim bölgesinde çatlak genişliği 1mm'ye ulaşmıştır. D1 döşemesinde K7 kirişine yakın çatlaklar oluşmuştur.
17.1	85	17,17	-----
17.2	-82	-27,96	Bu döngüde numune yük almadığından deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiş ve bundan sonraki döngülerde 8mm deplasman artırımla yüklemeye devam edildi.
18.1	87	24,58	-----
18.2	-80	-36,2	-----
19.1	88	32,93	S1 kolonu düğüm noktasında ezilmeler başlamıştır. K1 kirişi düğüm noktasında çatlaklar oluştuğu gibi K1 kirişi ve D1 döşemesi arasında da çatlaklar oluşmuştur. Ayrıca S1 kolonunun temelinde dökülmeler vardır. S2 kolonu kolon-temel birleşim bölgesinde çatlaklar meydana gelirken, kolon-kiriş birleşim bölgesinde çatlak genişliği 2 mm'ye ulaşmıştır. S4 kolonu kolon-

			kiriş birleşim bölgesinde çatlak genişliği 2 mm mertebesinde. D1 döşemesinde K7 girişine yakın bölgede çatlaklar başlamıştır. D4 döşemesinde S9 kolonuna yakın düğüm noktasından S6 kolonuna doğru çatlak görülmüştür. S5 kolonu D yüzeyinde 0-1h arasında orta donatı hizasında aderans çatlağı oluşmuştur. S7 kolonu B yüzü kolon-kiriş düğüm noktasında eğik çatlaklar bulunmaktadır. Bununla birlikte S7 kolonu kolon-kiriş birleşim bölgesinde çatlak başlamıştır.
19.2	-78	-44,16	Numune üzerindeki çatlak genişlikleri ortalama 3-4 mm mertebesine ulaşmıştır. D2 döşemesinin K11 girişine yakın tarafında çatlak gelişimi görülmüştür.
20.1	86	40,21	-----
20.2	-75	-52,03	-----
21.1	84	48,04	-----
21.2	-72	-60,22	-----
22.1	80	55,68	-----
22.2	-70	-68,51	S3, S6, S7, S9 kolonlarının donatılarında burkulmalar gözlenmiştir.
23.1	75	64,4	Donatıların pek çoğunda burkulmalar görüldü bununla birlikte donatı kopması da meydana geldi.
23.2	-65	-76,11	-----
24.1	71	73,45	-----
24.2	-64	-91,26	-----
25.1	66	87,75	-----
25.2	-57	-94,12	-----
26.1	63	102,79	Bu döngüde deney numunesi oldukça fazla hasar almış ve hasar sınırı %7 ye ulaştığı ve yük miktarı %30 un altına düştüğünden deney sonlandırılmıştır.
Not: Bu çizelgedeki yük-deplasman değerleri, deney sırasındaki anlık okuma değerleri olup grafiksel sonuçlardan bir miktar farklı olabilir.			

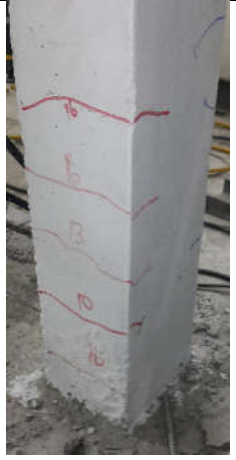
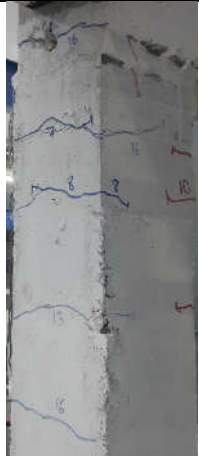
Deney sonunda itme döngüsünde maksimum yük 88 kN ulaşılan maksimum deplasman ise 102,79 mm; çekme döngüsünde maksimum yük 82 kN maksimum deplasman ise 94,12 mm'dir. Deney, yük değeri, taşıyıcı sistemin kapasitesinin %30 oranında düşmesinden ve hasar sınırının %7'ye ulaşmasından dolayı sonlandırılmıştır. 1. Deney sonrasında kolonların itme ve çekme yüzlerinde oluşan çatlaklar her bir kolon için detaylı bir şekilde incelenmiştir. Deney numunelerindeki elemanlar Şekil 3.26'da görüldüğü gibi isimlendirilmiştir. İtme döngülerinde oluşan çatlaklar mavi kalemle çekme döngülerinde oluşan çatlaklar kırmızı kalemle çizilmiştir. Çalışmada kolon boyunun tamamında çatlak olmaması nedeniyle sadece çatlak oluşumlarının görüldüğü, alt ve üst düğüm noktalarına yakın bölgelere ait fotoğraflara yer verilmiştir. Ayrıca bu fotoğraflardan kolon giriş birleşim bölgelerinde ve girişlerde meydana gelen çatlaklarda ayrıntılı bir şekilde incelenebilmektedir. Çatlak gelişiminin takip edilebilmesi açısından deneyin 13., 19. ve 26. (deney sonu) döngülerinde tüm kolonlara ait çatlak fotoğraflarına yer verilmiştir.

1.Deney_S101 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
1.Deney_S102 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
1.Deney_S103 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt

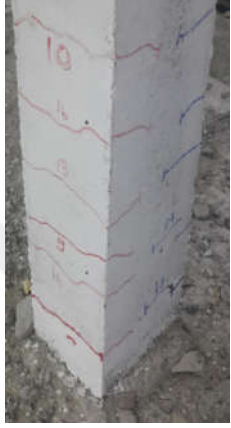
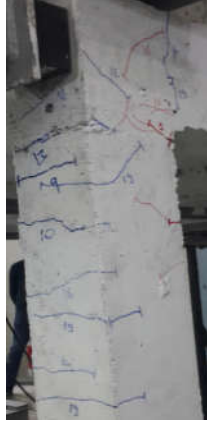
1.Deney_S104 Kolonu			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
1.Deney_S105 Kolonu			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
1.Deney_S106 Kolonu			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt

1.Deney_S107 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
1.Deney_S108 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
1.Deney_S109 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt

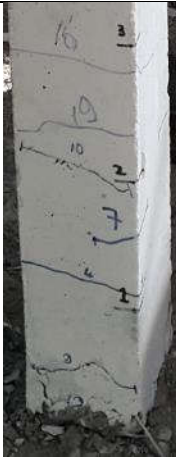
Şekil 3.28. 1.Deneyde 13.döngü sonunda referans çerçevede çatlak gelişimi.

1.Deney_S101 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
1.Deney_S102 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
1.Deney_S103 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt

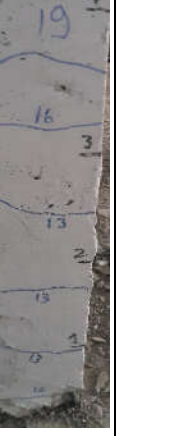
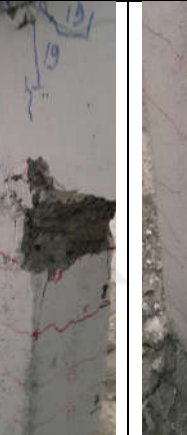
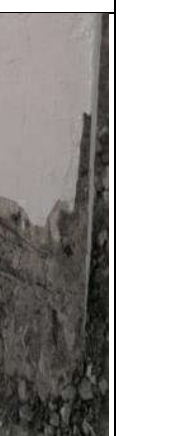
1.Deney_S104 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
1.Deney_S105 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
1.Deney_S106 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt

1.Deney_S107 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
1.Deney_S108 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
1.Deney_S109 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt

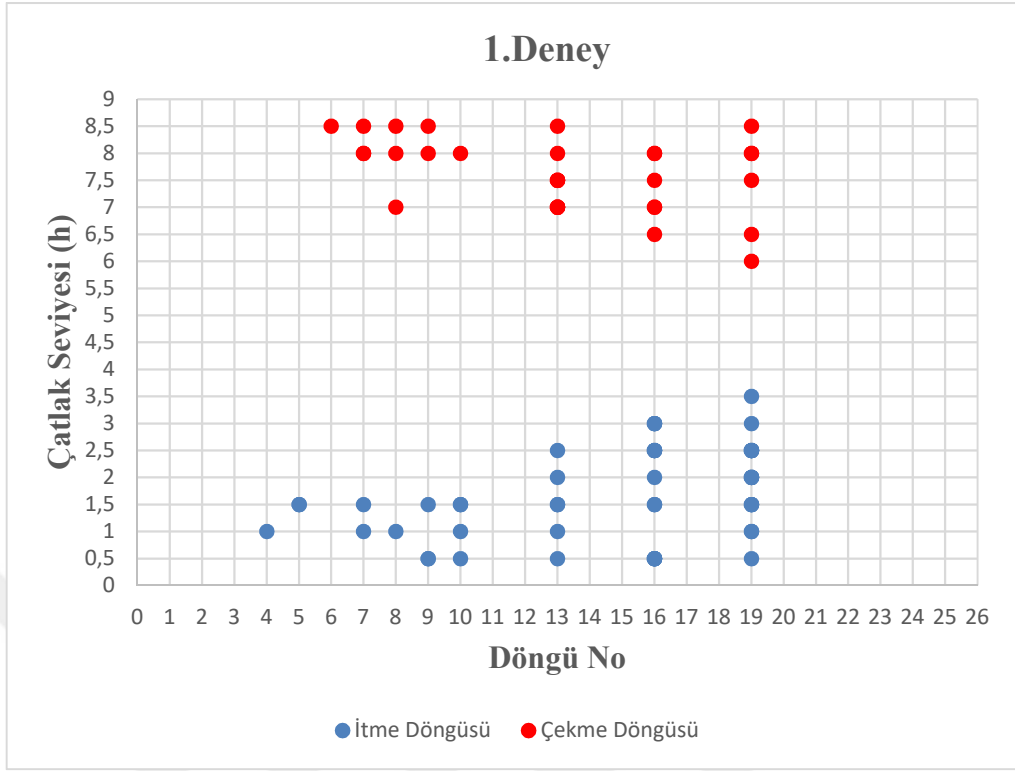
Şekil 3.29. 1.Deneyde 19.döngü sonunda referans çerçevede çatlak gelişimi.

1.Deney_S101 Kolonu					
					
Çekme Yüzü Üst		Çekme Yüzü Alt		İtme Yüzü Üst	
				İtme Yüzü Alt	
1.Deney_S102 Kolonu					
					
Çekme Yüzü Üst		Çekme Yüzü Alt		İtme Yüzü Üst	
				İtme Yüzü Alt	
1.Deney_S103 Kolonu					
					
Çekme Yüzü Üst		Çekme Yüzü Alt		İtme Yüzü Üst	
				İtme Yüzü Alt	

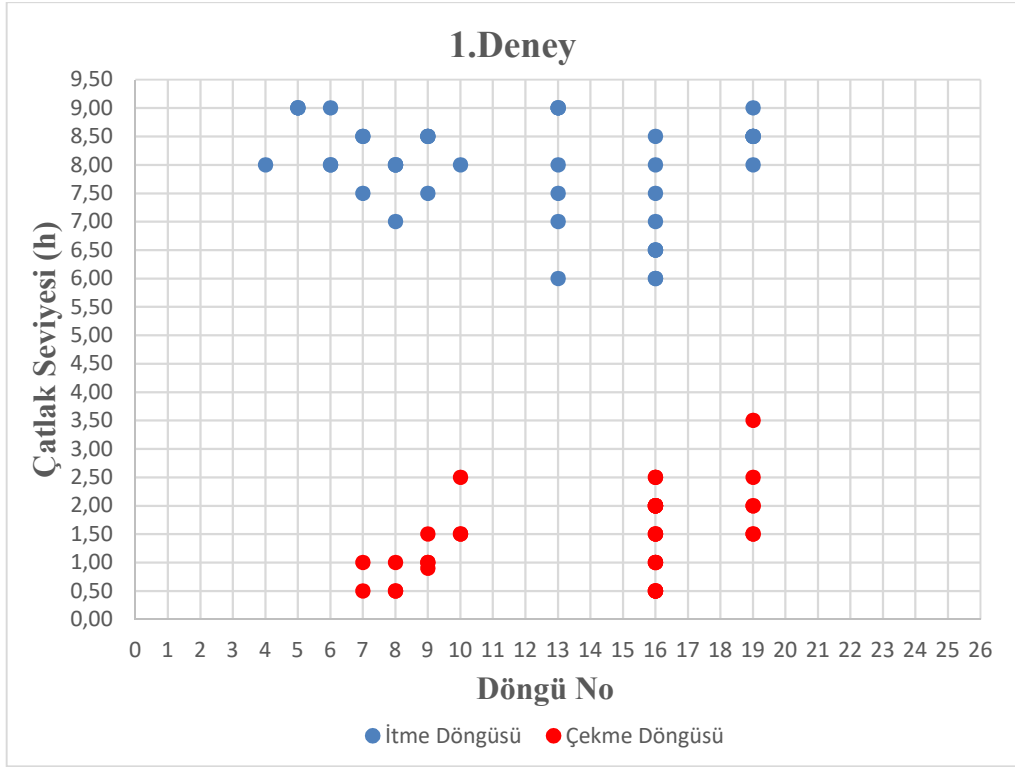
1.Deney_S104 Kolonu					
					
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt		
1.Deney_S105 Kolonu					
					
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt		
1.Deney_S106 Kolonu					
					
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt	Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt

1.Deney_S107 Kolonu					
					
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt	Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt
1.Deney_S108 Kolonu					
					
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt	Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt
1.Deney_S109 Kolonu					
					
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt	Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt

Şekil 3.30. 1.Deney sonunda (26.Döngü) referans çerçevede izlenen çatlak gelişimi.



Şekil 3.31. 1.Deney için kolonların itme yüzü çatlak skalası.



Şekil 3.32. 1.Deney için kolonların çekme yüzü çatlak skalası.

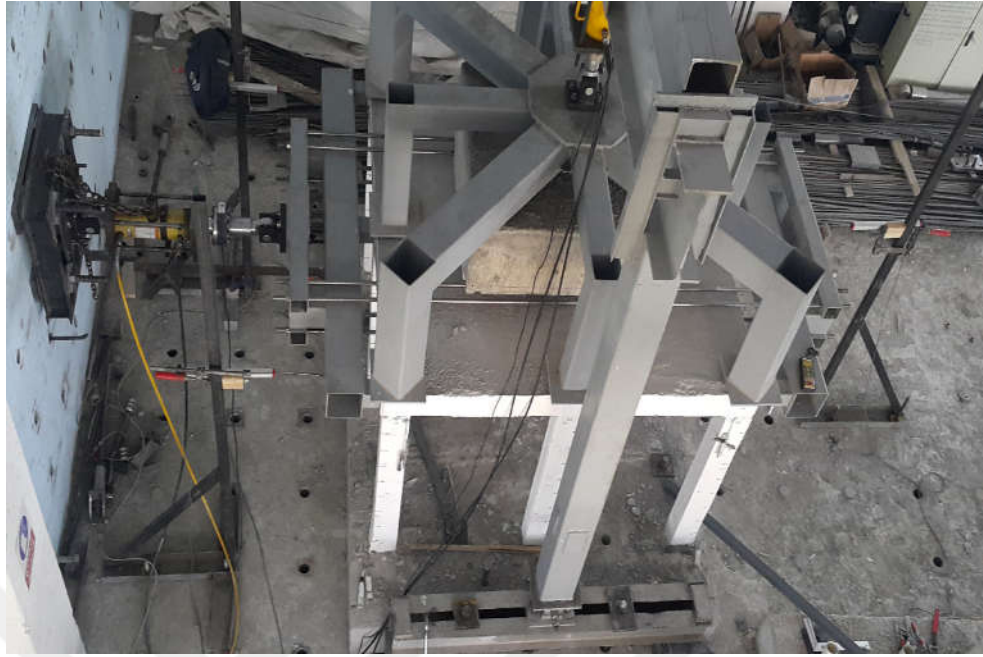


Şekil 3.33. 1.Deney (Referans Çerçeve) sonunda taşıyıcı sistemin görünümü.

Yukarıdaki fotoğraflarda deney çatlaklarının gelişimi gösterilmiştir. İtme ve çekme yüzlerindeki çatlak skalalarının grafiksel olarak gösterimi Şekil 3.31 ve 3.32’de sunulmuştur. Şekil 3.33’de ise deney sonunda taşıyıcı sistemin son görünümü verilmiştir. Bununla birlikte döşemelerde meydana gelen çatlak oluşumu ise Şekil 3.34’de verilmiştir. Buna göre döşemelerde çatlaklar ilk olarak 16.döngüde başlamış ancak 19. döngüde yoğun bir şekilde artmıştır. Özellikle bu döngünün hem itme hem de çekme yüklemesinde D1, D2 ve D4 döşemelerinde çatlak meydana geldiği gözlenmiştir.



Şekil 3.34. 1.Deney 19.döngüde döşemelerde çatlak oluşumu.



Şekil 3.35. 2.Deney başlangıcında taşıyıcı sistemin görünümü.

2.Deney düzeneğine ait görünüm Şekil 3.35’de verilmiştir. Bu deney, referans çerçeveye özdeş çerçevenin hasarlandırılması amacıyla yapılmıştır. Deney verilerinin elde edilmesi amacıyla 8 adet strainage, 1 adet LVDT, 3 adet potansiyometrik cetvel ve 2 adet loadcell kullanılmıştır. Deneye ilk olarak 5 kN luk yük verilerek başlanmış ve 5 kN luk artışlarla yük kontrollü olarak 17.döngüye kadar devam edilmiş sonrasında ise 8 mm artışla deplasman kontrollü olarak yatay tepe deplasmanı 40 mm’ye ulaşınca sonlandırılmıştır. Deney sırasında bazı döngülerde çatlak kontrolü yapılmış ve hazırlanan rapor Tablo 3.4’de verilmiştir. Buna göre ilk çatlak oluşumu 5.itme döngüsünde 25 kN yükte S1 kolonunun 8-9 h seviyesinde ve S4 kolonunda 1h ve 8h seviyelerinde meydana gelmiştir. Yine 5.itme döngüsünde 25 kN’da S7 kolonu ve K5 kirişinin kolon-kiriş birleşim bölgelerinde enine eğilme çatlağı oluşumu gözlenmiştir. 16. itme döngüsünde 80kN da K3 kirişinde çatlak meydana gelmiştir. 11. çekme döngüsünde kolon-kiriş birleşim bölgesinde 45° lik ilk çatlak oluşmuştur. Kolon-temel birleşim bölgesinde ise ilk çatlak 7.çekme döngüsünde 35 kN’ da S6 kolonunda gözlenmiştir. Deney sırasında yapılan çatlak kontrolüne göre en çok hasar alan elemanlar kolonlar olup en çok hasar gören bölgeler ise kolon-kiriş birleşim bölgeleri olarak gözlenmiştir. Deney, istenilen hasar sınırı olan %2,67’ye ve hem itme hem de çekme döngüsünde tepe deplasmanının 40 mm’ye ulaşmasıyla tamamlanmıştır.

Tablo 3.4. 2.Deney numunesinde döngülerde gözlenen davranış.

Döngü No	Yatay Yük (kN)	Yatay Tepe Deplasmanı (mm)	Gözlenen Davranış
1.1	5	0,43	-----
1.2	-5	-0,37	-----
2.1	10	0,86	-----
2.2	-10	-0,79	-----
3.1	15	1,27	-----
3.2	-15	-1,23	-----
4.1	20	1,64	-----
4.2	-20	-1,73	-----

5.1	25	2,12	S1 kolonu C yüzünde 8-9h arası enine eğilme çatlağı meydana gelmiştir. S4 kolonu C yüzünde 8h ve 1h seviyesinde enine eğilme çatlağı oluşumu gözlenmiştir. Ayrıca S7 kolonu C yüzünde K5 kirişiyle birleşim bölgesi (9h seviyesinde) enine eğilme çatlağı gelişmiştir.
5.2	-25	-2,28	S3 kolonu A yüzü kolon-kiriş birleşim bölgesinde ve yine aynı kolon ve yüzde 8-9h arası enine çatlak mevcuttur. S6 kolonu ve S9 kolonu A yüzünde 8-9h arası enine çatlak görülmekle birlikte S9 kolonu A yüzü kolon-kiriş birleşim bölgesinde enine eğilme çatlağı izlenmiştir.
6.1	30	2,71	-----
6.2	-30	-2,93	-----
7.1	35	3,39	S4 kolonu C yüzünde 1h ve 8h seviyesinde enine eğilme çatlağı gözlenmektedir. Ayrıca S7 kolonu A yüzünde 1h ve 2h seviyesinde enine eğilme çatlağı ve yine aynı kolonun C yüzünde 7-8h seviyesinde çatlak izlenmektedir.
7.2	-35	-3,74	S2 kolonu A yüzünde 8-9h arası enine eğilme çatlağı bulunmaktadır. S3 kolonu A yüzünde 7h ve 7-8h arasında enine eğilme çatlağı; S9 kolonu C yüzü 1-2h arasında enine eğilme çatlağı oluşumu gözlenmiştir. S6 kolonu temel-1h arası ve 1-2h arası C yüzünde enine eğilme çatlağı gelişimi gözlenmiştir. Yine S6 kolonu 8-9h ve 7-8h arası enine eğilme çatlağı oluşmuştur. Bununla birlikte S5 kolonu A yüzü 8-9h arası ve 7-8h arası enine eğilme çatlağı meydana gelmiştir.
8.1	40	4,20	-----
8.2	-40	-4,65	-----
9.1	45	5,09	-----
9.2	-45	-5,67	-----
10.1	50	6,14	-----
10.2	-50	-6,86	-----
11.1	55	7,19	S1 kolonu A yüzü 2-3h arası ve yine aynı kolonun C yüzü 7h seviyesinde enine eğilme çatlağı görülmüştür. S2 kolonu kolon-temel birleşim bölgesi-1h seviyesi arasında ve yine aynı kolonun 7-8h seviyesi arasında enine eğilme çatlağı meydana gelmiştir. S6 kolonu C yüzünde 8-9h arası ve aynı kolonun A yüzünde 2-3h arasında eğilme çatlağı oluşumu gözlenmiştir. S5 kolonu 6-9h arasında ise 5 adet yeni eğilme çatlağı; S4

			kolonu C yüzünde 7-9h arasında 3 adet yeni eğilme çatlağı ve yine aynı kolonun A yüzünde temel ile 3h seviyesi arasında 3 adet yeni çatlak oluşumu gözlenmiştir. S7 kolonu temel-3h seviyesinde A yüzünde 4 adet enine çatlak, yine aynı kolonun C yüzünde 7-8h arasında enine çatlak oluşumu gözlenmiştir. Bununla birlikte S8 kolonu A yüzünde temel-1h arasında ve yine aynı kolonun C yüzünde 7-9h seviyesinde 4 adet yeni enine çatlak gelişimi izlenmiştir. Ayrıca S9 kolonu A yüzünde temel-1h seviyesine kadar 2 yeni çatlak ve C yüzünde 8-9h arası enine eğilme çatlağı oluşmuştur.
11.2	-55	-8,32	S1 kolonu A yüzünde 7-9h arasında ve yine aynı kolonun C yüzünde 1-2h arasında enine eğilme çatlağı meydana gelmiştir. S2 kolonu 6-9h arasında 6 adet yeni enine çatlak ve yine aynı kolonun C yüzü temel-2h arasında 2 adet yeni enine çatlak oluşumu gözlenmiştir. S3 kolonu 7-9h arası 3 adet yeni enine çatlak görülmekle birlikte kolon-kiriş birleşim bölgesinde de enine eğilme çatlağı görülmektedir. Yine aynı kolonun C yüzünde temel-4h arasında 4 adet enine çatlak oluşurken B yüzünde düğüm noktalarında 45° çatlak başlangıcı gözlenmiştir. S5 kolonu temel-2h arasında 2 adet yeni çatlak izlenirken yine aynı kolonun 7-9h seviyesinde 3 adet yeni enine eğilme çatlağı izlenmiştir. S6 kolonu temel-2h seviyesinde 3 yeni enine çatlak oluşurken yine aynı kolonun A yüzünde 6-9h seviyesinde 5 adet enine çatlak meydana gelmiştir. Bununla birlikte aynı kolonun kolon-kiriş birleşim bölgesinde enine eğilme çatlağı gözlenmiştir. S7 kolonu 7-9h arasında 3 adet yeni eğilme çatlağıyla birlikte aynı kolonun C yüzünde temel-kolon birleşim bölgesinde ve temel-3h seviyesinde yeni çatlaklar meydana gelmiştir. Ayrıca yine S7 kolonunun C yüzü birleşim bölgesinde çatlak genişliği 1.5mm'ye ulaşırken aynı kolonun A yüzüne 4h seviyesine kadar ilerlemiştir. S8 kolonu 7-9h mertebesinde enine çatlaklar meydana gelirken kolon-kiriş birleşim bölgesinde de kılcal çatlakların oluşumu gözlenmiştir.
12.1	60	8,66	-----
12.2	-60	-9,99	-----
13.1	65	10,16	-----
13.2	-65	-11,66	-----
14.1	70	11,89	S1 kolonu A yüzünde enine çatlaklar 4h seviyesine kadar ilerlemiş ve yine aynı kolonda C yüzünde çatlak seviyesi 7h'a kadar gelmiştir ayrıca kolon-kiriş birleşim bölgesinde de çatlak genişliği 1mm mertebesine ulaşmıştır. Yine bu kolonun B yüzünde düğüm noktasında, hem itmede hem de çekmede X çatlakları oluşmuştur. S2 kolonu C yüzünde çatlak 6h seviyesine inmiştir. S3 kolonu A yüzünde çatlak 3h seviyesine çıkmış ve aynı kolonun C yüzünde 7h seviyesine ulaşmıştır. S4 kolonu C yüzünde 7h seviyesinde çatlak gözlenirken yine aynı kolon ve yüzde 9h seviyesinde çatlak genişliği 1mm ye ulaşmıştır. S5 kolonu C yüzü çatlak seviyesi 6h iken yine aynı kolon ve yüzde 2-3h seviyesinde de çatlak gelişimi gözlenmiştir. Ayrıca S6 kolonu A yüzünde 3h seviyesinde çatlak meydana

			gelmiştir. S7 kolonu A yüzünde 4h seviyesinde ve yine aynı kolonun C yüzü 7h seviyesinde eğilme çatlağı gözlenmiş olup birleşim bölgesinde ise çatlak genişliği 1mm'ye ulaşmıştır. Bununla birlikte aynı kolonun D yüzünde düğüm noktasında 45° çatlaklar meydana gelmiştir. S8 kolonu C yüzünde 6h seviyesinde ve temel-kolon birleşim bölgesinde yeni çatlak oluşumu gözlenmiştir. S9 kolonu C yüzünde enine eğilme çatlakları 7h seviyesine kadar inmiştir.
14.2	-70	-13,74	S1 kolonu A yüzünde enine eğilme çatlakları 7h seviyesinin altına kadar inmiştir. S2 kolonu A yüzünde 6h seviyesine yakın yerde yeni çatlak oluşumu gözlenmiştir. S3 kolonu A yüzünde 6h seviyesinde ve yine aynı kolon ve aynı yüzde kolon-kiriş birleşim bölgesinde çatlak genişliği artmıştır. Bununla birlikte aynı kolon C yüzünde 3h seviyesinde çatlak oluşumu meydana gelmiştir. S4 kolonu A yüzünde 8h seviyesinde enine eğilme çatlağı gözlenirken ve yine aynı kolon ve yüzde birleşim bölgesinde çatlak genişliği artmıştır. S5 kolonu A yüzünde 7h seviyesinde de çatlak gelişimi meydana gelmiştir. S6 kolonu C yüzünde 2-3h arasında ve yine aynı kolonun A yüzünde ise 6-7h arasında, A yüzü kolon-kiriş birleşim bölgesinde çatlak genişliğinin arttığı gözlenmiştir. S7 kolonu A yüzü 6-7h seviyesinde ve yine aynı kolonda aynı yüzde 3h seviyesine kadar ilerlemiş çatlaklar bulunmaktadır. Ayrıca aynı kolonun aynı yüzünde temel-kolon birleşim bölgesinde çatlak genişliği 1mm'ye ulaşmıştır. S8 kolonu A yüzünde 6-7h seviyesinde ve 2h seviyesinde eğilme çatlağı meydana gelmiştir. S9 kolonu A yüzünde 6h seviyesinde ve yine aynı yüzde birleşim bölgesinde çatlak genişliği 1mm mertebesine ilerlemiştir. Bununla birlikte aynı kolonun C yüzünde 3-4h seviyesinde enine eğilme çatlağı oluşmuşken yine aynı kolonun D yüzünde düğüm noktasında 45°lik çatlaklar gözlenmiştir.
15.1	75	14,14	-----
15.2	-75	-17,41	-----
16.1	80	17,32	S1 kolonu A yüzünde 4h seviyesinde enine eğilme çatlağı gözlenmiştir. S2 kolonu A yüzünde 2-3h arasında ve C yüzünde 6h seviyesinde enine eğilme çatlağı oluşmuştur. S3 kolonu A yüzünde temel-kolon birleşim bölgesinde ve kolon-kiriş birleşim bölgesinde enine eğilme çatlağı gözlenirken C yüzünde enine eğilme çatlağı 6h seviyesine kadar ilerlemiştir. Bununla birlikte C yüzü birleşim bölgesinde çatlak genişliği 1mm'ye ulaşmıştır. S4 kolonu birleşim bölgesinde ve K3 kirişi birleşim noktasında mevcut çatlakların genişliği 2mm'yi geçmiştir. S5 kolonu 7h seviyesinde meydana gelen çatlaklar 9h seviyesine ve döşemeye ilerlemeye devam etmiştir. S6 kolonu C yüzünde 8-9h seviyesinde yeni çatlak oluşumu gözlenmiştir. S7 kolonu C yüzü birleşim bölgesinde çatlak genişliği 1,5mm'yi bulmuştur. Bununla birlikte aynı kolonun A yüzünde enine eğilme çatlakları 4h seviyesine kadar ilerlemiştir. S9 kolonu A yüzünde temel-1h seviyesinde enine çatlak genişliği 1-1,5mm civarına ulaşmıştır.

16.2	-80	-24,81	S1 kolonu B yüzünde eğik çatlaklar 8-9h seviyesindeyken, A yüzünde 6h ve C yüzünde 3h mertebesine kadar inmiştir. S2 kolonundaki çatlak ise A yüzünde 6h seviyesindeyken yine aynı kolonda C yüzünde 3h seviyesindedir. S3 kolonunun C yüzünde 8-9h arasında kabuk betonunda dökülme ve yine aynı kolonda 8-9h arasında aderans çatlağı gözlenmekteyken, C yüzünde ise çatlak 3h seviyesine yükselmiştir. Bununla birlikte aynı kolonun A yüzünde çatlak 6h seviyesinde izlenirken birleşim bölgesi çatlak genişliği 2mm' ye ulaşmıştır. S4 kolonunun C yüzünde 2h yüksekliğinde çatlak görülürken, aynı kolonun A yüzünde çatlak 7h seviyesine inmiştir. S5 kolonunun A yüzündeki birleşim bölgesi çatlak genişliği 2mm'ye ulaşırken yine aynı kolonun C yüzündeki çatlak 3h seviyesindedir. S6 kolonunun A yüzündeki birleşim bölgesi çatlak genişliği 2,5mm iken aynı kolonun C yüzündeki çatlak seviyesi 3h yüksekliğine yaklaşmıştır. S7 kolonunda ise C yüzünde temel-kolon birleşim bölgesi çatlak genişliği 2,5-3mm arasındadır ve aynı kolonun A yüzünde de çatlak seviyesi 6-7h arasına inmiştir. S8 kolonundaki çatlak seviyesi A kolonunda 6-7h arasındayken aynı kolondaki C yüzünde 3h seviyesindedir. Bununla birlikte S9 kolonu A yüzünde kolon-kiriş birleşim bölgesi çatlak genişliği 3mm olmakla birlikte 6h seviyesine kadar inmiştir ayrıca aynı kolonun C yüzünde çatlak seviyesi 4h olarak gözlenmiştir.
17.1	81	24,46	16. çekme döngüsünden sonraki bu döngüde deney numunesinin yük almaması üzerine 17. çekme döngüsünde 8mm deplasman artımıyla deplasman kontrolü yüklemeye geçilmiştir.
17.2	-78	-32,81	Yine bu döngüde bir önceki çekme döngüsünde ulaşılan deplasman değerinin 8mm artırımla deplasman kontrolü yüklemeye devam edilmiştir.
18.1	82,30	32,46	Bir önceki itme döngüsünde ulaşılan deplasman değerinin 8mm artırımla yabancı saha kontrolü yüklemeye devam edilmiştir.
18.2	-77	-40	Bu döngüde deney numunesinin istenen tepe deplasman değeri olan 40 mm ve %2,67 hasar sınırına ulaşmasıyla söz konusu çekme döngüsü tamamlanmıştır.
19.1	82	40	Aynı şekilde bu itme döngüsünde de deney numunesinin istenen tepe deplasman değerine ve hasar sınırına ulaşılması nedeniyle deney sonlandırılmıştır.
Not: Bu çizelgedeki yük-deplasman değerleri, deney sırasındaki anlık okuma değerleri olup grafiksel sonuçlardan bir miktar farklı olabilir.			

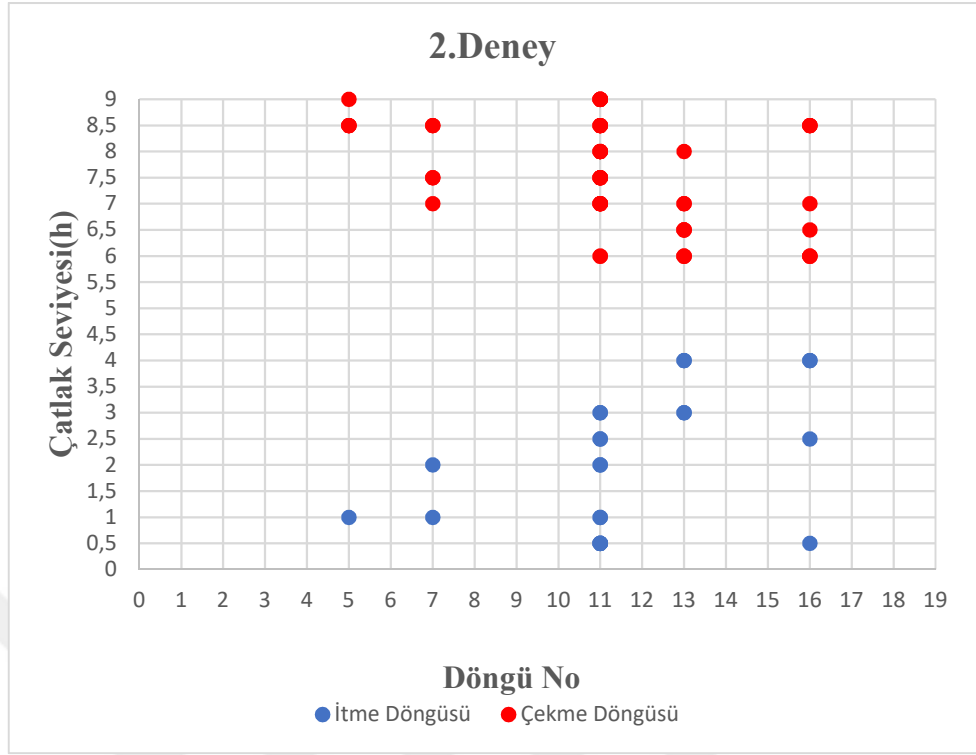
2. Deneyde de her bir eleman isimlendirilmiş ve kolonların itme ve çekme yüzlerinde oluşan çatlaklar her bir kolon için incelenmiş ancak çatlaklar bir sonraki dış perde ile güçlendirme deneyindeki çatlaklarla karışmaması için kalemle çizilmemiş sadece rapor tutulmuştur. Çatlak gelişiminin gözlenebilmesi açısından deney sonunda (19. Döngü) tüm kolonlara ait çatlak fotoğraflarına yer verilmiştir (Şekil 3.36).

2.Deney_S101 Kolonu					
					
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
2.Deney_S102 Kolonu					
					
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
2.Deney_S103 Kolonu					
					
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt

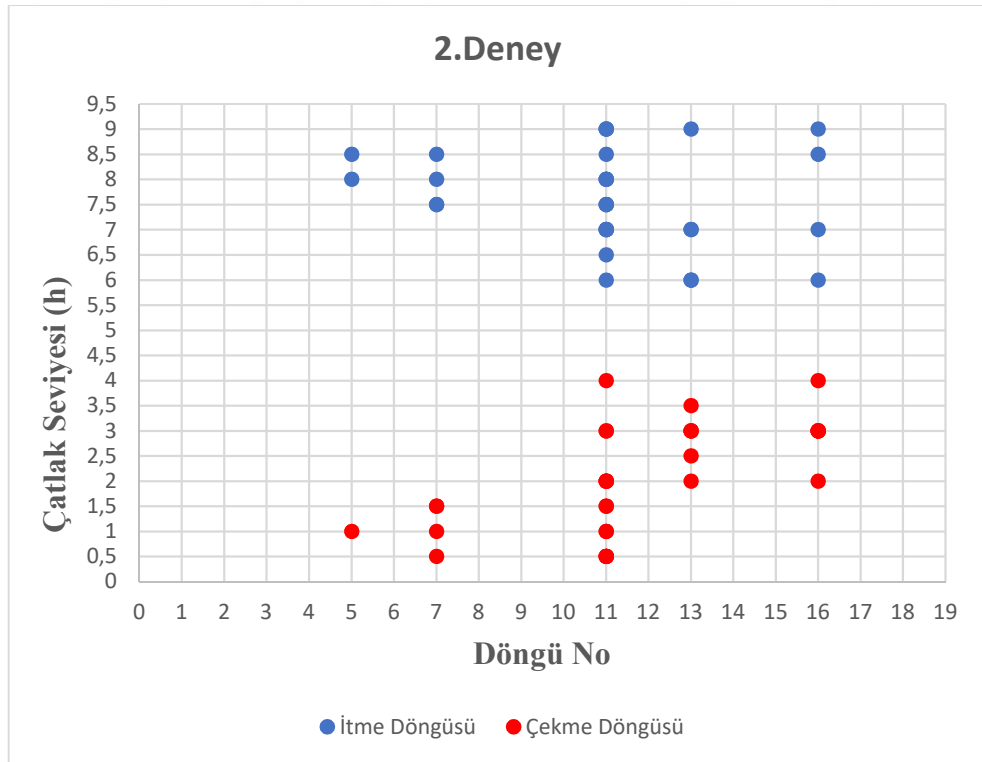
2.Deney_S104 Kolonu					
					
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
2.Deney_S105 Kolonu					
					
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt	Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt
2.Deney_S106 Kolonu					
					
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt

2.Deney_S107 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
2.Deney_S108 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
2.Deney_S109 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt

Şekil 3.36. 2.Deney sonunda (19.Döngü) hasarlandırılan çerçevede izlenen çatlak gelişimi.



Şekil 3.37. 2.Deney için kolonların itme yüzü çatlak skalası.



Şekil 3.38. 2.Deney için kolonların çekme yüzü çatlak skalası.



Şekil 3.39. 2.Deney sonunda taşıyıcı sistemin görünümü.

Çatlakların gözlenebilmesi için deneyin 19. döngüsünde (deney sonu) tüm kolonlara ait çatlak fotoğrafları Şekil 3.36, çatlak skalaları ise Şekil 3.37 ve 3.38’de verilmiştir. Bu deneyde de kolon boyunun tamamında çatlak olmaması nedeniyle sadece çatlak oluşumlarının görüldüğü, alt ve üst düğüm noktalarına yakın bölgelere ait fotoğraflar sunulmuştur. Deney sonu fotoğraflarından da görüldüğü üzere en fazla hasar S3 kolonunda meydana gelmiştir. S3 kolonu kabuk betonu dökülmüş ve kolon boyuna donatıları görünür hale gelmiştir. Bununla birlikte S3-K2 ve S3-K11 kolon kiriş birleşim bölgelerinde de yoğun çatlaklar meydana gelmiştir (Şekil 3.40).



Şekil 3.40. 2.Deney sonunda S3 kolonu ve bu kolonun birleştiği kirişlerin durumu.



Şekil 3.41. 3.Deney başlangıcında taşıyıcı sistemin görünümü.

3.Deney, ikinci deneyde hasarlandırılan çerçevenin çelik bağ kirişli dış perdelerle güçlendirilmesi ve pek çok parametre açısından diğer deneylerle karşılaştırılması amacıyla yapılmıştır. İlgili deney düzeneğine ait görünüm Şekil 3.41’de verilmiştir. Bu deney, Deney verilerinin elde edilmesi amacıyla 16 adet strainingage, 3 adet LVDT, 4 adet potansiyometrik cetvel ve 2 adet loadcell kullanılmıştır. Deneye ilk olarak 5 kN luk yük verilerek başlanmış ve 5 kN luk artışlarla yük kontrollü olarak 25.döngüye kadar devam edilmiş sonrasında ise 10 kN luk artışlarla yük kontrollü olarak 41.döngüye kadar gidilmiş olup daha sonra son döngüde 6 mm artışla deplasman kontrollü olarak deney sonlandırılmıştır. Deney sırasında bazı döngülerde çatlak kontrolü yapılmış ve hazırlanan rapor Tablo 3.5’te verilmiştir. Buna göre ilk çatlak oluşumu 7.itme döngüsünde 35 kN yükte S1 kolonunun 6h seviyesinde ve S7 kolonunda 4h ve 7h seviyelerinde meydana gelmiştir. Yine 12.çekme döngüsünde 60 kN’da S3 kolonu ve K2 kirişinin kolon-kiriş birleşim bölgelerinde eğilme çatlağı oluşumu gözlenmiştir. 20. itme döngüsünde 100kN da K5 kirişinde çatlak meydana gelmiştir. 12. itme döngüsünde 60 kN’da S1-K1 ile S2-K1 kolon-kiriş birleşim bölgesinde 45° lik çatlaklar oluşmuştur. Kolon-temel birleşim bölgesinde ise ilk çatlak 7.çekme döngüsünde 35 kN’ da S2 kolonunda gözlenmiştir. Perdelerde ise ilk çatlak, P1 perdesinde 1-2h seviyesinde 32. çekme döngüsünde 195 kN’da meydana gelmiştir.

Tablo 3.5. 3.Deney numunesinde döngülerde gözlenen davranış.

Döngü No	Yatay Yük (kN)	Çerçeve Yatay Tepe Deplasmanı (mm)	Perde Yatay Tepe Deplasmanı (mm)	Gözlenen Davranış
1.1	5	0,07	0,09	-----
1.2	-5	-0,03	-0,05	-----
2.1	10	0,13	0,16	-----
2.2	-10	-0,10	-0,12	-----
3.1	15	0,19	0,25	-----
3.2	-15	-0,16	-0,21	-----
4.1	20	0,25	0,31	-----
4.2	-20	-0,24	-0,31	-----
5.1	25	0,34	0,43	-----
5.2	-25	-0,29	-0,38	-----
6.1	30	0,43	0,54	-----
6.2	-30	-0,35	-0,49	-----
7.1	35	0,51	0,63	S1 kolonunda yeni çatlaklar 6h seviyesine kadar ilerlemiştir. S7 kolonunda A yüzünde yeni çatlaklar 4h seviyesine kadar ulaşmış bununla birlikte yeni çatlaklar C yüzünde 7h seviyesine ilerlemiştir.
7.2	-35	-0,41	-0,57	S2 kolonu C yüzünde temel-kolon birleşim bölgesinde aderans çatlağı 0,5h'a kadar yükselmiştir. S3 kolonu A yüzünde ise aderans çatlağı 8,5h seviyesine kadar ilerlemiştir.
8.1	40	0,59	0,74	-----
8.2	-40	-0,47	-0,65	-----
9.1	45	0,69	0,84	-----
9.2	-45	-0,54	-0,75	-----
10.1	50	0,79	0,93	-----
10.2	-50	-0,59	-0,84	-----
11.1	55	0,91	1,04	-----
11.2	-55	-0,66	-0,90	-----
12.1	60	1,04	1,19	S1-K1 ile S2-K1 kolon-kiriş birleşim bölgesinde 45° lik çatlak başlangıcı olmuştur. S4 kolonu A yüzünde 2h seviyesinde enine eğilme çatlağı meydana gelmiştir. S5 kolonu C yüzünde 6h seviyesinde enine eğilme çatlağı gözlenmiştir. S6 kolonu C yüzünde 6-7h arasında, 7h ve 8h seviyelerinde enine eğilme çatlakları gelişmiştir.
12.2	-60	-0,73	-1,04	S1 kolonu A yüzünde 8h seviyesinde enine eğilme çatlağı görülürken S2 kolonu A yüzünde 6-7h ve 7h seviyesinde enine eğilme çatlağı görülmüştür. S3 kolonu kolon-kiriş birleşim bölgesinde eğilme çatlakları meydana gelmiştir. S4 kolonu D yüzünde kolon-temel birleşim bölgesinde eğilme çatlağı gözlenmiştir. S9 kolonu A yüzünde 7h seviyesinde yeni enine eğilme çatlakları meydana gelmiştir.
13.1	65	1,15	1,30	-----
13.2	-65	-0,83	-1,16	-----
14.1	70	1,27	1,45	-----
14.2	-70	-0,89	-1,27	-----
15.1	75	1,39	1,57	-----

15.2	-75	-1,03	-1,43	-----
16.1	80	1,51	1,70	-----
16.2	-80	-1,10	-1,51	-----
17.1	85	1,63	1,82	-----
17.2	-85	-1,18	-1,62	-----
18.1	90	1,78	1,97	-----
18.2	-90	-1,32	-1,82	-----
19.1	95	1,92	2,09	-----
19.2	-95	-1,42	-1,93	-----
20.1	100	2,03	2,20	S1 kolonu C yüzünde 6-7h seviyesinde enine eğilme çatlağı meydana gelmiştir. S1-K1 ve S3-K2 kolon-kiriş birleşim bölgelerinde çatlak başlangıcı olmuştur. S5 kolonu C yüzünde 6-7h ve 8h seviyelerinde enine eğilme çatlağı meydana gelmiştir. S7-K5 kolon-kiriş birleşim bölgelerinde çatlak gözlenirken K5 kirişinde de çatlak başlangıcı olmuştur. S9-K6 kolon-kiriş birleşim bölgesinde de çatlak başlangıcı gözlenmiştir.
20.2	-100	-1,52	-2,08	S1 kolonu A yüzünde 7-8h seviyesinde enine eğilme çatlağı oluşurken S2 kolonu A yüzünde 8h seviyesinde ve S3 kolonu A yüzünde ise 9h seviyesinde enine eğilme çatlağı olmuştur.
21.1	105	2,18	2,36	-----
21.2	-105	-1,67	-2,26	-----
22.1	110	2,33	2,46	-----
22.2	-110	-1,77	-2,38	-----
23.1	115	2,49	2,65	-----
23.2	-115	-1,89	-2,52	-----
24.1	120	2,66	2,84	S2 kolonu C yüzünde 8-9h seviyesinde çatlak başlangıcı meydana gelmiştir. Yine aynı kolonun A yüzünde kolon-temel birleşim bölgesinde çatlak görülmüştür.
24.2	-120	-2,04	-2,68	S1 kolonu B yüzünde 9h seviyesinde enine eğilme çatlağı oluşurken S7 kolonu A yüzünde enine çatlaklar 7h seviyesine ilerlemiştir. Bununla birlikte C yüzünde 1h seviyesinde yeni enine çatlaklar olmuştur. S8 kolonu C yüzünde 1,5h seviyesinde enine eğilme çatlakları gözlenmiştir. Bununla birlikte S9 kolonu C yüzünde 1,5h seviyesinde enine çatlak başlangıcı görülmektedir.
25.1	125	2,81	2,91	-----
25.2	-125	-2,22	-2,90	-----
26.1	135	3,18	3,37	-----
26.2	-135	-2,51	-3,23	-----
27.1	145	3,64	3,72	-----
27.2	-145	-2,85	-3,60	-----
28.1	155	4,07	4,17	-----
28.2	-155	-3,27	-4,08	-----
29.1	165	4,57	4,61	-----
29.2	-165	-3,76	-4,63	-----
30.1	175	5,23	4,80	-----
30.2	-175	-4,05	-5,50	-----
31.1	185	5,65	5,14	-----
31.2	-185	-4,70	-6,34	-----

32.1	195	6,19	5,54	-----
32.2	-195	-5,59	-7,43	P1 perdesinin C yüzünde 1-2h seviyesinde enine eğilme çatlakları gözlenmiştir.
33.1	205	6,95	5,97	-----
33.2	-205	-6,72	-9,02	-----
34.1	215	7,98	6,79	-----
34.2	-215	-8,60	-11,37	-----
35.1	225	9,05	7,75	-----
35.2	-225	-10,67	-13,88	-----
36.1	235	10,37	8,76	-----
36.2	-235	-13,39	-17,60	-----
37.1	245	11,94	10,16	-----
37.2	-245	-16,77	-21,71	Döngüler arası deplasman farkı çerçevede 3,5mm perde de ise 4mm olarak gözlemlenmiştir. Döngü sonunda perde incelenmiş ve perde-temel birleşim bölgesinde çatlak genişliğinin 6mm mertebesine ulaştığı görülmüştür. Perdelerin B, C, D yüzlerinde eğik eğilme çatlakları izlenmiştir.
38.1	255	14,01	12,24	Perdelerin B, C, D yüzlerinde meydana gelen eğik eğilme çatlakları ilgili yüzler boyunca ilerlemeye devam etmiştir. Perde-temel birleşim bölgesinde oluşan çatlak genişliği artmıştır. Ayrıca S2 kolonu B yüzünde 8-9h seviyesinde çatlak meydana gelmiştir. S3 kolonu B yüzünde 8-9h seviyesinde iki adet çatlak ve aynı kolunun D yüzünde 9h seviyesinde ise bir adet eğilme çatlakları meydana gelmiştir.
38.2	-255	-21,38	-27,34	Perde-temel birleşim bölgesinde meydana gelen çatlak genişliği 8mm 'ye ulaşmış olup perde-temel birleşim bölgesindeki ayrılma belirgin bir şekilde görülmüştür.
39.1	265	17,54	15,56	S1, S3, S4, S7 ve S8 kolonlarının A yüzünde kolon- temel birleşim bölgesinde çatlak genişliği 5mm 'ye ulaşmıştır. S1 kolonu kabuk betonu dökülmüş ve donatılar belirgin bir şekilde görülmüştür. P1 perdesi kolon-temel birleşim bölgesinde çatlak genişliği 6mm 'ye ulaşmıştır. P2 perdesi temel-perde birleşim bölgesinde kabuk betonunda dökülme gözlemlenmiştir. Bununla birlikte P2 perdesi ankrajında ayrılmalar gözlemlendi.
39.2	-265	-28,33	-35,61	P1 ve P2 perdeleri temel-perde birleşim bölgesinde ayrılma daha da belirginleşerek açılma 15mm mertebesine ulaşmıştır. P1 perdesinin C yüzündeki kabuk beton dökülmüş ve donatılar net bir şekilde görülmüştür.
40.1	275	23,04	20,09	Bu döngüde çerçeve deplasmanı perde deplasmanından daha fazla olduğundan çerçeve ötelenmesi net bir şekilde gözlemlenirken perdede bu durum gözle fark edilemeyecek biçimde kalmıştır. Perdelerin C yüzü kabuk beton dökülmüştür. P1 ve P2 perdelerinin boyuna donatılarında (temel-perde tabanı arasında) burkulmalar görüldü. Ayrıca temel-perde tabanı arasındaki ayrılma uzaktan görülecek biçimde netleşti.
40.2	-275	-40,52	-46,97	Çerçeve deplasmanı 30 mm ve yatay yük 200 kN civarındayken P2 perdesi C yüzü temel-perde

				tabanındaki boyuna donatıların kopması sonucunda yatay yük kapasitesi 130 kN civarına düşmüş ve çerçeve ötelenmesi aniden 40,5 mm 'ye ulaşmıştır. Bununla birlikte temel-perde tabanı arasındaki ayrılmalar oldukça fazla bir şekilde artmış ve P2 perdesi B yüzünün tarafsız eksenini geçecek şekilde yukarı kalkmıştır.
41.1	285	29,04	26,15	Bu döngüde 6mm deplasman artımıyla deney numunesinin yük almaması üzerine deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Yatay yük 257,5 kN 'u görmüştür. Temel-perde tabanı ayrılmasının gözlemlendiği fotoğraflar çekildi ve perde tabandan kopmadan önce yük sıfırlanarak deney sonlandırılmıştır.
Not: Bu çizelgedeki yük-deplasman değerleri, deney sırasındaki anlık okuma değerleri olup grafiksel sonuçlardan bir miktar farklı olabilir.				

Hasarlı çerçevenin güçlendirilmesi deneyinde maksimum yük olan 275 kN'a en son döngü olan 41.itme döngüsünde maksimum tepe deplasmanına ise son bir önceki döngü olan 40.çekme döngüsünde çerçevede 40,52 mm, perdede ise 46,97 mm' ye ulaşılmıştır. Deney, 2 nolu perdenin B-C köşesinden başlayarak B yüzü boyunca temel-perde tabanının belirgin bir şekilde ayrılmasının yanı sıra bir önceki çekme döngüsünde aynı P2 perdesinin C yüzü temel-perde tabanındaki boyuna donatıların kopması sonucunda yatay yük kapasitesinin 130 kN civarına düşmesi ve tepe deplasmanının ani artışı nedeniyle sonlanmış ancak histerisis eğrisini tamamlamak adına son bir itme döngüsü yapılarak deney bitirilmiştir. 3 nolu güçlendirme deneyi sonrasında kolonların ve perdelerin itme ve çekme yüzlerinde oluşan çatlaklar her bir kolon için detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çerçeve numune daha önce yapılan 2. deneyde hasarlandırıldığı için mevcut çatlaklarla yeni oluşan çatlakların karışmaması adına 3.deneyden önce mevcut itme çatlakları siyah, çekme çatlakları yeşil kalemle çizilmiştir. Daha sonra 3.deneyde itme döngülerinde oluşan yeni çatlaklar mavi kalemle çekme döngülerinde oluşan yeni çatlaklar kırmızı kalemle çizilmiştir. Çalışmada kolon ve perde boyunun tamamında çatlak olmaması nedeniyle sadece çatlak oluşumlarının görüldüğü, alt ve üst düğüm noktalarına yakın bölgelere ait fotoğraflara yer verilmiştir. Ayrıca bu fotoğraflardan kolon kiriş birleşim bölgelerinde, kirişlerde, temel-perde tabanı birleşim bölgesinde oluşan çatlaklar ve perde tabanındaki donatılarda meydana gelen kopmalar ayrıntılı bir şekilde incelenebilmektedir. Çatlak gelişiminin takip edilebilmesi için deneyin 41. döngüsünde (deney sonu) tüm kolonlara ve perdelerine ait çatlak fotoğrafları

verilmiştir. Kolonların ve perdelerin itme ve çekme yüzlerindeki çatlak seviyeleri-döngü numarasına karşılık gelen çatlak skalaları Şekil 3.44, 3.45, 3.46 ve 3.47’de gösterilmiştir.

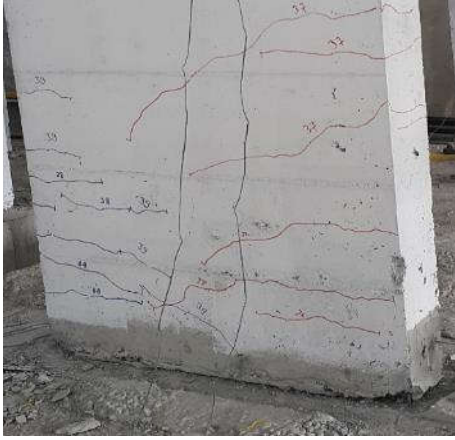
3.Deney_S101 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
3.Deney_S102 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
3.Deney_S103 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt

3.Deney_S104 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
3.Deney_S105 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
3.Deney_S106 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt

3.Deney_S107 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
3.Deney_S108 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
3.Deney_S109 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt

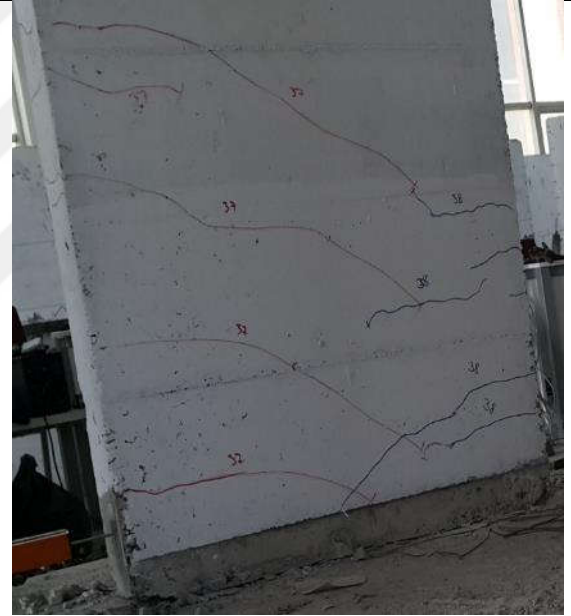
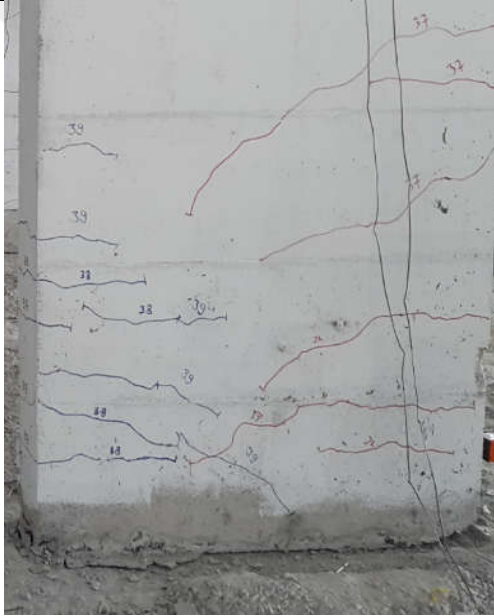
Şekil 3.42. 3.Deney sonunda (41.Döngü) dış perde ile güçlendirilen hasarlı çerçevede izlenen çatlak gelişimi.

3.Deney_P101 Perde



Çekme Yüzü Alt

İtme Yüzü Alt



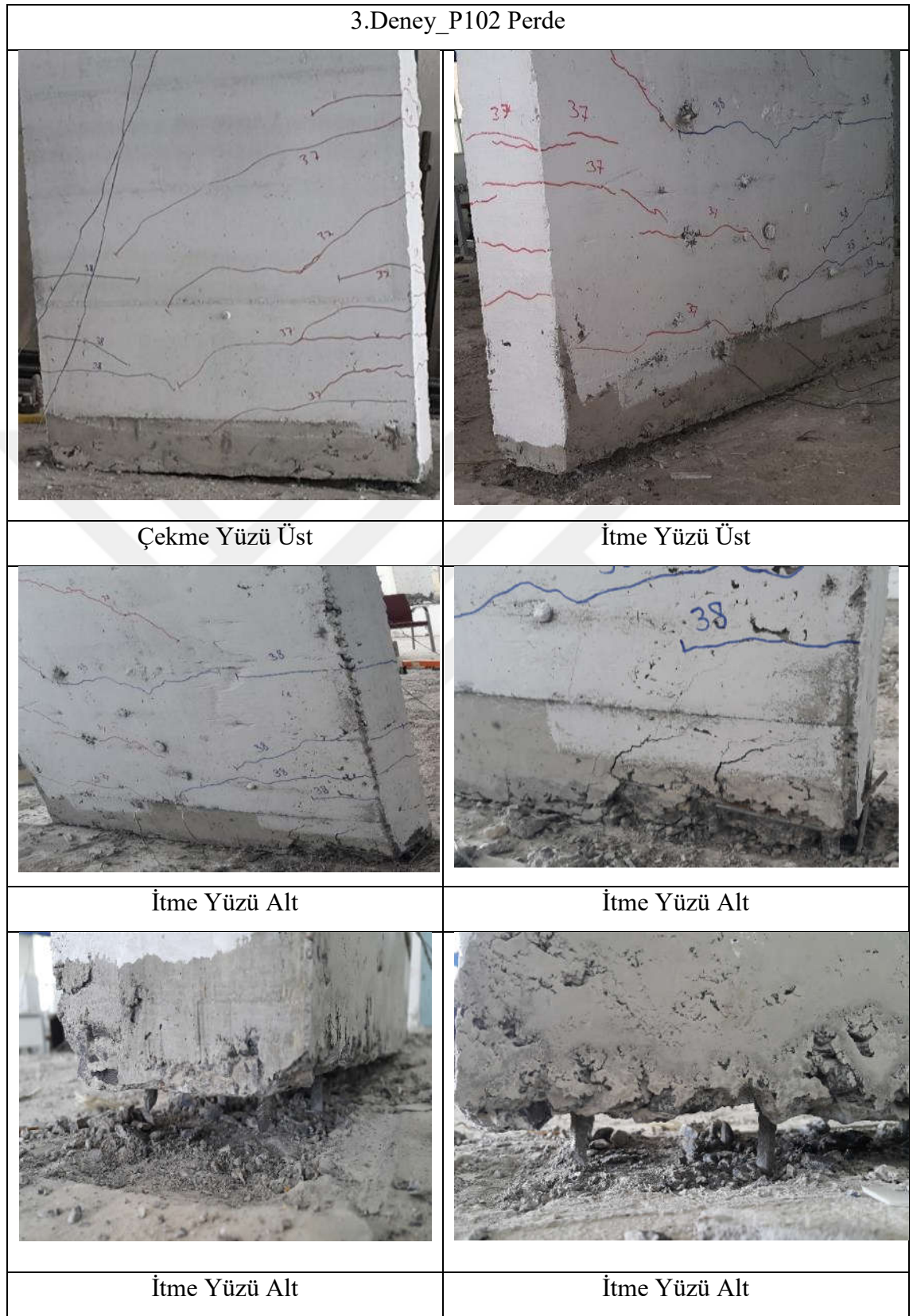
Çekme Yüzü Üst

İtme Yüzü Üst

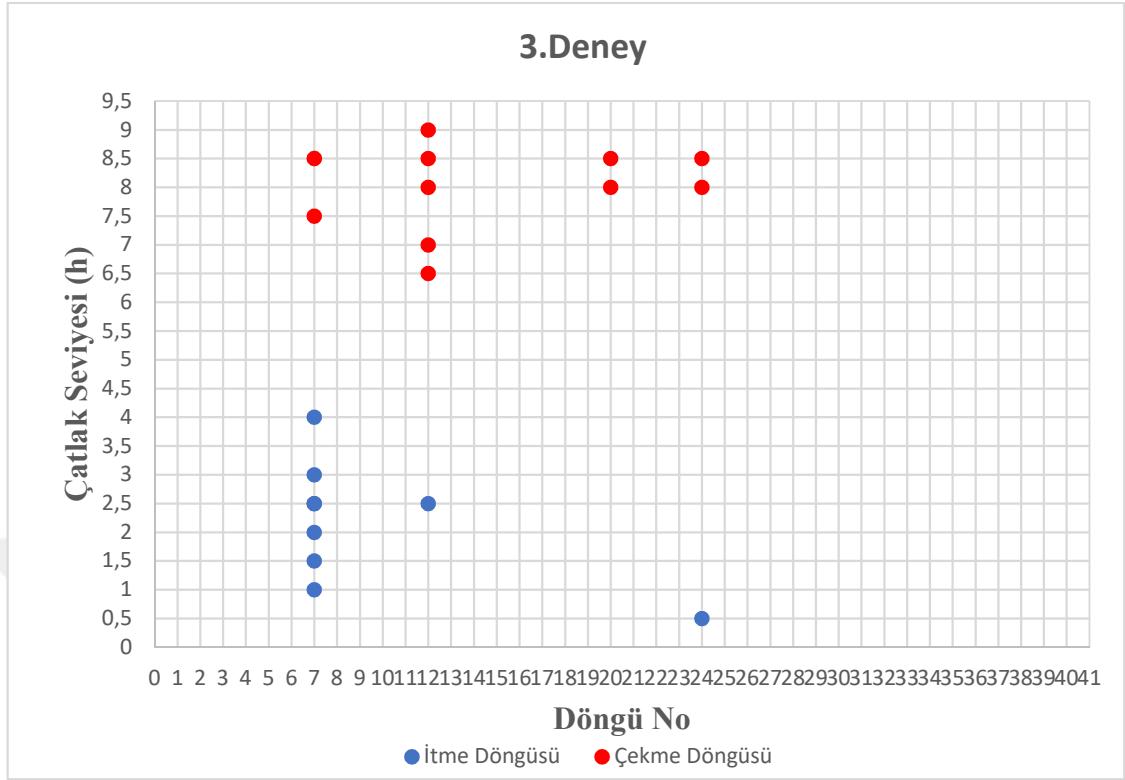


Çekme Yüzü Alt

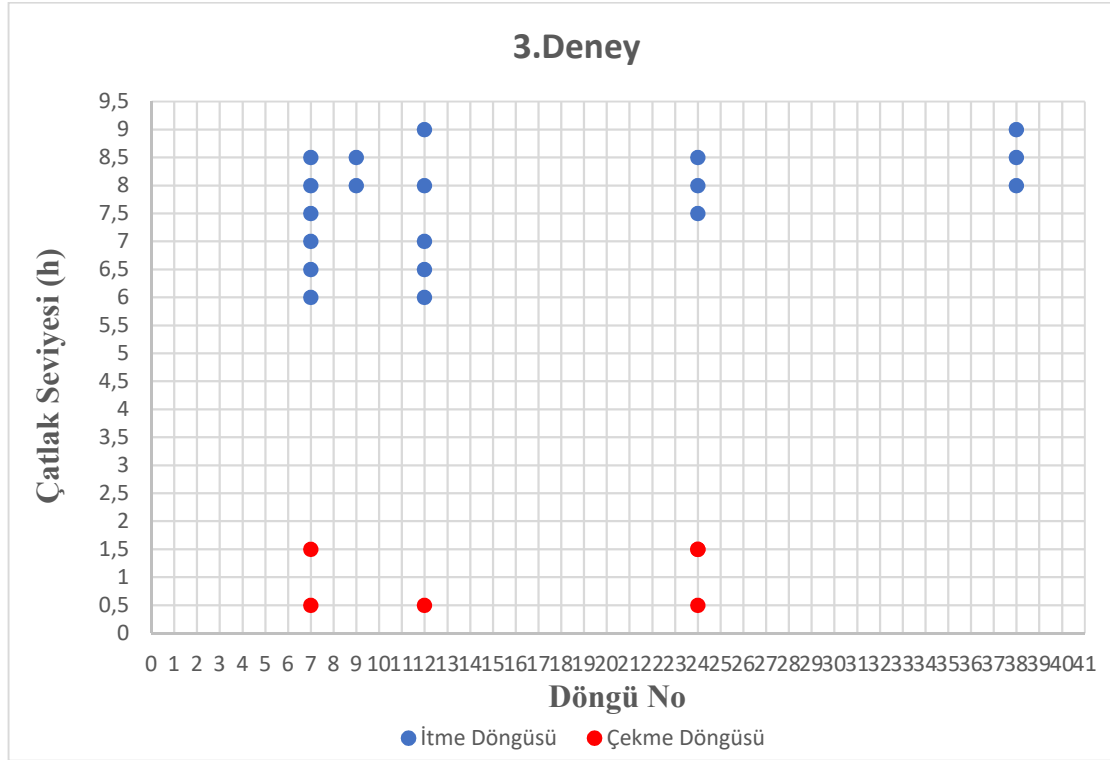
Çekme Yüzü Alt



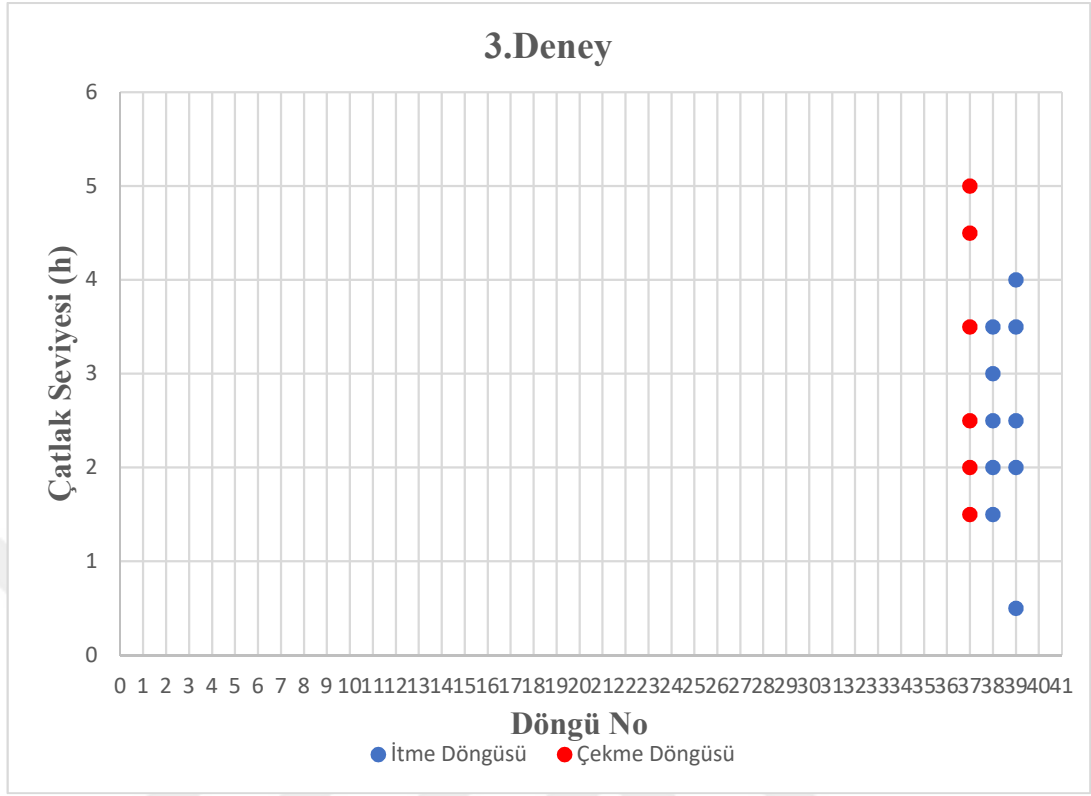
Şekil 3.43. 3.Deney sonunda (41.Döngü) hasarlı çerçevede güçlendirme için kullanılan dış perdelerde izlenen çatlak gelişimi.



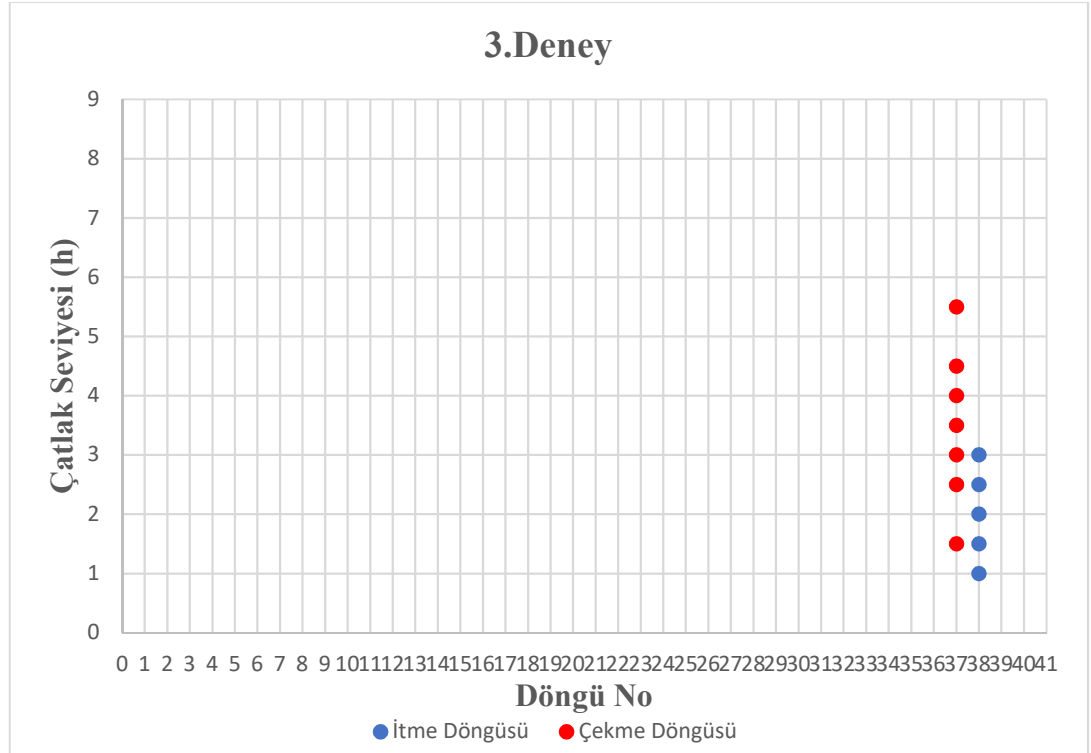
Şekil 3.44. 3.Deney için kolonların itme yüzü çatlak skalası.



Şekil 3.45. 3.Deney için kolonların çekme yüzü çatlak skalası.



Şekil 3.46. 3.Deney için perdelerin itme yüzü çatlak skalası.



Şekil 3.47. 3.Deney için perdelerin itme yüzü çatlak skalası.

Betonarme çerçeveyle güçlendirme perdelerini birbirine bağlayan çelik bağ kirişlerin ankrajları da deney boyunca düzenli olarak kontrol edilmiştir. Bu kontroller sırasında özellikle 30.döngüden sonra P2 perdesi ve çerçeveyi bağlayan K114 isimli çelik bağ kirişin ankrajlarının çalışması nedeniyle bu bölgede çatlak yoğunluğu artarken ankrajlarda da bir miktar sıyrılma gözlenmiştir. P1 perdesi ve çerçeveyi bağlayan K113 çelik bağ kirişinin ankrajlarının çalışmasıyla özellikle çerçeve ankrajında çatlak yoğunluğunun arttığı görülmüştür.



Şekil 3.48. Çerçeve ve dış perdeleri birbirlerine bağlayan bağ kirişlerin ankrajları.

Aşağıdaki resimlerde görüldüğü üzere perdelerde oluşan çatlaklar kritik perde yüksekliği içerisinde yoğunlaşmıştır. Bu durum DBYBHY-2007’de kritik perde yüksekliği için verilen donatı detaylandırılmasına ilişkin şartların önemini göstermektedir. Hasarlı betonarme çerçeveyi güçlendirmek için taşıyıcı sisteme ilave edilen dış perde duvarlar hasarlı çerçeve kat yüksekliği göz önüne alınarak $H_w/l_w = 1,71 < 2$ oranına göre tasarlanmış olup perdede kesme davranışı hâkim olmuştur. Bu sebeple deney sırasında yapılan yüklemeler nedeniyle perde tabanı-temel birleşim bölgesinde ayrılmalar ve açılmalar görülmüş ve perde, tabanı boyunca kesilerek buradaki donatılar kopmuştur.



Şekil 3.49. 3.Deneyde güçlendirme için kullanılan 2 nolu dış perde tabanından kopan boyuna donatılar.

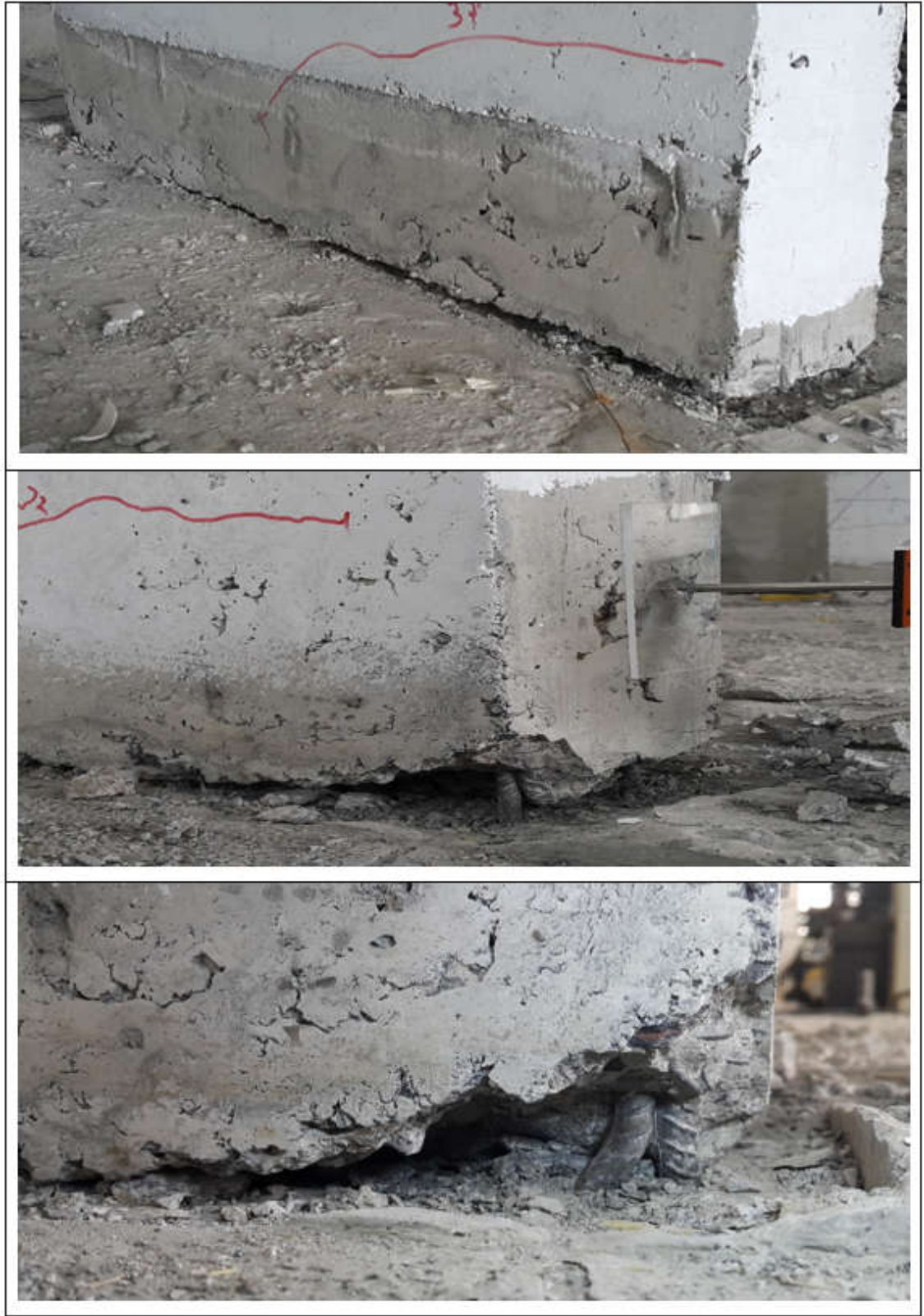


Şekil 3.50. 3.Deneyde güçlendirme için kullanılan 2 nolu dış perde tabanından dökülen kabuk betonu.

P1 perdesinin taban-temel birleşim bölgesinde meydana gelen ayrılma düzenli olarak kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Buna göre en son ayrılma miktarı 39.çekme döngüsü sonunda 15 mm olarak kaydedilmiştir. Şekil 3.51 ve 3.52’de P1 perdesindeki ayrılmaya ait resimler verilmiştir.



Şekil 3.51. 3.Deneyde güçlendirme için kullanılan 1 nolu dış perde tabanındaki ayrılma miktarının ölçülmesi.



Şekil 3.52. 3.Deneyde güçlendirme için kullanılan 1 nolu dış perde tabanındaki ayrılma ve tabanda burkulan donatılar.

Hasarlı çerçevenin çelik bağ kirişli dış perdelerle güçlendirilmesi deneyine ait deney sonu genel görünümü veren resimler Şekil 4.53'tir. Yukarıdaki resimlerde ise hem çerçeve elemanlarında meydana gelen çatlaklar hem de perdelerde oluşan çatlaklar ve temel birleşim bölgelerinde burkulan donatılara ait resimler daha detaylı bir şekilde sunulmuştur.



Şekil 3.53. 3.Deney sonunda çelik bağ kirişlerle bağlanan dış perdelerle güçlendirilmiş taşıyıcı sistemin görünümü.



Şekil 3.54. 4.Deney başlangıcında taşıyıcı sistemin görünümü.

4.Deney, referans çerçeveye özdeş hasarsız çerçevenin çelik bağ kirişli dış perdelerle güçlendirilmesi ve elde edilen verilerin diğer deneylerle karşılaştırılması amacıyla yapılmıştır. 4. deney düzeneğine ait görünüm Şekil 4.54’de verilmiştir. Hasarsız çerçeveyi güçlendirme deneyi, deney verilerinin elde edilmesi amacıyla 16 adet strainage, 3 adet LVDT, 4 adet potansiyometrik cetvel ve 2 adet loadcell kullanılmıştır. Deneye ilk olarak 5 kN luk yük verilerek başlanmış ve 5 kN luk artışlarla yük kontrollü olarak 25.döngüye kadar devam edilmiş sonrasında ise 10 kN luk artışlarla yük kontrollü olarak 28. itme döngüsüne kadar gidilmiş olup bu itme döngüsünde deplasman değeri çok arttığından itme döngüleri için deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiş, çekme döngülerinde ise 10 kN luk artışlarla yük kontrollü yüklemeye deney sonuna kadar devam edilmiştir. Deney boyunca bazı döngülerde çatlak kontrolü yapılmış ve hazırlanan rapor Tablo 4.6’da sunulmuştur. Buna göre 4.itme döngüsünde 20 kN yükte tüm kolonların 3h ve 6h seviyelerinde ilk çatlak oluşumu gözlenmiştir. Yine 4.itme döngüsünde 20 kN’da S1-K1, S2-K2, S3-K2, S7-K5, S8-K6 kolon-kiriş birleşim bölgelerinde eğilme çatlağı oluşumu gözlenmiştir. Yine 4. itme döngüsünde 20 kN da K1, K2, K5 ve K6 kirişlerinde çatlak meydana gelmiştir. Kolon-temel birleşim bölgesinde ise ilk çatlak 4.itme döngüsünde 20 kN’ da S6 kolonunda gözlenmiştir. D1 ve D3 döşemelerinde ise 40. İtme döngüsünde 163 kN’da çatlak gelişmiştir. Perdelerde ise ilk çatlak, P2 perdesinde 1h seviyesinde 14. çekme döngüsünde 70 kN’da meydana gelmiştir.

Tablo 3.6. 4.Deney numunesinde döngülerde gözlenen davranış.

Döngü No	Yatay Yük (kN)	Çerçeve Yatay Tepe Deplasmanı (mm)	Perde Yatay Tepe Deplasmanı (mm)	Gözlenen Davranış
1.1	5	0,01	0,01	-----
1.2	-5	-0,09	-0,09	-----
2.1	10	0,05	0,16	-----
2.2	-10	-0,16	-0,18	-----
3.1	15	0,11	0,26	-----
3.2	-15	-0,25	-0,31	-----
4.1	20	0,17	0,34	Tüm kolonlarda A yüzünde 3h seviyesine kadar ve C yüzünde ise 6h seviyesine kadar enine eğilme çatlakları oluşmuştur. Ayrıca K1 , K2 , K5 ve K6 kirişlerinde çatlak meydana gelmiştir. S1-K1 , S2-K2 , S3-K2 , S7-K5 , S8-K6 kolon kiriş birleşim bölgelerinde enine eğilme çatlağı gözlenmiştir. Bununla birlikte S6 kolonu A yüzünde temel-kolon birleşim bölgesinde çatlak oluşumu görülmüştür.
4.2	-20	-0,33	-0,39	-----
5.1	25	0,22	0,47	-----
5.2	-25	-0,47	-0,55	-----
6.1	30	0,27	0,52	-----
6.2	-30	-0,60	-0,71	-----
7.1	35	0,25	0,55	-----
7.2	-35	-0,84	-0,96	-----
8.1	40	0,16	0,48	-----
8.2	-40	-1,23	-1,66	-----
9.1	45	0	0,07	-----
9.2	-45	-1,40	-1,79	-----
10.1	50	0,43	0,70	-----
10.2	-50	-1,10	-1,41	-----
11.1	55	0,41	0,71	-----
11.2	-55	-1,25	-1,57	-----
12.1	60	0,44	0,76	-----
12.2	-60	-1,45	-1,77	-----
13.1	65	0,43	0,80	-----
13.2	-65	-1,62	-1,98	-----
14.1	70	0,45	0,82	-----
14.2	-70	-1,89	-2,26	Bu döngüde P2 perdesinin B yüzünde 1h seviyesinde başlayan eğilme çatlağı B-C köşesinden D yüzüne kadar uzanmıştır.
15.1	75	0,34	0,72	-----
15.2	-75	-2,18	-2,57	P1 perdesinde B yüzünde 1h seviyesinde eğilme çatlağı gözlenmiştir
16.1	85	0,51	0,92	-----
16.2	-85	-2,58	-3,00	-----
17.1	90	0,39	0,85	-----
17.2	-90	-2,92	-3,32	-----
18.1	95	0,43	0,88	-----
18.2	-95	-3,21	-3,60	-----
19.1	100	0,45	0,98	-----
19.2	-100	-3,53	-3,94	-----

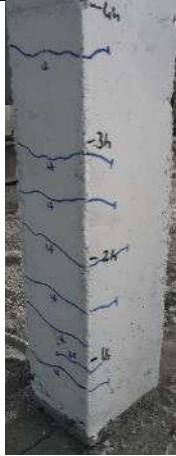
20.1	105	0,54	1,13	-----
20.2	-105	-3,80	-4,20	-----
21.1	110	0,48	1,12	-----
21.2	-110	-4,18	-4,57	P1 perdesinin B yüzünde 1-2h seviyesinde eğilme çatlağı gözlenmiştir. Bununla birlikte P2 perdesinin B yüzünde 1-2h seviyesinde yine aynı perdenin C yüzünde 1-2h seviyesinde ve D yüzünde yine 1-2h seviyesinde eğilme çatlağı meydana gelmiştir.
22.1	115	0,45	1,13	-----
22.2	-115	-4,63	-5,01	-----
23.1	120	0,53	1,27	-----
23.2	-120	-4,90	-5,28	-----
24.1	125	0,65	1,40	-----
24.2	-125	-5,33	-5,70	-----
25.1	135	1,10	1,89	S1 kolonu C yüzünde 8-9h seviyesinde, S2 ve S3 kolonları C yüzünde 8h seviyesinde enine eğilme çatlağı oluşurken S5 kolonu C yüzünde 7-8h seviyesinde enine eğilme çatlağı oluşmuştur. Ayrıca S8 kolonu A yüzünde 1h , 1-2h ve 2-3h seviyelerinde; yine aynı kolonun D yüzü 9h seviyesinde enine eğilme çatlağı meydana gelmiştir. Bununla birlikte aynı kolon aynı yüzde kolon-kiriş birleşim bölgesinde çatlak oluşumu gözlenmiştir. S9 kolonu A yüzünde 1-2h seviyesinde eğilme çatlağı oluşmuştur.
25.2	-135	-5,90	-6,30	-----
26.1	145	1,92	2,73	S3 kolonu A yüzünde 3-4h seviyesinde, S4 kolonu A yüzünde 1h seviyesinde enine eğilme çatlağı oluşurken S6 kolonu A yüzünde 1-2h ve 2h seviyesinde ayrıca S7 kolonu A yüzünde 1-2h seviyesinde ise yine enine eğilme çatlağı oluştuğu görülmüştür.
26.2	-145	-6,60	-7,15	-----
27.1	155	3,74	4,51	-----
27.2	-155	-7,42	-8,18	-----
28.1	164	9,11	9,92	Bu döngüde deplasman çok arttığı için itme döngülerinde deplasman kontrollü yüklemeye dönüldü.
28.2	-165	-7,95	-9,36	Çekme döngülerinde ise yük kontrollü yüklemeye devam edilmiştir.
29.1	149	9,60	10,35	-----
29.2	-175	-8,64	-10,36	-----
30.1	146	10,30	10,96	-----
30.2	-185	-9,22	-11,39	S4 kolonu A yüzünde 8h seviyesinde, yine aynı kolon ve S6 kolonun D yüzünde 1h seviyesinde enine eğilme çatlağı oluştuğu görülmüştür. S9 kolonu D yüzünde 8-9h seviyesinde 2 adet 9h seviyesinde ise 1 adet olmak üzere toplam 3 adet enine çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca C yüzü S9-K6 kolon-kiriş birleşim bölgesinden başlayarak K6 kirişine devam eden çatlak gelişimi gözlenmiştir. Bununla birlikte P1 perdesinin B ve C yüzünde 1h-2h , 3h ve 4h seviyesinde başlayan eğilme çatlağı da görülmektedir ve aynı durum P2 perdesi için de geçerli olup B yüzünde eğilme çatlağı 1-2h ve 3h seviyesinde başlamıştır. Yine

				P2 perdesi C ve D yüzünde 1h ve 1-2h seviyesinde çatlak oluşmuşken C yüzünde ilave olarak 2h seviyesinde de çatlak meydana gelmiştir.
31.1	147	10,90	11,57	-----
31.2	-195	-9,77	-12,43	-----
32.1	146	11,45	12,04	-----
32.2	-205	-10,24	-13,32	-----
33.1	147	12,00	12,66	-----
33.2	-215	-10,74	-14,33	-----
34.1	143	12,50	12,96	-----
34.2	-225	-11,30	-15,32	-----
35.1	145	13,10	13,63	-----
35.2	-235	-11,98	-16,40	S5 kolonu D yüzünde temel-1h seviyesinde enine eğilme çatlak gözlenirken S7, S8 ve S9 kolonları 1-2h seviyelerinde C yüzünden başlayarak D yüzüne kadar ilerleyen çatlak gelişimi gözlemlenmiştir. P1 perdesi B yüzünde 2h ve 3h seviyelerinden başlayan eğilme çatlakları aşağıya doğru devam etmiştir. P2 perdesindeki enine çataklar ise B yüzü 4h seviyesinin biraz üzerinde başlayarak 4h seviyesine, 4h seviyesinden başlayan çatlak 3h seviyesine, 3h seviyesinden başlayan çatlak 2h seviyesine ve 2h seviyesinden başlayan çatlak ise 1h seviyesine kadar inmiştir. Ayrıca yine P2 perdesinde bu kez D yüzünde 4-5h seviyesinde başlayan çatlak 4h seviyesinin hemen altına kadar devam etmiş, yine aynı yüzde 3h seviyesinde başlayan çatlak 2h seviyesine kadar inmiştir.
36.1	145	13,80	14,24	-----
36.2	-245	-12,95	-17,72	-----
37.1	146	14,80	15,37	-----
37.2	-255	-13,96	-16,98	-----
38.1	146	15,80	16,60	P1 perdesi B yüzünde perde tabanı-temel birleşim bölgesinde ayrılma başlangıcı gözlenmiştir.
38.2	-265	-15,10	-20,64	-----
39.1	146,7	17,00	17,62	-----
39.2	-275	-16,34	-22,71	-----
40.1	163	18,20	18,66	S7 kolonu B yüzünde 9h seviyesinde ve yine aynı kolonun C yüzünde 6h seviyesinde enine eğilme çatlak oluşmuştur. S8 kolonu A yüzünde 3h seviyesinde ve S9 kolonu B yüzünde 8-9h seviyesinde 2 adet 9h seviyesinde ise 1 adet olmak üzere toplamda 3 adet enine eğilme çatlak gelişimi gözlenmiştir. Bununla birlikte S4-K7, S5-K9, S6-K11 ve S9-K6 kolon-kiriş birleşim bölgelerinde enine eğilme çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca K2, K6, K7 ve K11 kirişlerinde çatlak gelişimleri gözlenmiştir. D1 ve D3 döşemelerinde çatlak gelişmiştir.
40.2	-285	-17,96	-25,65	S2 kolonu C yüzünde 1-2h seviyesinde ve S3 kolonu A yüzünde 6-7h, 7h, 7-8h ve 8-9h seviyelerinde enine eğilme çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca S3 kolonu A yüzünde 7h seviyesinin hemen üzerinde ve yine aynı kolon aynı yüzde 8h seviyesinde olmak üzere 2 adet

				çatlak gelişimi gözlenmiştir. Bununla birlikte aynı kolonun C yüzü 2h seviyesinde de enine eğilme çatlağı görülmüştür. S5 kolonu A yüzünde 8-9h ve 9h seviyelerinde ve yine aynı kolonun C yüzünde temel-1h seviyelerinde enine eğilme çatlağı meydana gelmiştir. S6 kolonu A yüzünde 7-8h ve 8-9h seviyelerinde ve S7 kolonu C yüzünde 2h , 2-3h ve 3-4h seviyelerinde enine eğilme çatlağı oluşumu gözlenmiştir. S8 kolonunda ise A yüzünde 9h ve C yüzünde ise 2h , 2-3h ve 3-4h seviyelerinde enine eğilme çatlağı gözlenmiştir. S9 kolonu A ve D yüzlerinde 7-8h seviyelerinde 2 adet yine aynı kolonun C yüzünde ise 2h seviyesinde enine eğilme çatlağı oluşmuştur. P1 perdesi B yüzünde 7h seviyesinden başlayan eğilme çatlakları 3h seviyesine doğru devam etmiştir. Yine aynı yüzde 5-6h seviyesinde ve 5h seviyesinde başlayıp 3h seviyesine kadar inen 2 adet çatlak gelişimi izlenmiştir. P2 perdesinde ise D yüzünde 6-7h seviyesinden başlayan eğilme çatlakları 5-4h seviyesine doğru devam etmiş, yine aynı yüzde 5-6h seviyesinden başlayan çatlaklar 3-4h seviyesine doğru inerken 4h seviyesinde başlayan çatlaklar 3h seviyesine inmiştir.
41.1	182	19,80	18,42	P1 perdesi B-C köşesi kabuk betonunun dökülmesiyle perde tabanındaki donatıların görünmesi. Ayrıca yine P1 perdesi B yüzünde perde tabanı-temel birleşim bölgesinde başlayan ayrılmanın ve açılmanın belirginleşmesi gözlenmiştir.
41.2	-295	19,34	-27,39	-----
42.1	195	21,20	18,57	-----
42.2	-305	21,22	30,77	P1 perdesi C yüzünde perde tabanındaki donatılarda burkulma meydana gelmiştir. Bununla birlikte yine P1 perdesi B yüzünde perde tabanı-temel birleşim bölgesindeki ayrılmanın B yüzü tarafsız eksenine ilerlemesi ve açılmanın çok daha fazla artmasıyla birlikte deney sonlandırılmıştır.
Not: Bu çizelgedeki yük-deplasman değerleri, deney sırasındaki anlık okuma değerleri olup grafiksel sonuçlardan bir miktar farklı olabilir.				

Hasarsız çerçevenin güçlendirilmesi deneyinde 42.çekme döngüsünde maksimum yük olarak 305 kN'a ve maksimum tepe deplasmanı olaraksa çerçevede 21,22 mm, perdede 30,77 mm' ye ulaşılmıştır. Deney, 1 nolu perdenin B-C köşesinden başlayarak B yüzü boyunca temel-perde tabanının belirgin bir şekilde ayrılması ve tabandaki bu açılmanın B yüzü boyunca devam etmesi nedeniyle deney güvenliği göz önüne alınarak perde temelden kopmadan önce sonlandırılmıştır.

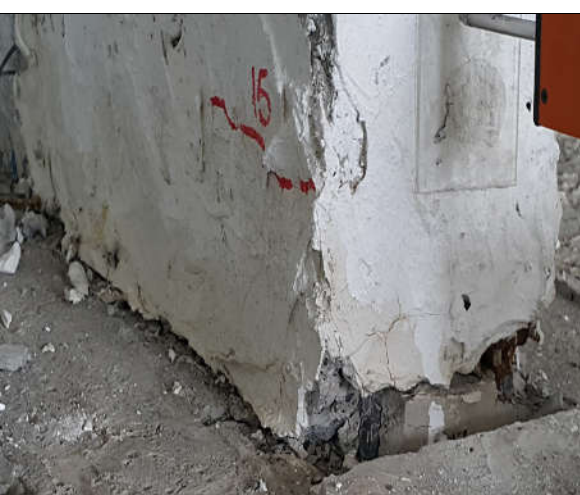
4.Deney_S101 Kolonu			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
4.Deney_S102 Kolonu			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
4.Deney_S103 Kolonu			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt

4.Deney_S104 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
4.Deney_S105 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
4.Deney_S106 Kolonu			
			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt

4.Deney_S107 Kolonu			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
4.Deney_S108 Kolonu			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
4.Deney_S109 Kolonu			
Çekme Yüzü Üst	Çekme Yüzü Alt	İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt

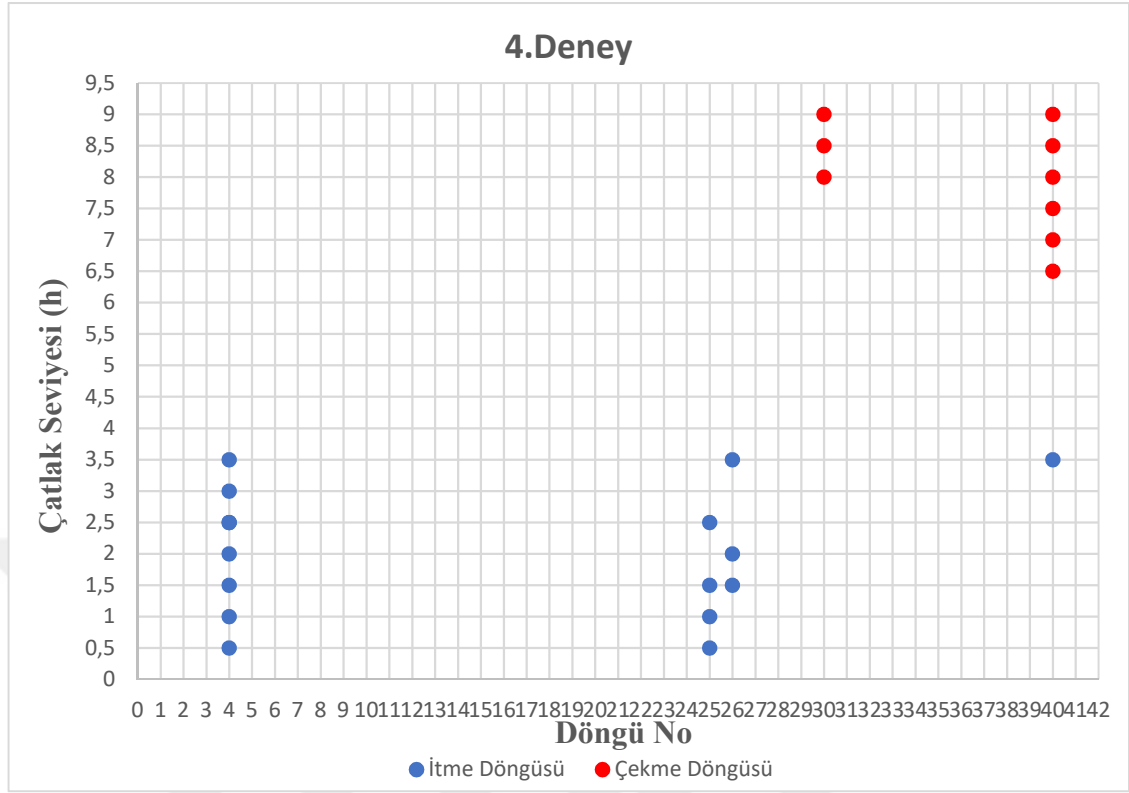
Şekil 3.55. 4.Deney sonunda (42.Döngü) dış perde ile güçlendirilen hasarsız çerçevede izlenen çatlak gelişimi.

4.Deney_P101 Perde

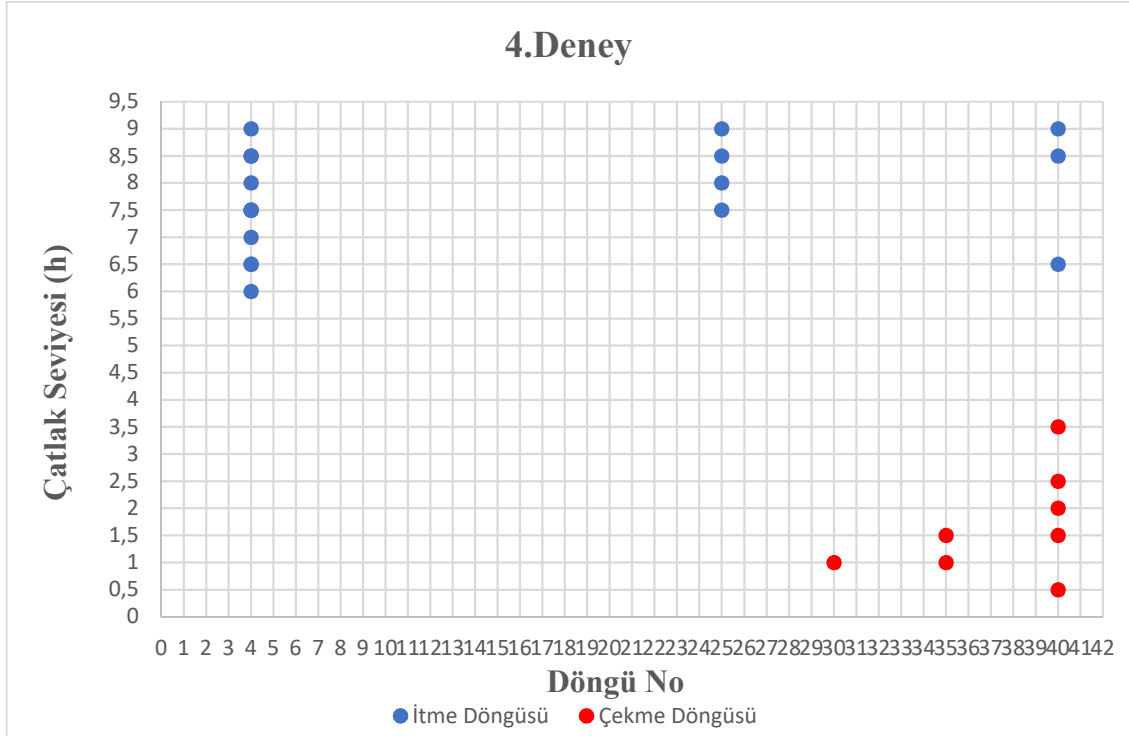
	
Çekme Yüzü Üst	İtme Yüzü Üst
	
İtme Yüzü Alt	İtme Yüzü Alt
	
İtme Yüzü Alt	İtme Yüzü Alt

4.Deney_P102 Perde	
	
Çekme Yüzü Alt	Çekme Yüzü Alt
	
İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt
	
İtme Yüzü Üst	İtme Yüzü Alt

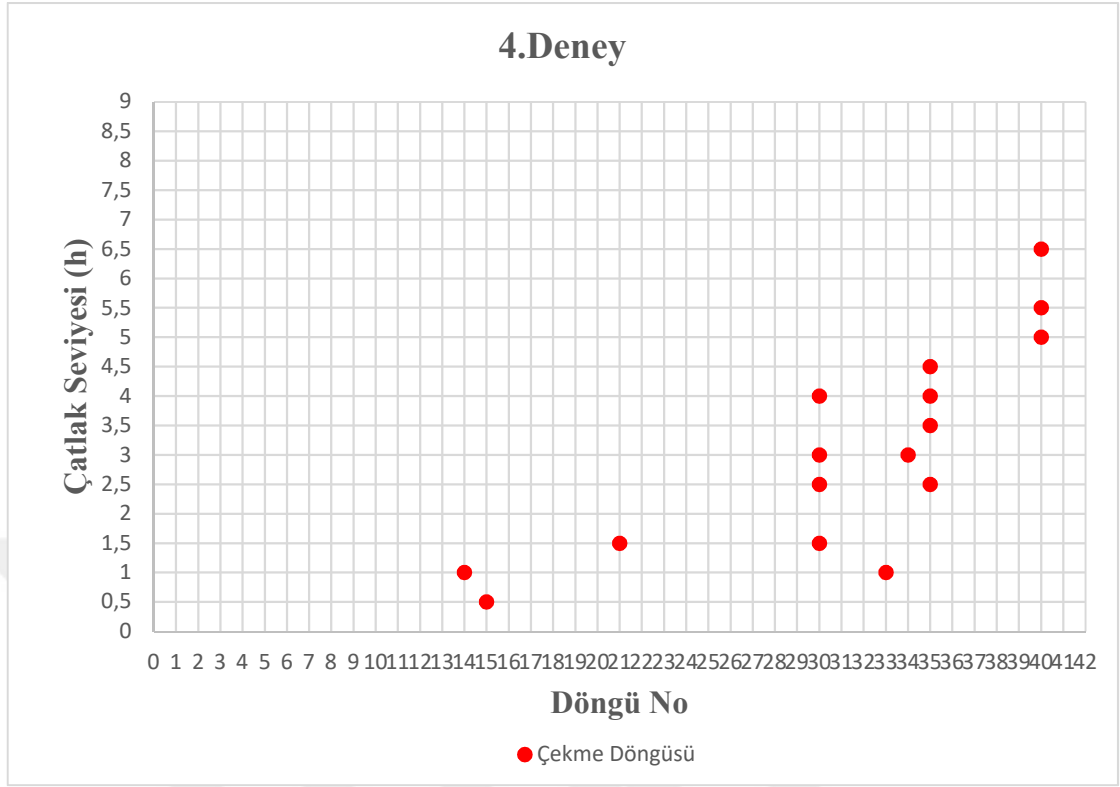
Şekil 3.56. 4.Deney sonunda (42.Döngü) hasarsız çerçevede güçlendirme için kullanılan dış perdelerde izlenen çatlak gelişimi.



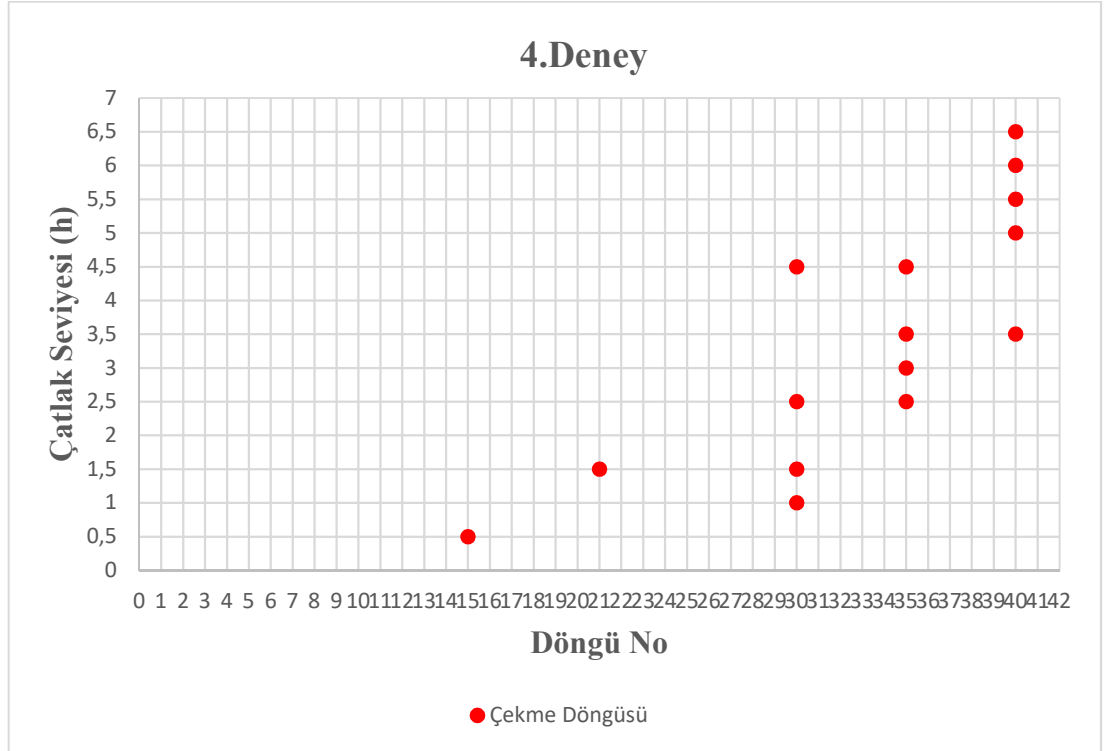
Şekil 3.57.4.Deney için kolonların itme yüzü çatlak skalası.



Şekil 3.58.4.Deney için kolonların çekme yüzü çatlak skalası.



Şekil 3.59.4.Deney için perde itme yüzü çatlak skalası.



Şekil 3.60.4.Deney için perde çekme yüzü çatlak skalası.

4 nolu güçlendirme deneyi sonrasında kolonların ve perdelerin itme ve çekme yüzlerinde oluşan çatlaklar her bir kolon ve perde için detaylı bir şekilde incelenmiştir. 4. deneyde itme döngülerinde oluşan çatlaklar mavi kalemle çekme döngülerinde oluşan çatlaklar ise kırmızı kalemle çizilmiştir. Bu çalışmada da kolon ve perde boyunun tamamında çatlak olmaması nedeniyle sadece çatlak oluşumlarının görüldüğü, alt ve üst düğüm noktalarına yakın bölgelere ait fotoğraflar verilmiştir. Ayrıca bu fotoğraflardan kolon kiriş birleşim bölgelerinde, kirişlerde, temel-perde tabanı birleşim bölgesinde oluşan çatlaklar detaylı bir şekilde incelenebilmektedir. Çatlak gelişiminin takip edilebilmesi açısından deneyin 42. döngüsünde (deney sonu) tüm kolonlara ve perdelerine ait çatlak fotoğrafları verilmiştir. Bunlarla birlikte bu elemanlara ait çatlak skalaları Şekil 3.57, 3.58, 3.59 ve 3.60'daki grafiklerde gösterilmiştir. Şekil 3.61'de ise P1 perdesinin perde tabanı-temel birleşim bölgesindeki ayrılmaya ait resimler verilmiştir.

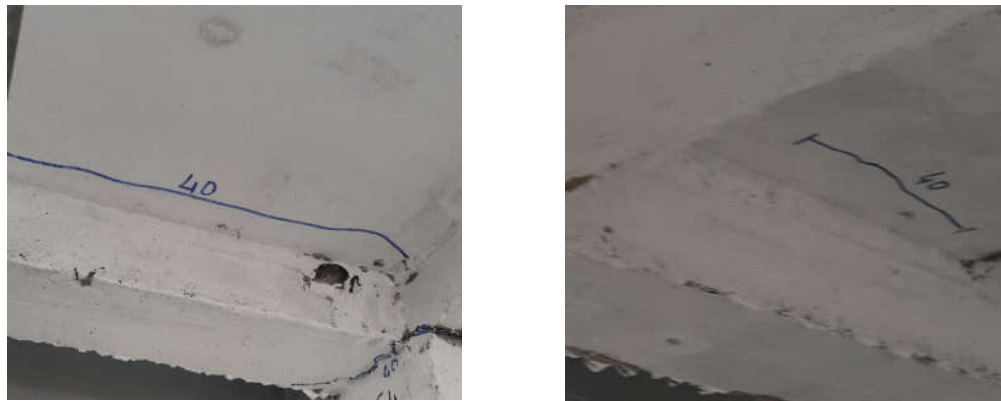


Şekil 3.61. P1 perdesinin tabanı-temel birleşim bölgesindeki ayrılma.

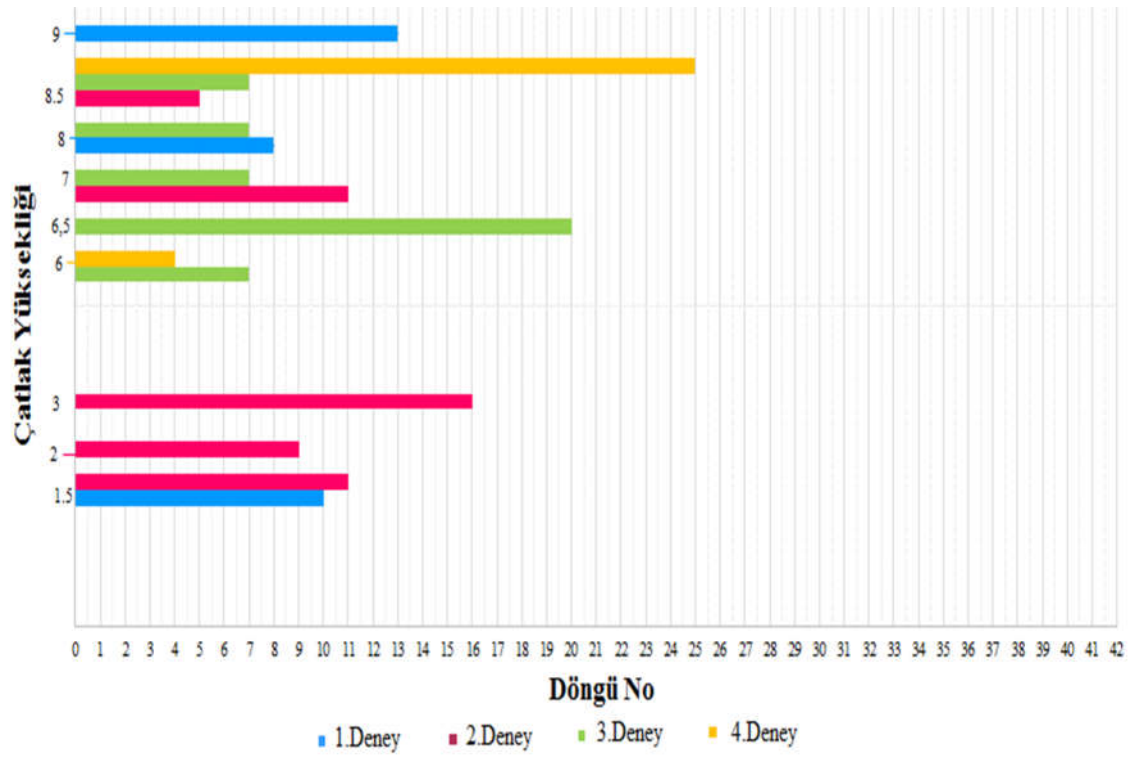
Şekil 3.55 ve 3.56’da yer alan resimlerde görüldüğü gibi 4.deneyde de perdelerde oluşan çatlaklar kritik perde yüksekliği içerisinde yoğunlaşmıştır. Hasarsız betonarme çerçeveyi güçlendirmek için taşıyıcı sisteme ilave edilen dış perde duvarlar, 3.deneyde kullanılan perdelerle özdeş olup $H_w/l_w = 1,71 < 2$ oranına göre tasarlanmış olan bu perdelerde de kesme davranışı hâkim olmuştur. Böylece deney sırasında yapılan yüklemeler nedeniyle perde tabanı-temel birleşim bölgesinde ayrılmalar ve açılmalar görülmüş ve perde, tabanı boyunca kesilmeye maruz kalmıştır. Şekil 3.62’de ise hasarsız betonarme çerçevenin çelik bağ kirişlerle bağlanmak suretiyle dış perdelerle güçlendirilmesi deneyinin sondan iki önceki döngü olan 40.döngüdeki görünümüne ait bir resim yer almaktadır.



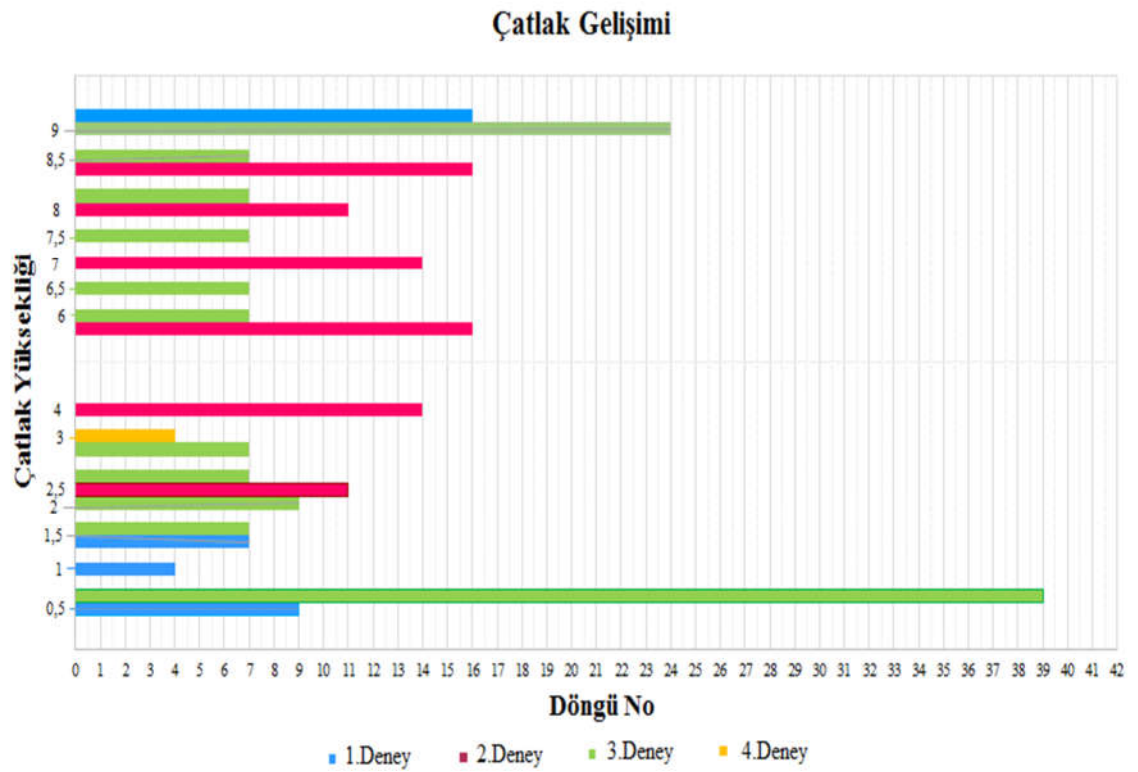
Şekil 3.62. 4.Deney sonunda çelik bağ kirişlerle bağlanan dış perdelerle güçlendirilmiş taşıyıcı sistemin görünümü.



Şekil 3.63. 40. itme döngüsünde D1 ve D3 döşemelerinde gelişen çatlaklar.

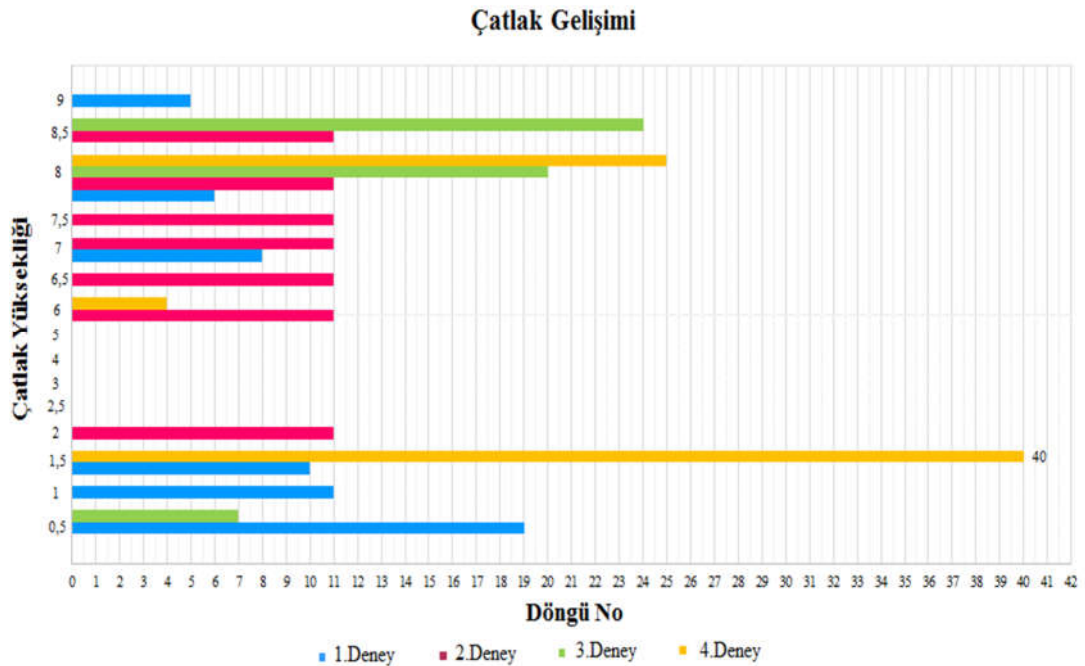


Şekil 3.64. S101 kolonu çekme yüzü çatlak gelişimi.

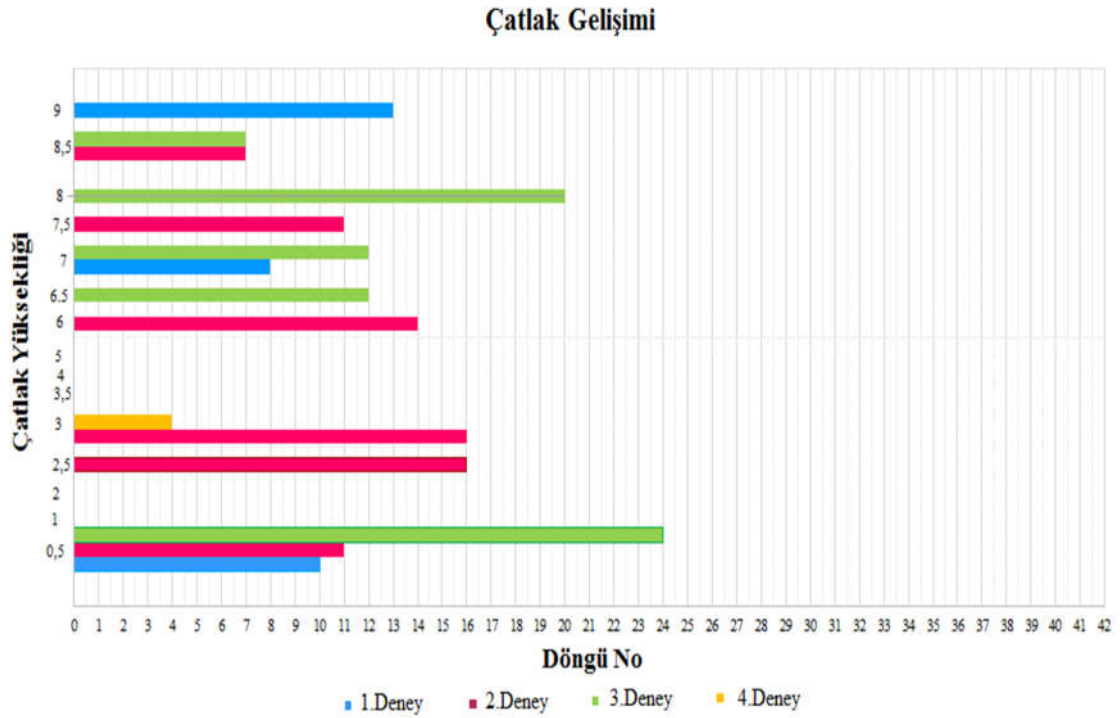


Şekil 3.65. S101 kolonu itme yüzü çatlak gelişimi.

Bütün deneylerde ilk çatlaklar S101 kolonunda oluşmuş olup söz konusu çatlaklar yatay yükün arttırılmasıyla birleşim noktalarından başlayarak kolon orta bölgelerine doğru ilerlemiştir. Çekme yüzlerinde 3h-6h ve itme yüzlerinde ise 4h-6h seviyeleri arasında S101 kolonunda herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir. İlk çatlak 1.deneyde 1h seviyesinde 4.döngüde, 2.deneyde 8,5h seviyesinde 5.döngüde, 3. deneyde 7.döngüde 8,5h seviyesinden başlayarak 6h seviyesine doğru ilerlemiş ve son olarak 4.deneydeki ilk çatlak ise 4.döngüde S1-K1 kolon-kiriş birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. Kolonların çatlak seviyeleri incelendiğinde hasarlı çerçevenin perde ile güçlendirilmesi deneyinde ilk çatlak oluşumunun diğer deneylere göre daha geç döngüde meydana geldiği gözlenmekle birlikte diğer deneylerde ilk çatlak oluşumları birbirlerine yakın döngülerde gözlenmiştir. S101 kolonunun çekme yüzünde tüm deneylerde 1,5h seviyesine kadar alt düğüm noktalarında çatlak meydana gelmemiştir. Bununla birlikte en yoğun çatlak oluşumu çekme yüzünde 2. ve 3. deneylerde, itme yüzünde ise 3. deneyde görülmüştür. 1.ve 2. deneylerde görülmüş olup 4.deney olan hasarsız çerçevenin güçlendirilmesi deneyinde ise çatlak yoğunluğu oldukça azalmıştır. Ayrıca tüm deneylerde çatlaklar akma döngüsünden önce başlamış ancak akma döngüleri ve sonrasında ise hasar dereceleri oldukça artmıştır.

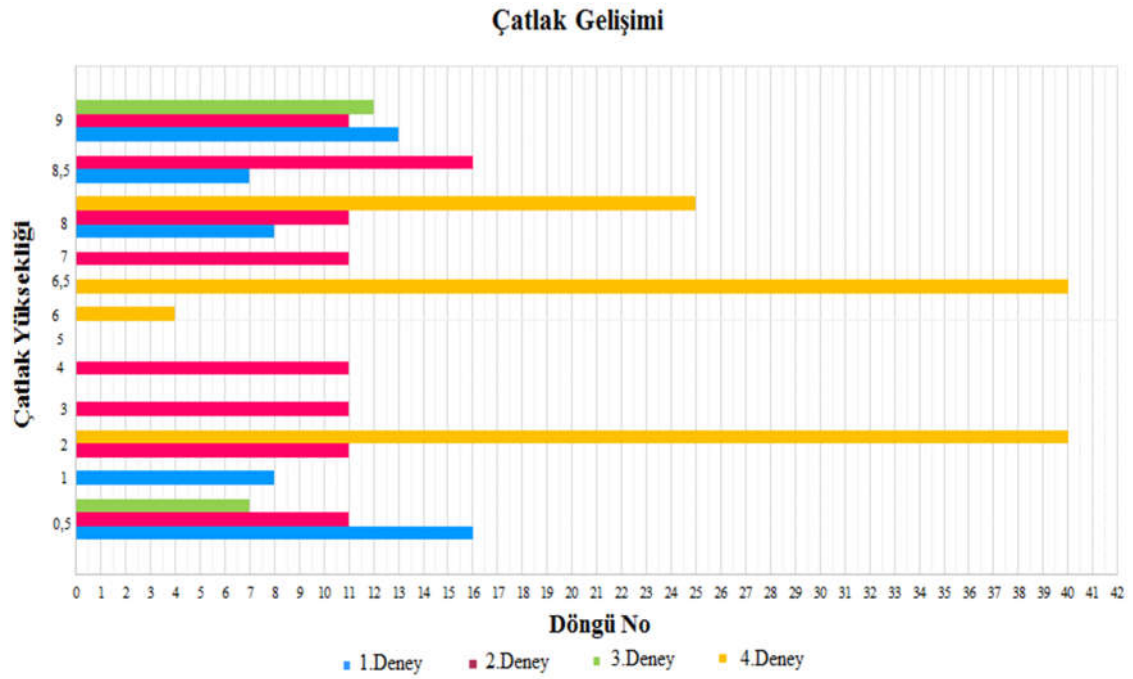


Şekil 3.66. S102 kolonu çekme yüzü çatlak gelişimi.

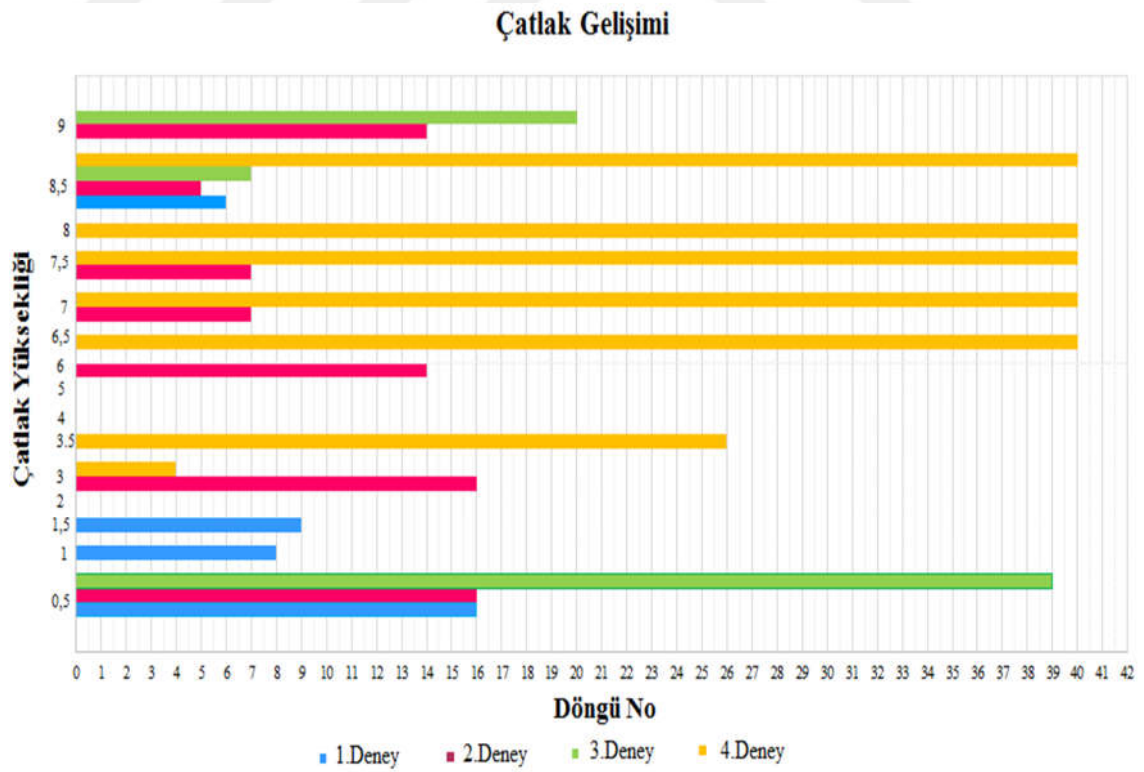


Şekil 3.67. S102 kolonu itme yüzü çatlak gelişimi.

S102 kolonunda ilk çatlaklar birleşim noktalarından başlamış sonrasında ise kolon orta bölgelerine doğru bir yayılım göstermiştir. Çekme yüzlerinde 2h-6h ve itme yüzlerinde 3h-6h seviyeleri arasında herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir. İlk çatlak 1.deneyde 9h seviyesinde 5.döngüde, 2.deneyde 8,5h seviyesinde 7.döngüde, 3. deneyde 7.döngüde temel-kolon birleşim bölgesinden 0,5h seviyesine kadar ilerlemiş ve son olarak 4.deneydeki ilk çatlak ise 4.döngüde S2-K2 kolon-kiriş birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. Kolonların çatlak seviyeleri incelendiğinde 2. ve 3. deneylerde ilk çatlak oluşumunun diğer deneylere göre daha geç döngülerde meydana geldiği gözlenmiştir. En yoğun çatlak oluşumu çekme yüzlerinde 1.ve 2. deneylerde, itme yüzlerinde ise 2. deneyde gözlenirken, 4.deney olan hasarsız çerçevenin güçlendirilmesi deneyinde ise çatlak yoğunluğunda azalma gözlenmiştir. 1. ve 2. deneylerde akma 17.döngülerde, 3. Deneyde 41.döngüde, 4.deneyde ise 28.döngüde gerçekleşmiştir. Buna göre tüm deneylerde akma olmadan pek çok seviyede çatlak oluşumu görülmüştür. Akma gerçekleşikten sonra ise tüm deneylerde hemen hemen herhangi bir seviyede çatlak oluşumu görülebilmektedir.

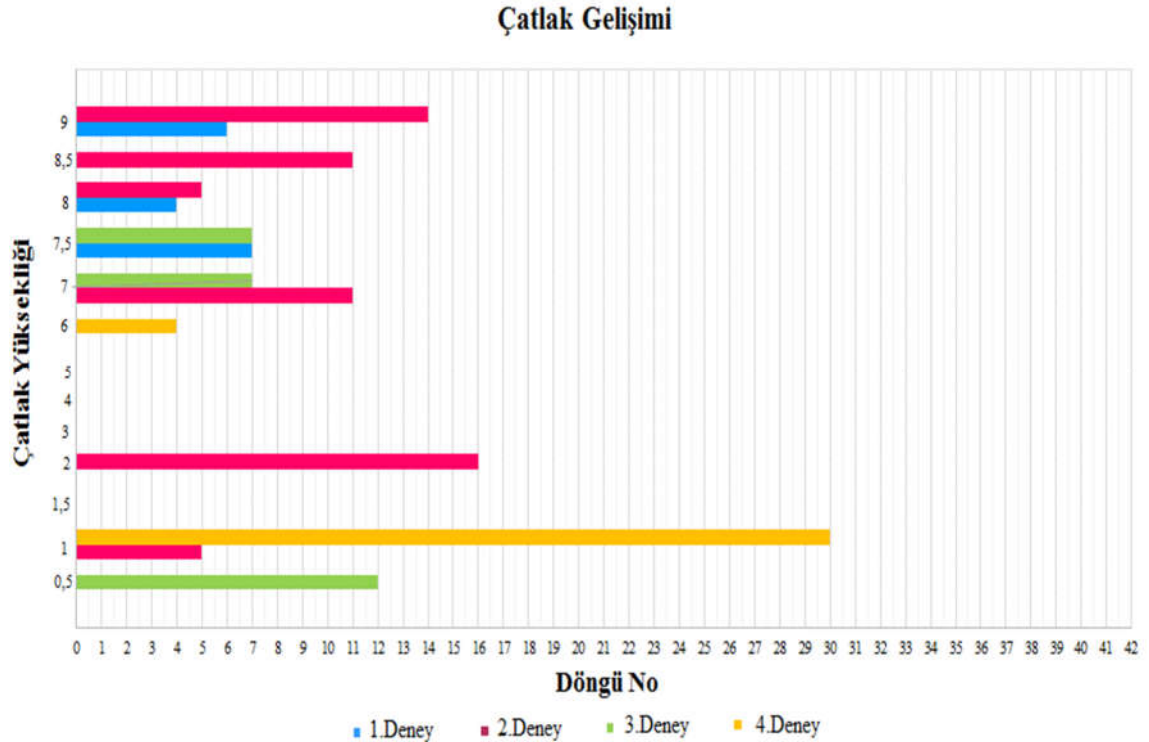


Şekil 3.68. S103 kolonu çekme yüzü çatlak gelişimi.

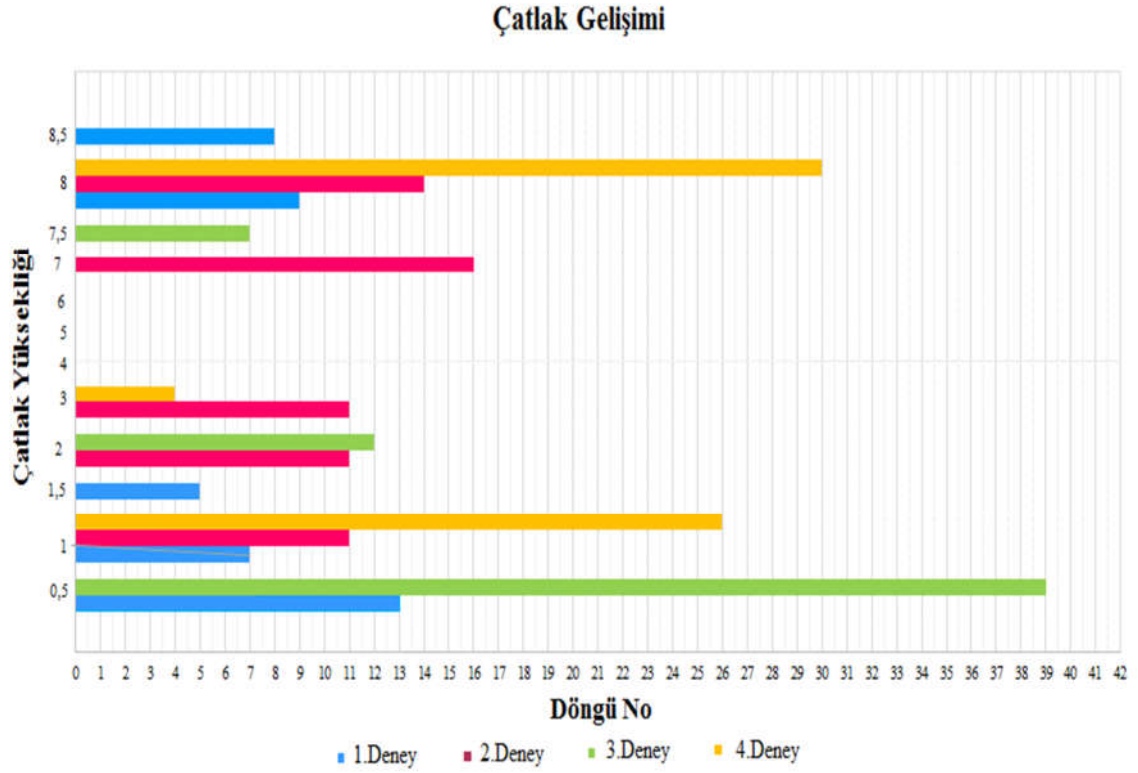


Şekil 3.69. S103 kolonu itme yüzü çatlak gelişimi.

S103 kolonunda ilk çatlaklar yatay yükün artırılmasıyla birleşim noktalarından başlayarak kolon orta bölgelerine doğru gelişim göstermekle birlikte çekme yüzünde 4h-6h, itme yüzünde 3,5h ve 6h seviyeleri arasında çatlak oluşumu gözlenmemiştir. İlk çatlak 1.deneyde 8,5h seviyesinde 6.döngüde, 2.deneyde 8,5h seviyesinde 5.döngüde, 3. deneyde 7.döngüde 8,5h seviyesine ve son olarak 4.deneyde ilk çatlak ise 4.döngüde S3-K2 kolon-kiriş birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. Buna göre en yoğun çatlak oluşumu çekme yüzünde 2. deneyde itme yüzünde ise 2. ve 3. deneylerde, görülmüş olup, en az çatlak yoğunluğu ise her iki yüz içinde 3.deneyde meydana gelmiştir. 4.deneyde kolonların üst düğüm noktaları ve 6.5h seviyesi arasındaki çatlaklar ise diğer deneylere göre daha geç döngülerde oluşmuştur. Çerçevelerin dış perde ile güçlendirildiği deneylerde alt düğüm noktalarında 2h seviyesine kadar çatlak oluşumu gözlenmemiştir. Hasarlı çerçevenin güçlendirilmesi deneyi olan 3. Deneyde ise çatlaklar her iki yüzde de alt ve üst düğüm noktalarında meydana gelmiştir. Ayrıca bütün deneyler incelendiğinde akma döngüsünden önceki döngülerde de çatlak oluşumu görülmüştür. Bununla birlikte S103 kolonu 4.deneyde en fazla hasar gören kolonlardan bir tanesi olup S103 kolonu 3. ve 4. deneylerde çelik bağ kirişin mesnetlendiği kolonlardandır.

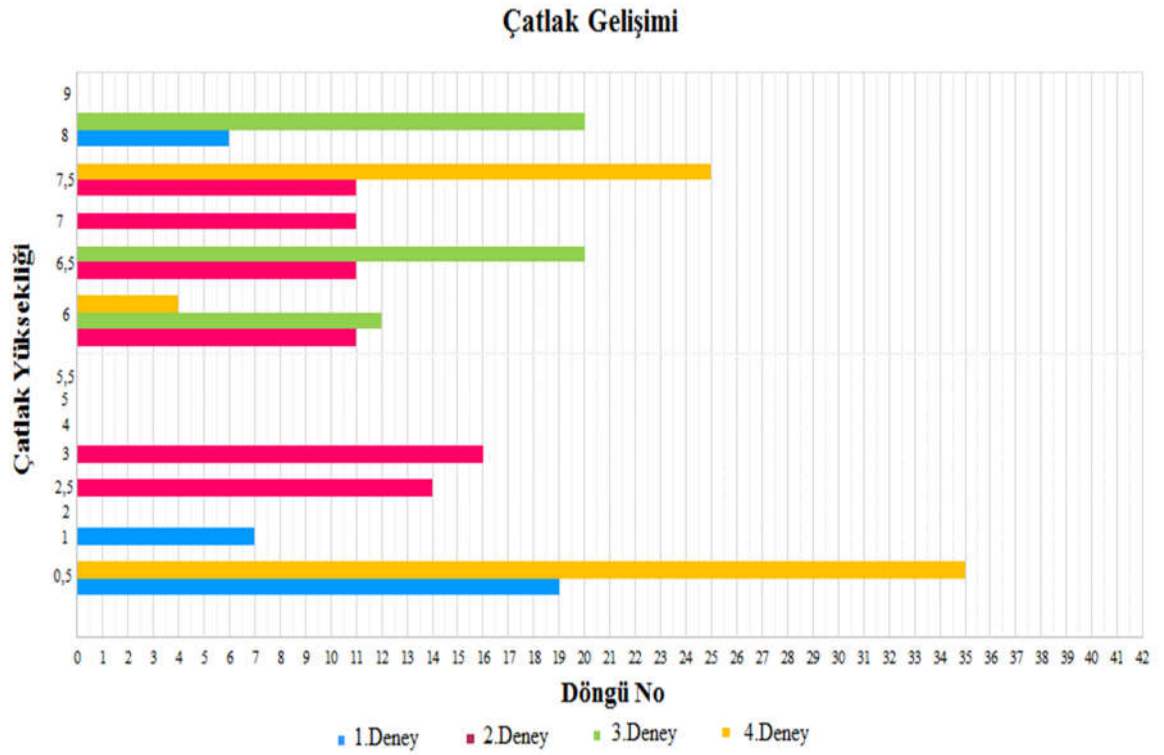


Şekil 3.70. S104 kolonu çekme yüzü çatlak gelişimi.

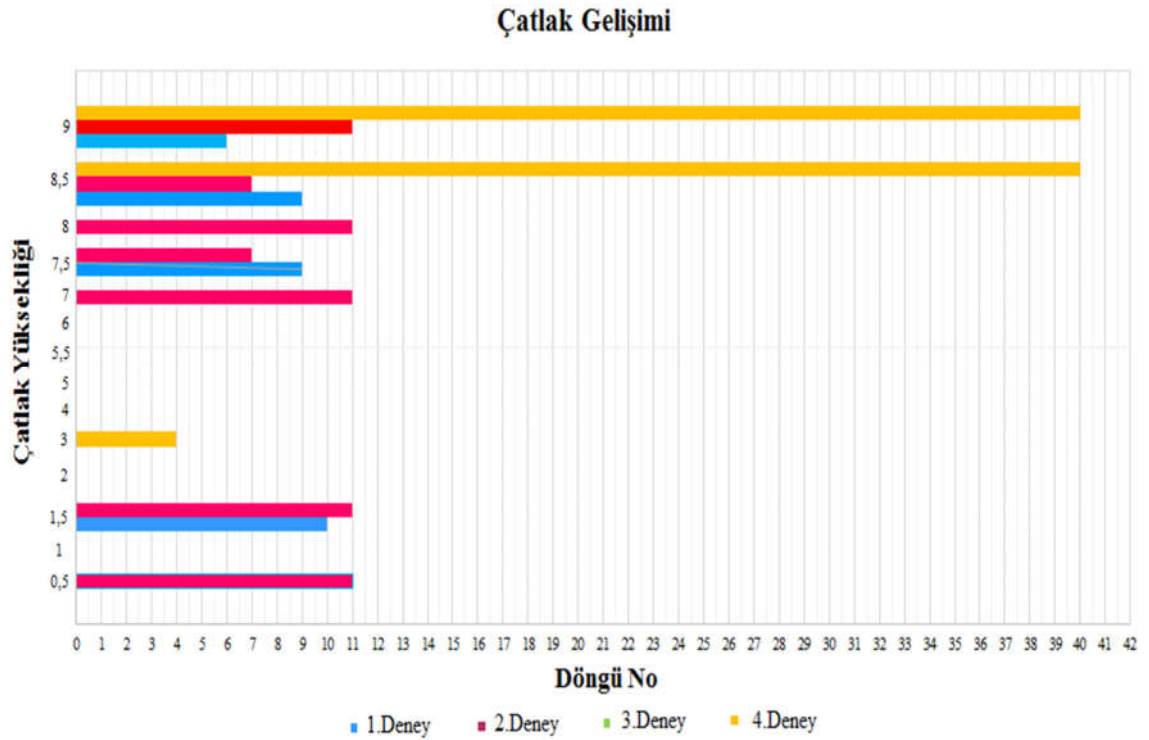


Şekil 3.71. S104 kolonu itme yüzü çatlak gelişimi.

S104 kolonunda da ilk çatlaklar birleşim noktalarından kolon orta bölgelerine doğru gelişmiştir. Çekme yüzünde 2h-6h ve itme yüzü 3h-7h seviyeleri arasında kolonda herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir. İlk çatlak 1.deneyde 4. döngüde 8h seviyesinde, 2.deneyde 5.döngüde 8h ve 1h seviyelerinde, 3. deneyde 12.döngüde 2h seviyesinde ve son olarak 4.deneyde ise 4.döngüde 3h ve 6h seviyelerinde gözlenmiştir. En yoğun çatlak oluşumu çekme yüzünde 2. deneyde görülürken itme yüzünde 1. ve 2. deneylerde görülmüştür. En az çatlak yoğunluğu ise çekme yüzünde 3.deneyde, itme yüzünde ise 3. ve 4.deneylerde görülmüştür. 4.deneyde kolonların üst düğüm noktaları ve 6.5h seviyesi arasındaki çatlaklar ise diğer deneylere göre daha geç döngülerde oluşmuştur. Bununla beraber 1.deney olan referans çerçeve deneyinde çekme yüzünde alt düğüm noktalarında 7,5h seviyesine kadar çatlak meydana gelmemişken referans numuneyle özdeş çerçeve deneyinin yapıldığı 2. deney çekme yüzünde de çatlaklar üst düğüm noktalarında yoğunlaşmıştır. Bütün deneylere bakıldığında akma döngüsünden önceki döngülerde de çatlak oluşumu görülmüştür.

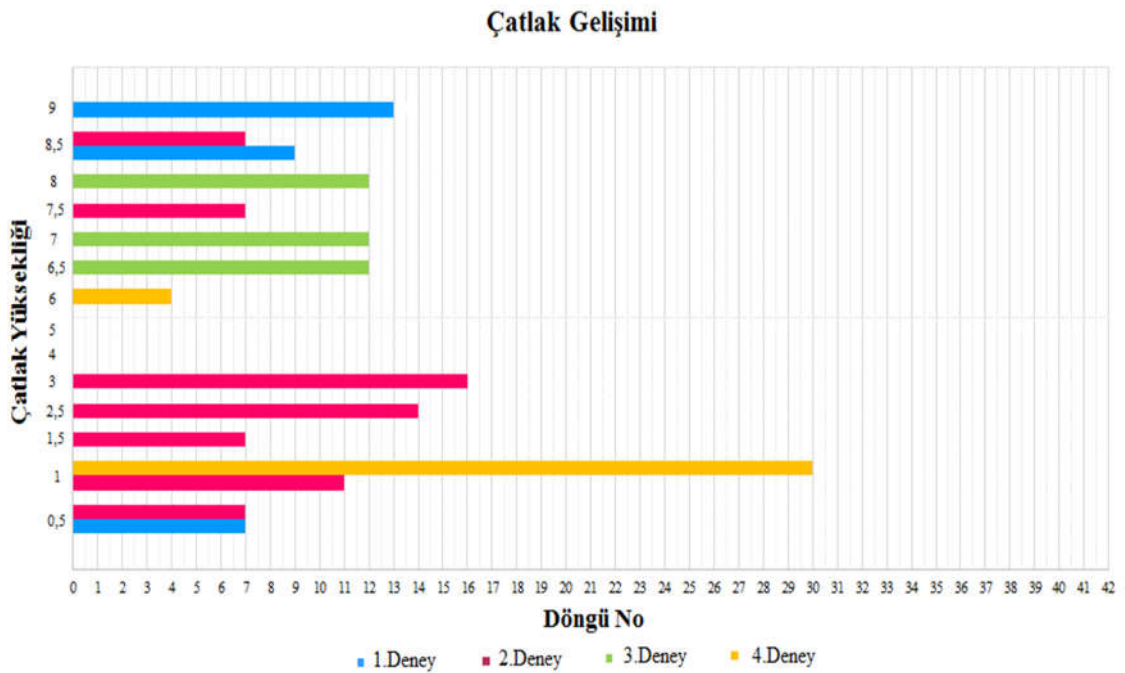


Şekil 3.72. S105 kolonu çekme yüzü çatlak gelişimi.

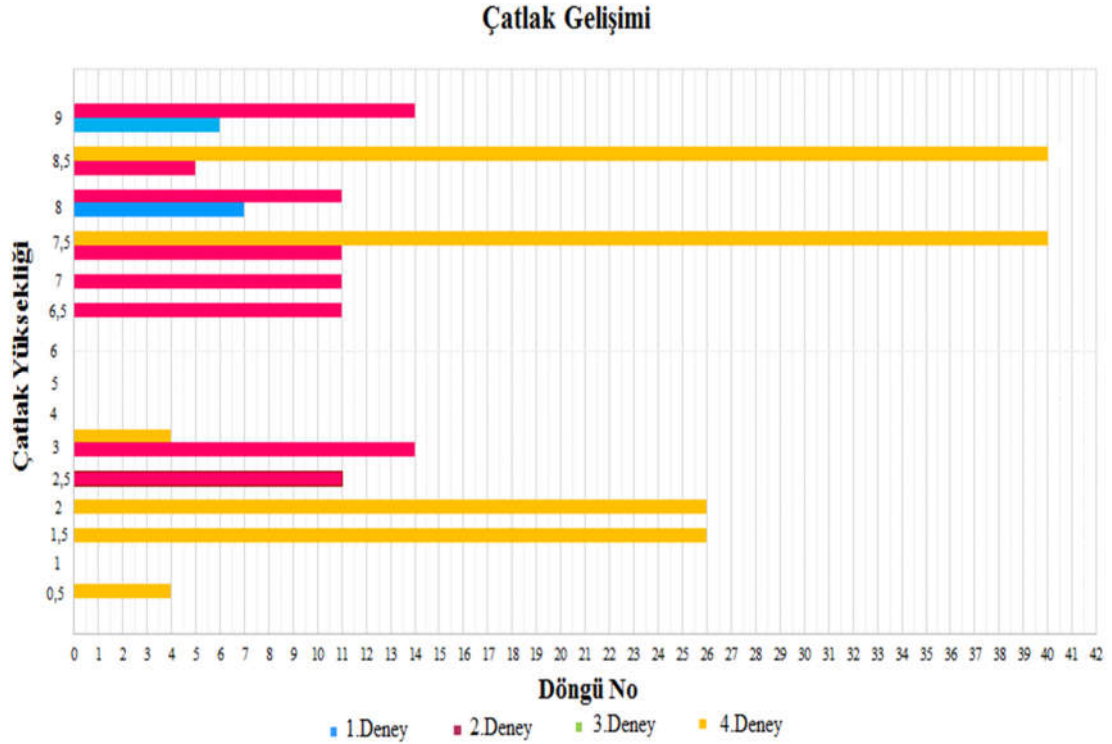


Şekil 3.73. S105 kolonu itme yüzü çatlak gelişimi.

S105 kolonu bütün deneylerde test edilen çerçevelerin orta kolonu olup yatay yükün artırılmasıyla birlikte ilk çatlaklar birleşim noktalarından kolon orta bölgelerine doğru ilerlemiştir. Çekme yüzünde 3h-6h ve itme yüzü 3h-7h seviyeleri arasında kolonda herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir. İlk çatlak 1.deneyde 5. döngüde 8h seviyesinde, 2.deneyde 7.döngüde 8,5h ve 7,5h seviyelerinde, 3. deneyde 12.döngüde 6h seviyesinde ve son olarak 4.deneyde ise 4.döngüde 3h ve 6h seviyelerinde gözlenmiştir. S105 kolonunun itme yüzünde çatlak dağılımı üst düğüm noktalarında yoğunlaşırken özellikle kolon orta bölgelerine doğru ilerledikçe azalmıştır. En yoğun çatlak oluşumu hem çekme hem de itme yüzünde 2. deneyde görülmüş olup, en az çatlak yoğunluğu ise çekme yüzünde birbirine yakinken itme yüzünde ise 3. deneyde görülmüştür. Özellikle 3.deneyde orta kolon itme yüzünde herhangi bir çatlak meydana gelmemiştir. Yine tüm deneyler incelendiğinde orta kolon çekme yüzünde 3.deneyde alt düğüm noktasında 6h seviyesine kadar herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir. Bununla birlikte tüm deneyler kıyaslandığında yine 3. deneyde çatlak oluşumu daha sonraki döngülerde oluşmuştur. 1.deneyde ise orta kolon çekme yüzünde çatlaklar alt düğüm noktasında sıklaşırken itme yüzünde ise kolonun üst düğüm noktasına yakın bölgelerde toplanmıştır. Tüm deneyler için akma döngüsünden önceki döngülerde çatlak oluştuğu gözlenmiştir.

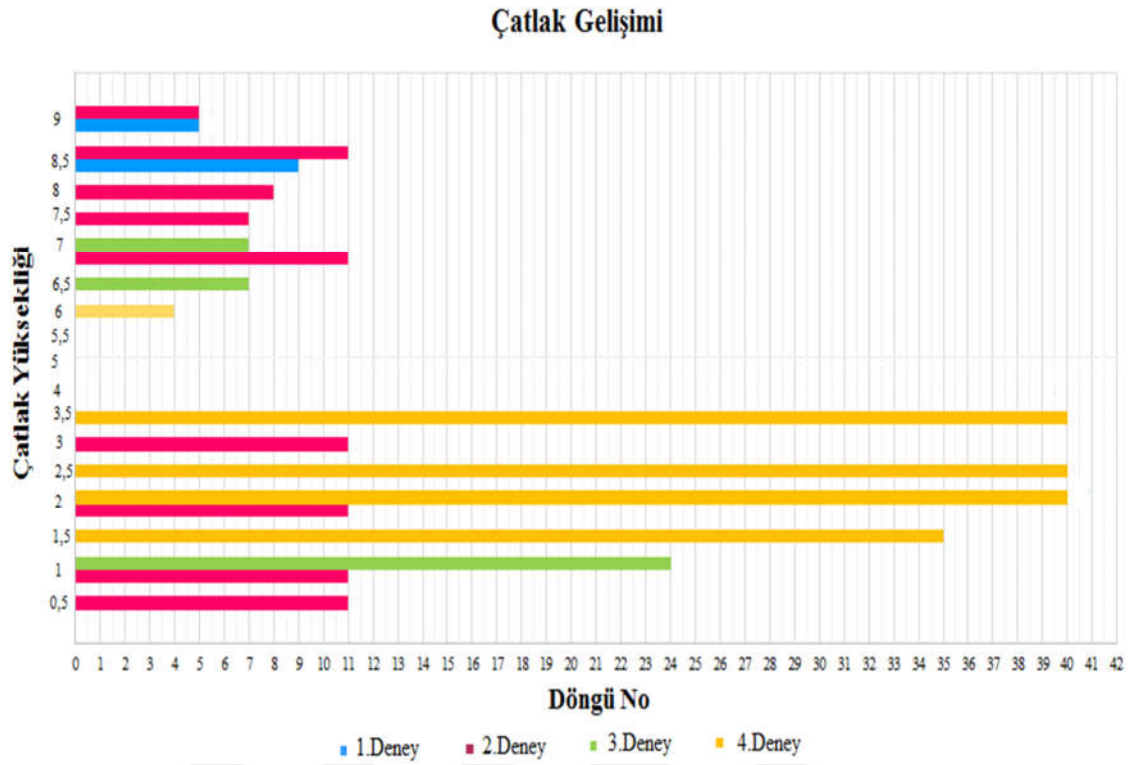


Şekil 3.74. S106 kolonu çekme yüzü çatlak gelişimi.

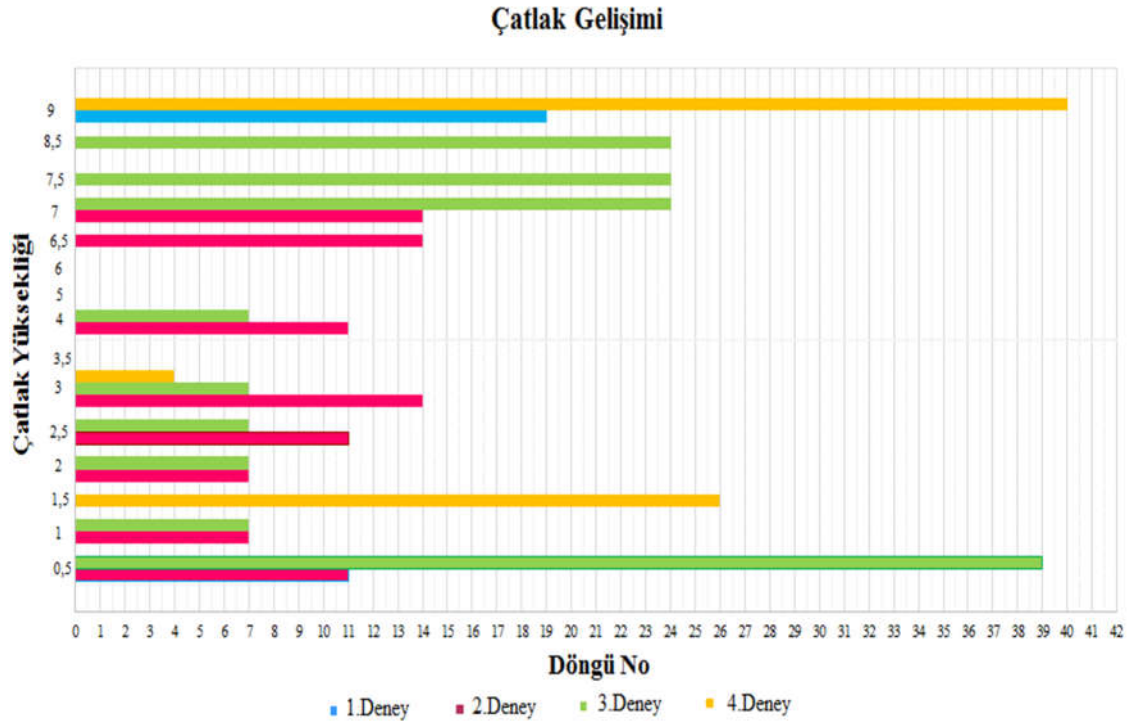


Şekil 3.75. S106 kolonu itme yüzü çatlak gelişimi.

S106 kolonunda yatay yükün artmasıyla birlikte ilk çatlaklar birleşim noktalarından başlayarak kolon orta bölgelerine doğru ilerlemiştir. Çekme yüzünde 3h-6h ve itme yüzü 3h-6,5h seviyeleri arasında kolonda herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir. İlk çatlak 1.deneyde 6. döngüde kolon-kiriş birleşim bölgesinde, 2.deneyde 5.döngüde 8,5h seviyesinde, 3. deneyde 12.döngüde 8h seviyesinden başlayarak 6,5h seviyesine kadar devam etmiş ve son olarak 4.deneyde ise 4.döngüde 3h ve 6h seviyeleriyle birlikte temel-kolon birleşim bölgesinde gözlenmiştir. En yoğun çatlak oluşumu hem çekme hem de itme yüzünde 2. deneyde görülürken, en az çatlak yoğunluğu çekme yüzünde 4.deney itme yüzünde ise 3. deneyde itme yüzünde hiç çatlak oluşmayarak görülmüştür. Böylece S106 kolonunda dış perdeli güçlendirme deneylerinde diğer deneylere göre daha az çatlak oluşumu tespit edilmiştir. S106 kolonu itme yüzü incelendiğinde 1. Deneyde çatlak oluşumu sadece üst düğüm noktalarıyla sınırlı kalırken çekme yüzünde temel-kolon birleşim bölgesinde de çatlak oluşumu gözlenmiştir. Benzer bir durum yine çekme yüzünde 3. deneyde de kolon üst düğüm noktalarında gelişmiştir. Bütün deneyler kıyaslandığında 4. Deneyde çatlak oluşumu daha geç döngülerde meydana gelmiştir. Bütün deneylerde akma döngüsünden önceki döngülerde de çatlak oluşumu görülmüştür.

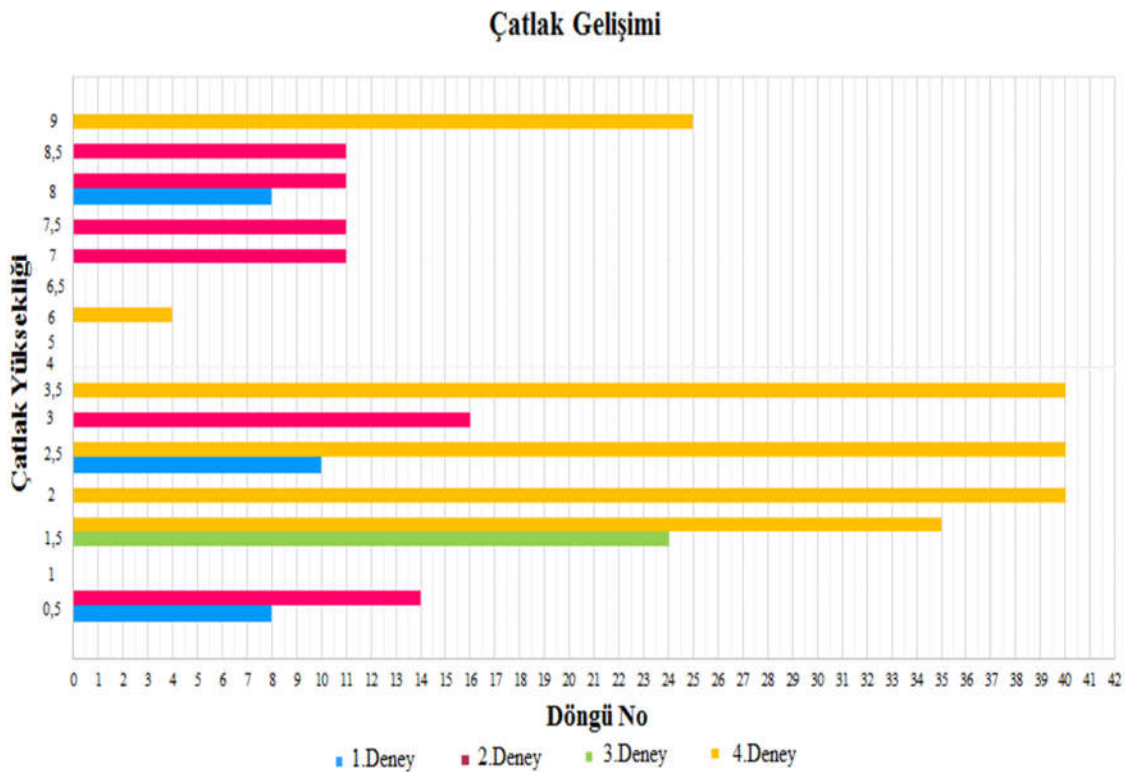


Şekil 3.76. S107 kolonu çekme yüzü çatlak gelişimi.

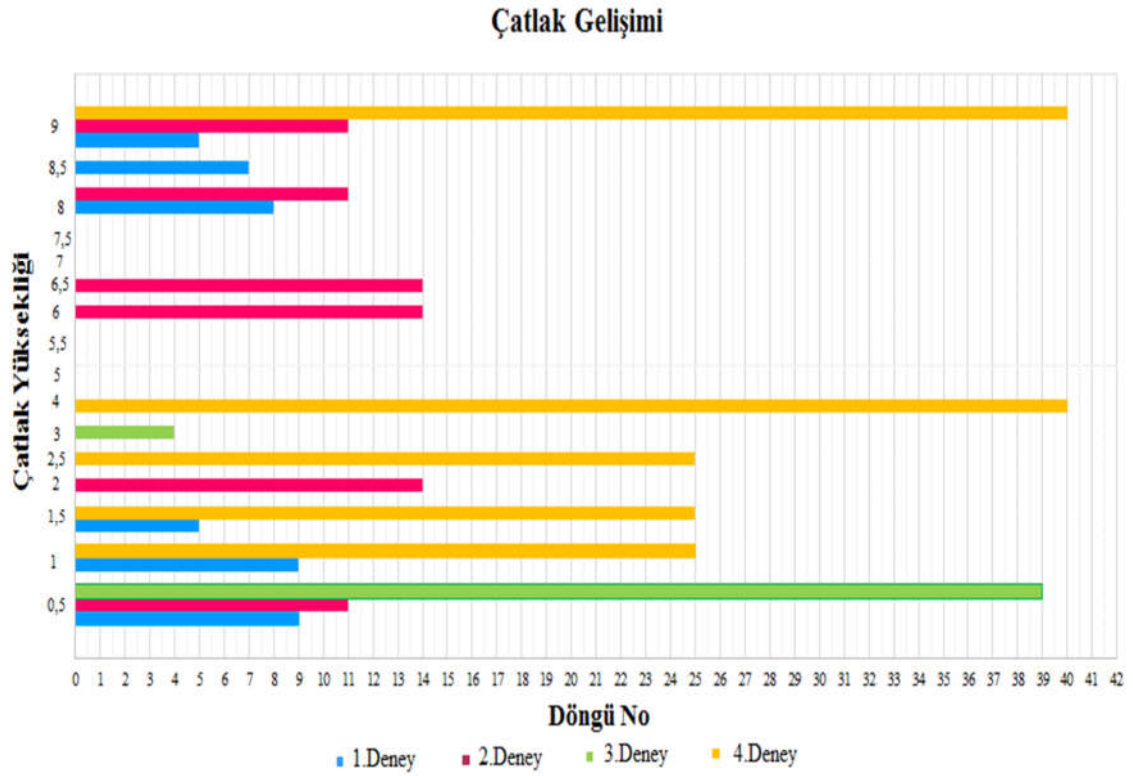


Şekil 3.77. S107 kolonu itme yüzü çatlak gelişimi.

S107 kolonunda ilk çatlaklar genellikle birleşim noktalarından kolon orta bölgelerine doğru yayılmıştır. Çekme yüzünde 3,5h-6h ve itme yüzü 4h-6,5h seviyeleri arasında kolonda herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir. İlk çatlak 1.deneyde 5. döngüde 9h seviyesinde, 2.deneyde de yine 5.döngüde 9h seviyesinde, 3. deneyde 12.döngüde 6h seviyesinde ve son olarak 4.deneyde S7-K5 kolon-kiriş birleşim bölgesinde gözlenmiştir. En yoğun çatlak oluşumu her iki yüz içinde 2. deneyde görülmüş olup, en az çatlak yoğunluğu ise yine iki yüz için de 1. deneyde görülmüştür. S107 kolonu çekme ve itme yüzünde 1. deney için çatlaklar sadece kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşmuştur. Bunun dışında itme yüzünde hemen hemen her seviyede 3. deneyden kaynaklı oldukça yoğun bir çatlak oluşumu tespit edilmiştir. Çekme yüzü alt düğüm noktalarında ise 4. deneyden kaynaklı çatlaklar meydana gelmiştir. Diğer deneylerle karşılaştırıldığında, 3. deney sonra ise 4.deneyde çatlak oluşumu daha geç döngülerde oluşmuştur. Bu nedenle S107 kolonunda çatlakların dış perdeli güçlendirme deneylerinde daha geç döngülerde oluştuğu tespit edilmiştir. Deneylerin tamamı incelendiğinde çatlakların akma döngüsünden önceki döngülerde de oluştuğu gözlenmiştir.

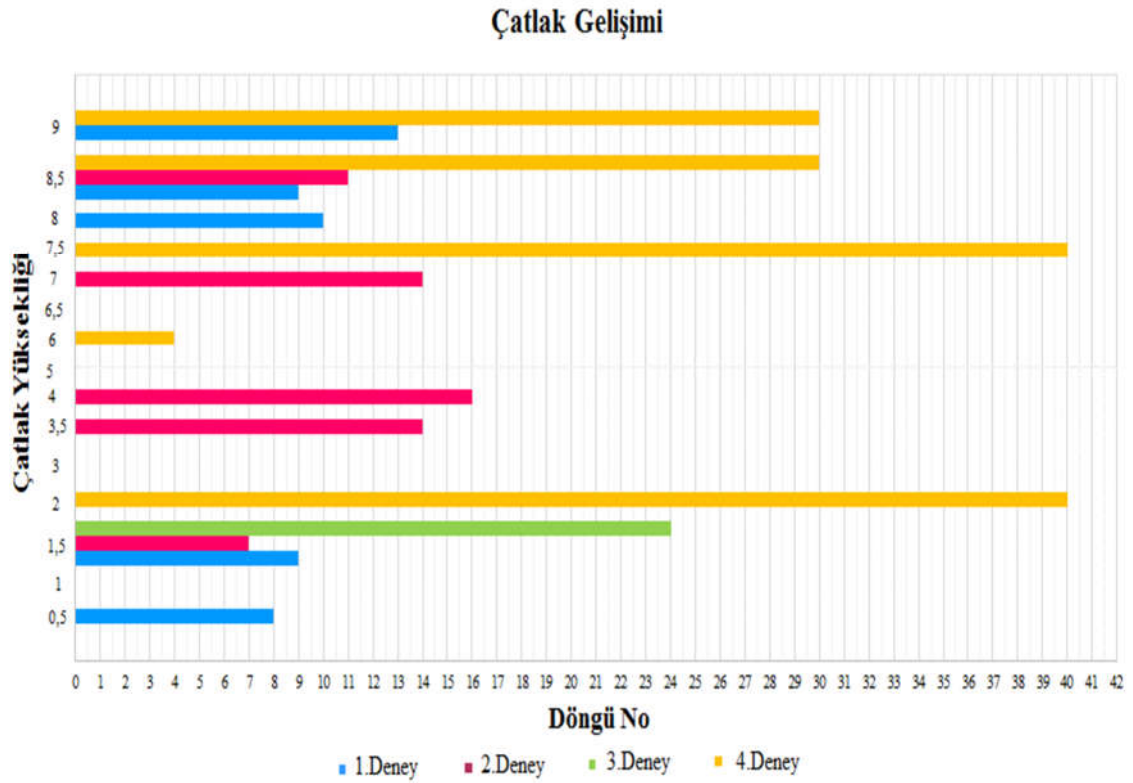


Şekil 3.78. S108 kolonu çekme yüzü çatlak gelişimi.

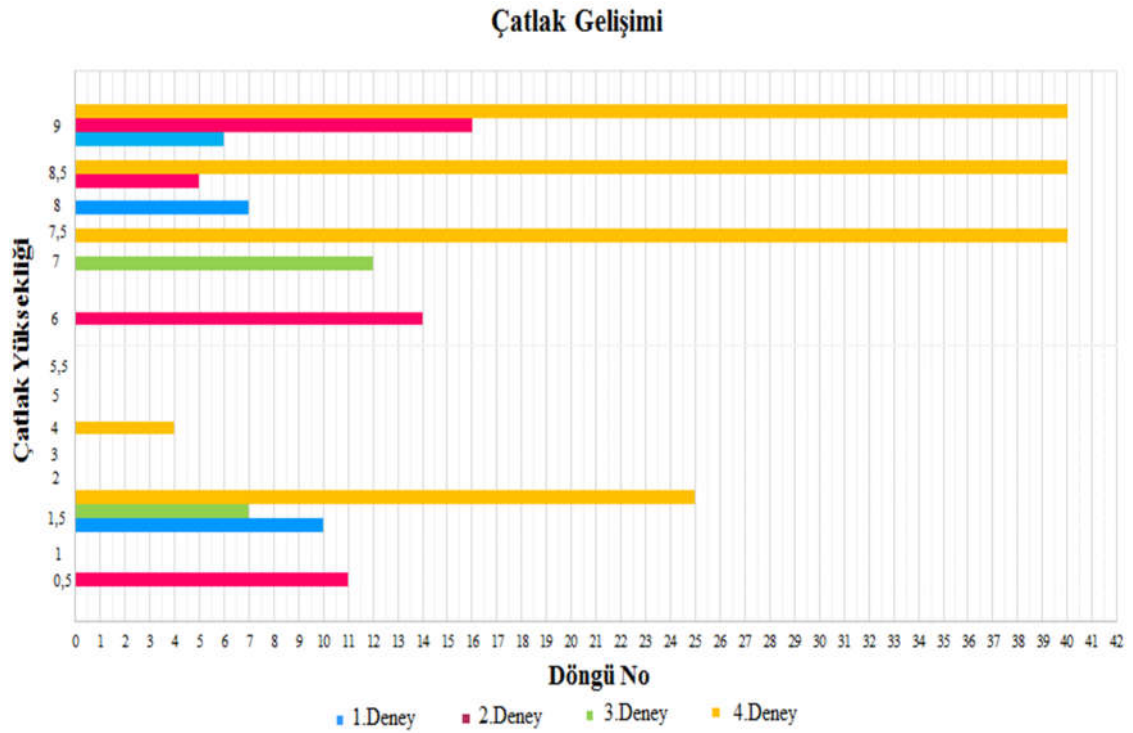


Şekil 3.79. S108 kolonu itme yüzü çatlak gelişimi.

S108 kolonunda ilk çatlaklar birleşim noktalarından kolon orta bölgelerine doğru gelişmiştir. Çekme yüzünde 3,5h-6h ve itme yüzü 4h-6h seviyeleri arasında kolonda herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir. İlk çatlak 1.deneyde 5. Döngüde 9h ve 1,5h seviyelerinde, 2.deneyde de 11.döngüde 9h seviyesinde başlayan çatlaklar 7h mertebesine kadar inmiş ayrıca temel-1h seviyesi arasında da çatlak oluşmuştur, 3. deneyde 24.döngüde 1,5h seviyesinde ve son olarak 4.deneyde S8-K6 kolon-kiriş birleşim bölgesinde gözlenmiştir. En yoğun çatlak oluşumu çekme yüzünde 2. ve 4. deneylerdeyken, itme yüzünde ise 2.deneydedir. Çatlak yoğunluğunun en az görüldüğü deney ise hem çekme yüzü hem de itme yüzü için 3.deneydir. Öyle ki 3.deneyde kolon çekme yüzünde sadece 1,5h seviyesinde çatlak gözlenirken itme yüzünde ise yalnızca 0,5h ve 3h seviyesinde çatlak gözlenmiştir. 2.deneyde ise her iki yüz içinde çatlak yoğunluğu kolon üst düğüm noktalarında artmıştır. Diğer deneylerle kıyaslandığında çatlak oluşumunun en geç 4. deneydeki döngülerde meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca tüm deneylerde akma döngüsünden önceki döngülerde çatlak oluşumu görülmüştür.

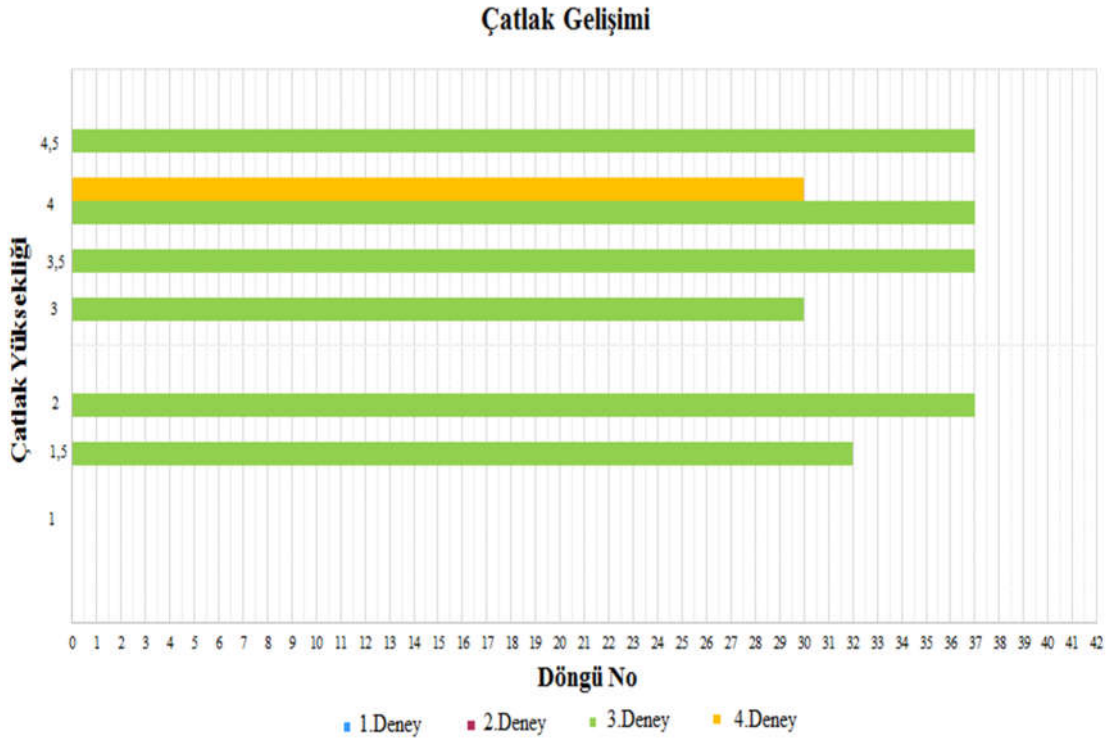


Şekil 3.80. S109 kolonu çekme yüzü çatlak gelişimi.

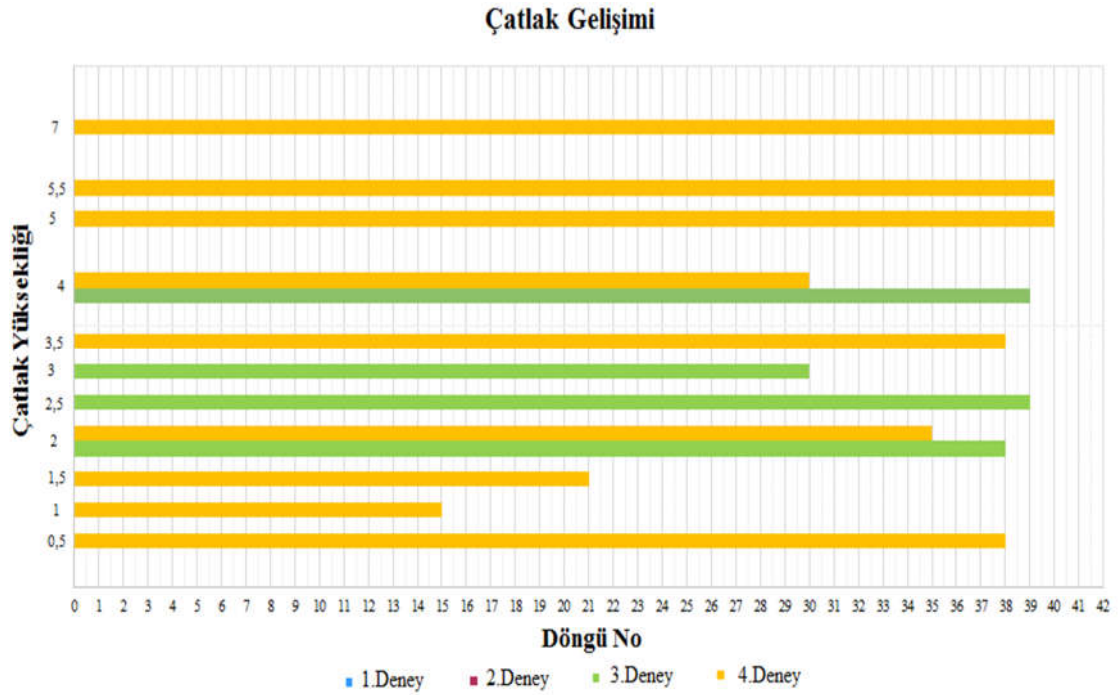


Şekil 3.81. S109 kolonu itme yüzü çatlak gelişimi.

S109 kolonunda oluşan ilk çatlaklar birleşim noktalarında başlamış daha sonraki döngülerde ise kolon orta bölgelerine doğru ilerlemiştir. Her iki yüzde de 4h-6h seviyeleri arasında kolonda herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir. İlk çatlaklar; 1.deneyde 6. döngüde kolon-kiriş birleşim bölgesinde (9h seviyesinde), 2.deneyde de 5.döngüde 9h seviyesinde ve kolon-kiriş birleşim bölgesinde, 3. deneyde 12.döngüde 7h seviyesinde ve son olarak 4.deneyde 4.döngüde 6h ve 3h seviyelerinde gözlenmiştir. En yoğun çatlak oluşumu her iki yüzde de 2. ve 4. deneylerde görülürken, çatlak yoğunluğunun en az görüldüğü deney 3. deneydir. S109 kolonunda 3. deneyde çekme yüzünde sadece 1,5h seviyesinde çatlak oluşumu tespit edilirken itme yüzünde ise 1,5h ve 7h seviyelerinde çatlak oluştuğu tespit edilmiştir. 4.deneyde ise çatlak oluşumu genellikle kolon üst düğüm noktalarında gözlenmiştir. Temel-kolon birleşim bölgesinde ise çekme yüzünde çatlak sadece 1.deneyde, itme yüzündeyse sadece 2.deneyde görülmüştür. Bununla birlikte genel olarak S109 kolonunda her iki yüzde de çatlaklar kolon üst düğüm noktasında yoğunlaşmıştır. Bütün deneyler incelendiğinde çatlak oluşumunun 4. deneyde diğer deneylere göre daha geç döngülerde gerçekleştiği görülmüştür. Ayrıca tüm deneylerde akma döngüsünden önceki döngülerde çatlak oluştuğu gözlenmiştir.

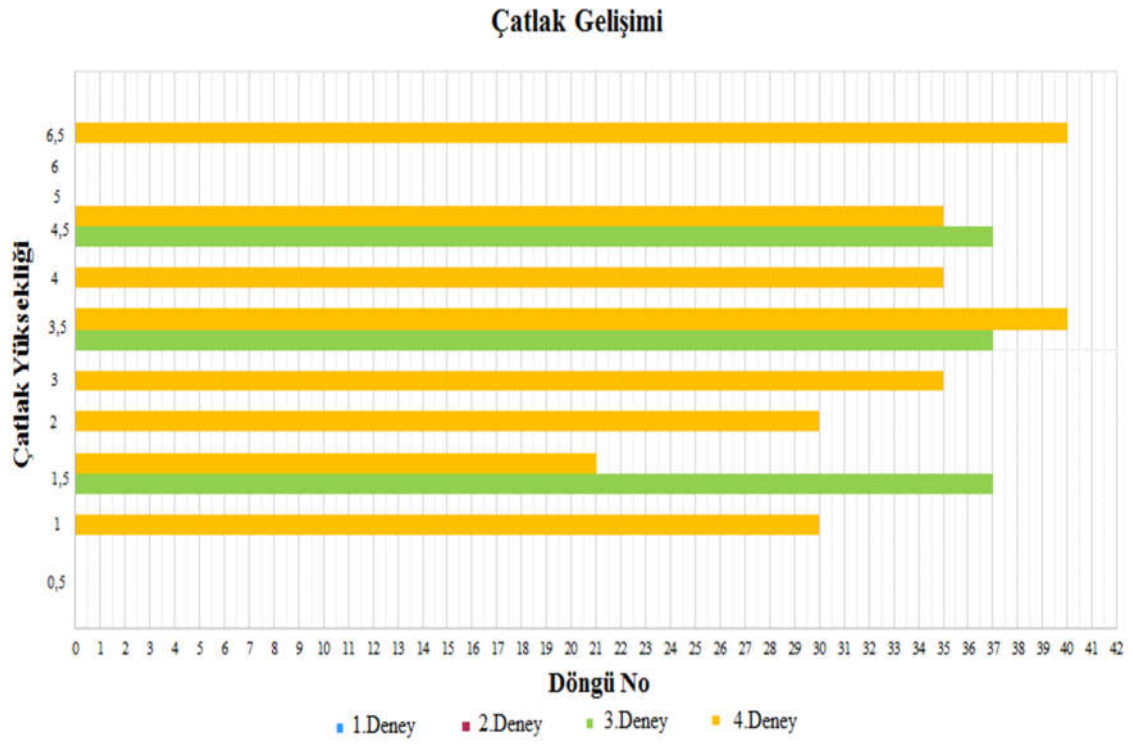


Şekil 3.82. P1 perdesi çekme yüzü çatlak gelişimi.

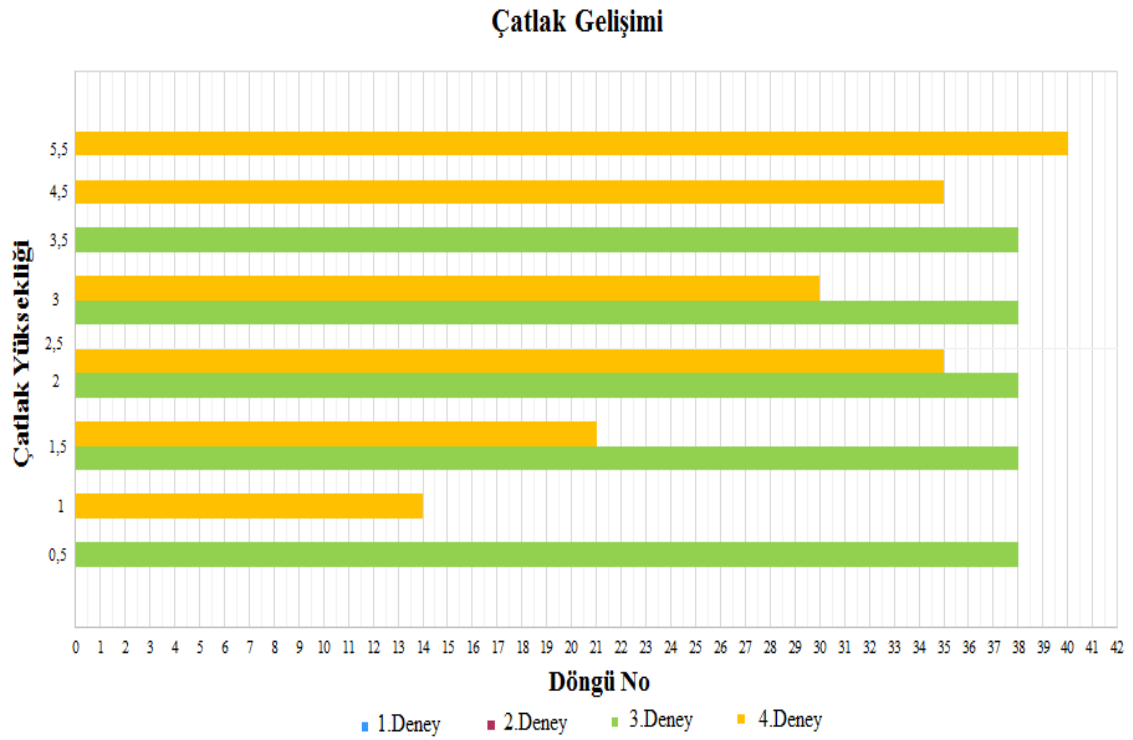


Şekil 3.83. P1 perdesi itme yüzü çatlak gelişimi.

P1 perdesinde meydana gelen ilk çatlaklar genellikle temel-perde tabanı seviyesinde oluşmuştur. Çekme yüzünde 4,5h-9h seviyeleri arasında ve itme yüzünde 7h-9h seviyeleri arasında perdede herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir. İlk çatlaklar; 3.deneyde 32. döngüde 1h-2h seviyesinde, 4.deneyde ise 15.döngüde 1h seviyesinde gözlenmiştir. En yoğun çatlak oluşumu çekme yüzünde 3. deneyde görülürken, itme yüzünde ise 4.deneyde görülmüştür. Çatlak yoğunluğunun en az görüldüğü deney ise çekme yüzünde 4. deney iken itme yüzünde ise 3. deneydir. 4. deneyden kaynaklı çekme yüzünde sadece 4h seviyesinde çatlak oluşumu tespit edilirken itme yüzünde ise 4. deneyden kaynaklı 2h-4h seviyesi arasında çatlak oluşumu tespit edilmiştir. P1 perdesi çekme yüzünde 0-1,5h arasında her iki deneyde de herhangi bir çatlak oluşmamışken itme yüzünde 0,5h seviyesinden itibaren çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte her iki yüzde de temel-perde tabanı birleşim bölgelerinde ayrılmalar meydana gelmiştir. P1 perdesinde 3.deneyde temel-perde birleşim bölgesinde açılma 15 mm değerini aşmıştır. Her iki dış perdeli güçlendirme deneyi incelendiğinde perdelerdeki çatlak oluşumlarının genel olarak daha geç döngülerde gerçekleştiği görülmüştür. Ayrıca 4.deneyde P1 perdesinin temel-perde tabanı birleşim bölgesindeki ayrılmanın oldukça artması nedeniyle deney sonlandırılmıştır.



Şekil 3.84. P2 perdesi çekme yüzü çatlak gelişimi.



Şekil 3.85. P2 perdesi itme yüzü çatlak gelişimi.

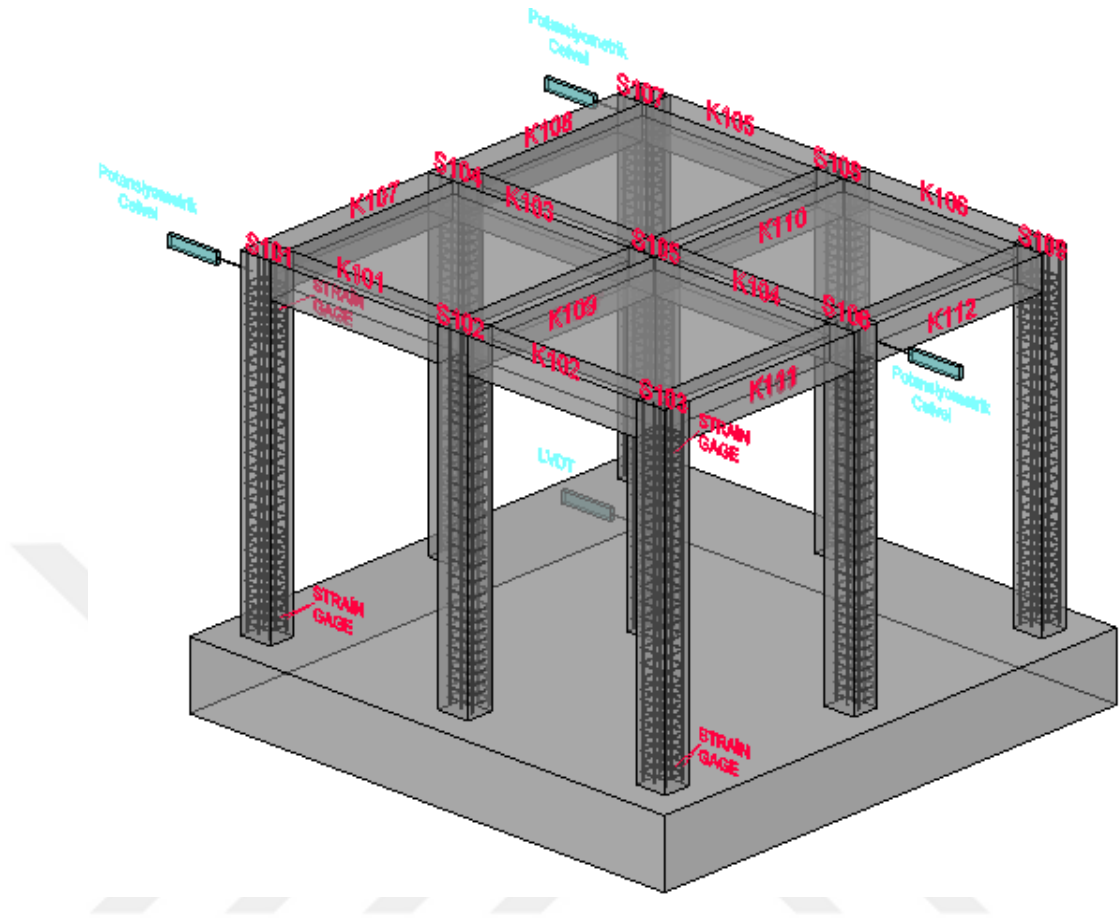
P2 perdesinde ilk çatlaklarda yine temel-perde tabanı seviyesinde oluşmuştur. Çekme yüzünde 6,5h-9h seviyeleri arasında ve itme yüzünde 5,5h-9h seviyeleri arasında perdede herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir. İlk çatlaklar; 3.deneyde 37. döngüde 0,5h seviyesinde, 4.deneyde ise 14.döngüde 1h seviyesinde gözlenmiştir. En yoğun çatlak oluşumu çekme yüzünde 4. deneyde görülürken, itme yüzünde ise 3.deneyde görülmüştür. Çatlak yoğunluğunun en az görüldüğü deney ise çekme yüzünde 3. deneydir. P2 perdesi çekme yüzünde çatlaklar 1h seviyesinde oluşmaya başlamışken itme yüzünde ise 0,5h seviyesinden itibaren çatlak oluşumu gözlenmiştir. Bununla birlikte P2 perdesinde de her iki yüzde temel-perde tabanı birleşim bölgelerinde ayrılmalar meydana gelmiştir. Ayrıca 3.deneyde P2 perdesindeki temel- perde tabanı birleşim bölgesindeki ayrılma belirginleştiğinden perde temelinden kopmadan önce deney sonlandırılmıştır. Her iki dış perdeli güçlendirme deneyi incelendiğinde perdelerdeki çatlak oluşumlarının genel olarak daha geç döngülerde gerçekleştiği görülmüştür.

3.1.9. Deneysel Birim Deformasyon Ölçümü

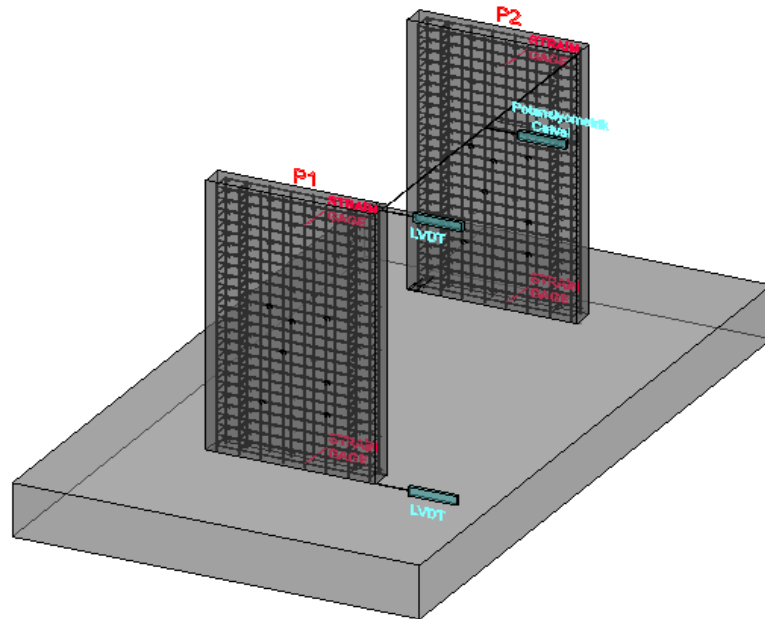
Tüm çerçeve numunelerinin S101 ve S103 kolonlarında temel ve kiriş seviyesine yakın şekilde boyuna donatıların alt ve üst noktaları ile bu donatıların etriyelerine birer adet olmak üzere toplamda her bir kolona 4 adet strain gauge yapıştırılmıştır. Aynı şekilde güçlendirme amacıyla kullanılan her iki perdenin boyuna donatılarının temel ve perde üst seviyeleriyle enine donatılarına birer adet olmak üzere her bir perdeye 4 adet strain gauge yerleştirilmiştir (Şekil 3.86, 3.87 ve 3.88). Bu sayede hem kolonların hem de perdelerin birim şekil değiştirme değerleri elde edilerek referans, hasarlı ve hasarsız çerçevelerin dış perdelerle güçlendirilmesine göre oluşan hasar seviyesi değerlendirmeye alınmıştır.



Şekil 3.86. Kolonlara ve perdelere temel seviyesinde yerleştirilen strain gaugeler.



Şekil 3.87. Çerçevelerin kolonlarına yerleştirilen strain gaugeler [124].

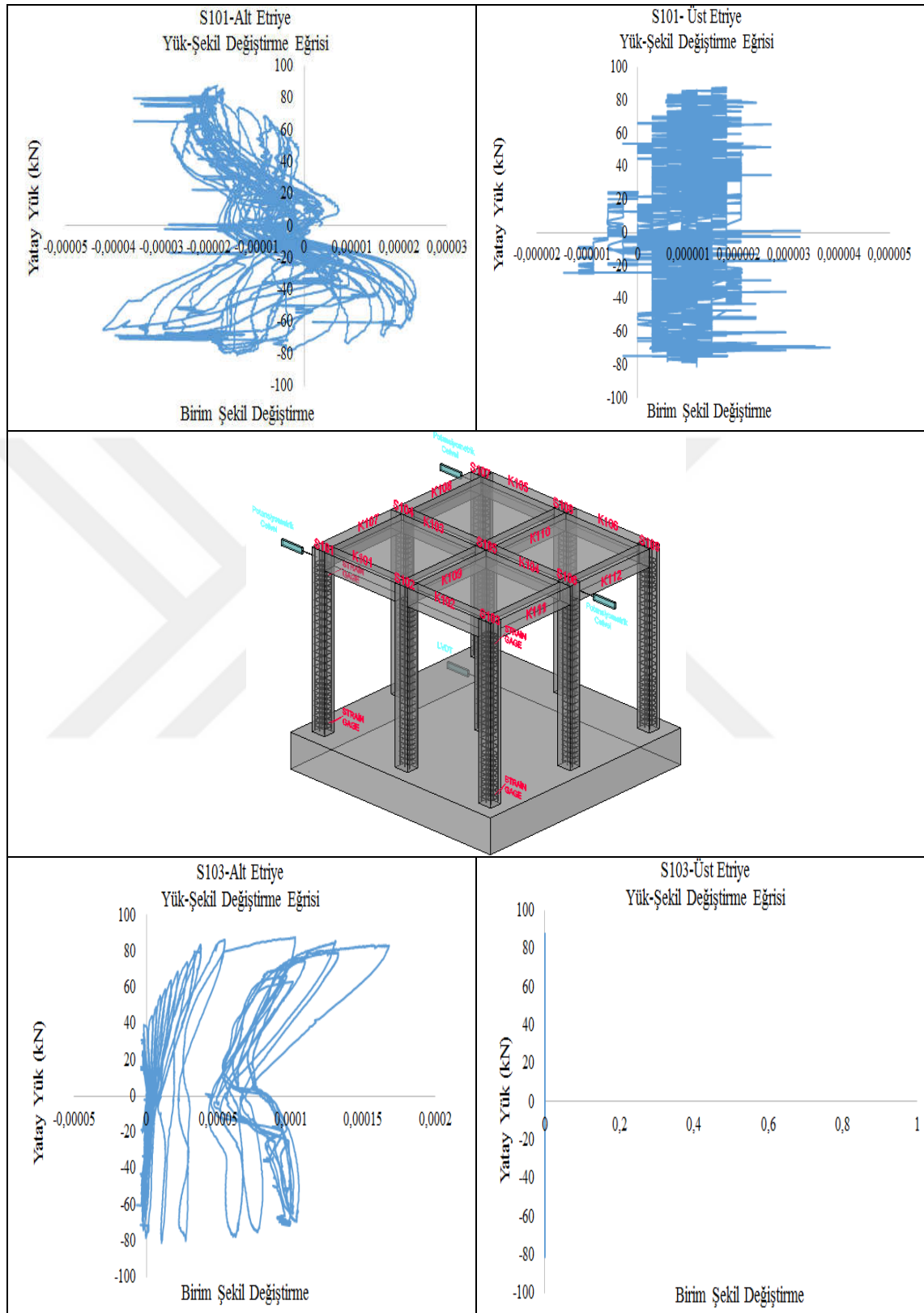


Şekil 3.88. Perdelere yerleştirilen strain gaugeler [124].

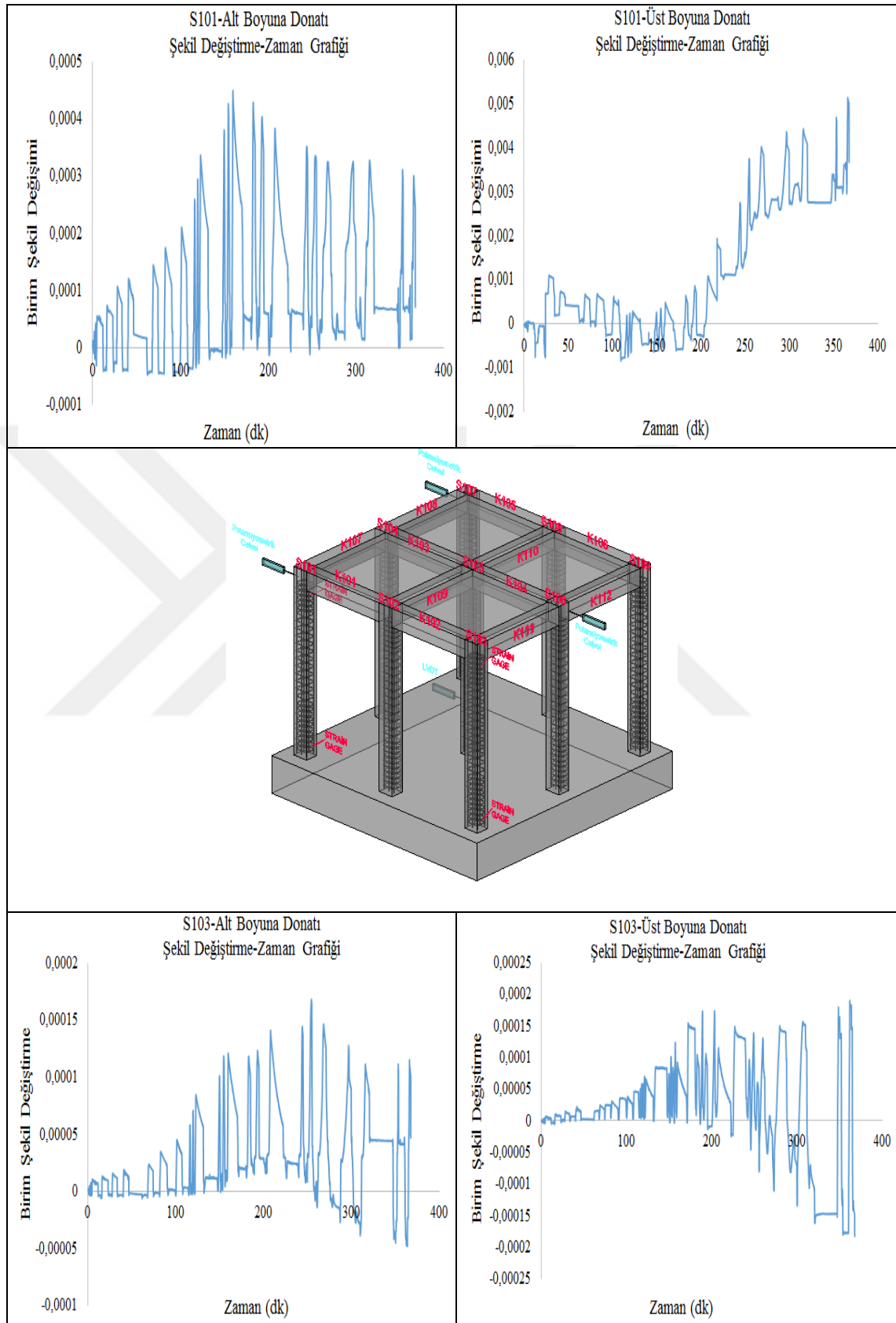
önceki bölümlerde de anlatıldığı üzere 1 ve 2 nolu deneylerde S101 ve S103 kolonların alt kısmında kolon-temel birleşim noktasının hemen üzerindeki enine ve boyuna donatılar ile aynı kolonların üst kısımlarında kiriş altı seviyesinin hemen altında bulunan enine ve boyuna donatılara birer adet strain gauge yerleştirilmiştir. Böylece söz konusu deneylerin her biri için 8 adet strain gauge'den okuma elde edilmiştir. 3 ve 4 nolu güçlendirme deneylerinin her birinde ise çerçeveler için yukarıda bahsedildiği gibi S101 ve S103 kolonlarına aynı şekilde strain gauge yerleşimi yapılmıştır. Dış perdelerde de yine her bir perdenin perde-temel birleşim noktasının hemen üzerindeki enine ve boyuna donatılar ile aynı perdelerin üst kısımlarında yer alan enine ve boyuna donatılara birer adet olmak üzere her bir perdeye 4 adet strain gauge yerleştirilmiştir. Böylece her bir güçlendirme deneyinde toplam 16 adet strain gauge'den veri elde edilmiştir. Her bir deneyden ve strain gauge yerleştirilen elemanlardan ayrı ayrı toplanan veriler işlenerek yatay yük-birim şekil değiştirme ilişkisi ve birim şekil değiştirme-zaman ilişkisi grafikleri elde edilmiştir. Böylece her döngü sonunda boyuna donatılarda uzama veya kısalma durumu gözlenmiştir. Elde edilen grafikler incelendiğinde genellikle kısalma durumunda uzamaya göre daha az şekil değiştirme meydana geldiği görülmektedir. Etriyelerde ise her döngü sonunda genellikle uzama durumu ortaya çıktığı için grafiklerde de daha simetrik bir oluşum göze çarpmaktadır. Birim şekil değiştirme- zaman ilişkisine ait grafiklerde her döngü sonrasında yatay kuvvetin ve deplasmanın artmasına bağlı olarak birim şekil değiştirmedeki kademeli artış net bir şekilde izlenebilmektedir. Böylece her bir deney için kolon ve perdelerle yerleştirilen strain gaugelerden alınan veriler yardımıyla yatay yük-birim şekil değiştirme, birim şekil değiştirme-zaman, birim şekil değiştirme-ötelenme oranı grafikleri çizilmiştir. Bununla birlikte aşağıda Tablo 3.7'ye göre yine her bir deney için farklı hasar sınırlarında kolonlarda ve perdelerdeki birim şekil değiştirme değerleri elde edilmiştir.

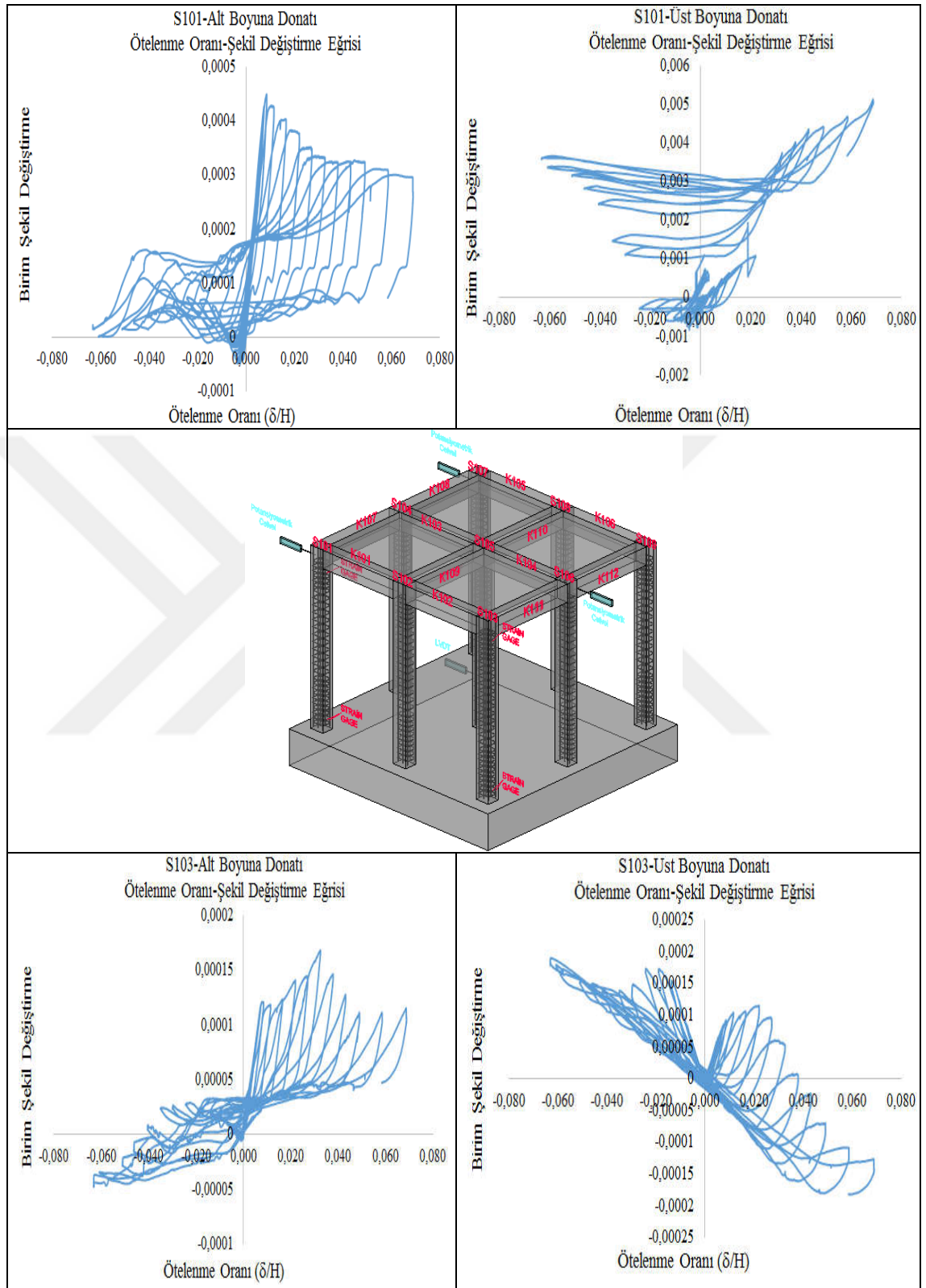
Tablo 3.7. DBYBHY 2007'ye göre birim şekil değiştirme ve görelî kat ötelemesi sınırları [4].

Hasar Sınırı	Beton ve Donatı Çeliği için Basınç Kısılması	Donatı Çeliği için Çekme Uzaması	Görelî Kat Ötelemesi Oranı
Minimum Hasar Sınırı	$\varepsilon_{cu} = 0.0035$	$\varepsilon_s = 0.01$	$\delta/h = 0.01$
Güvenlik Sınırı	$\varepsilon_{cg} = 0.0135$	$\varepsilon_s = 0.04$	$\delta/h = 0.03$
Göçme Sınırı	$\varepsilon_{cg} = 0.0180$	$\varepsilon_s = 0.06$	$\delta/h = 0.04$

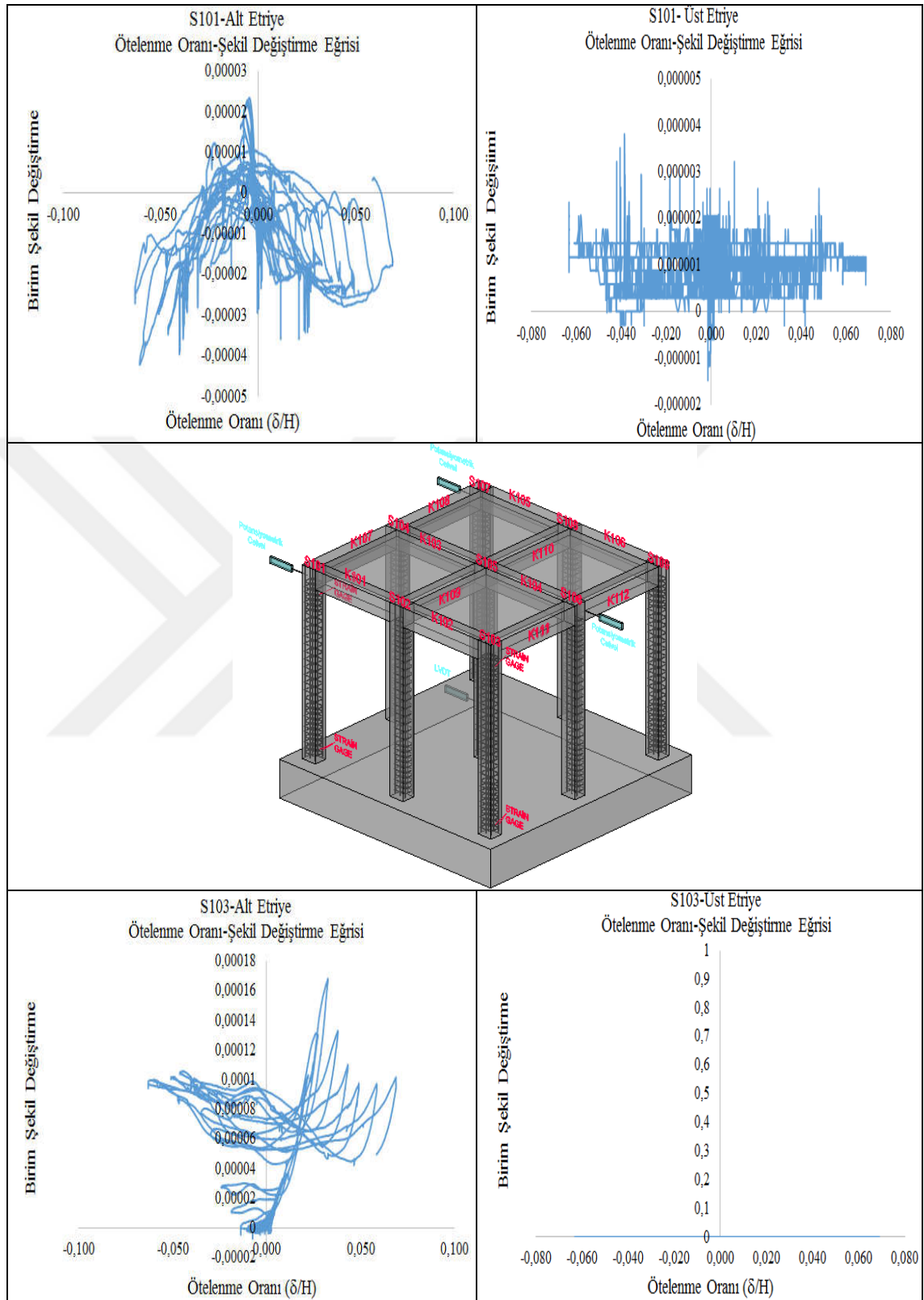


Şekil 3.90. 1.Deney için yatay yük ve kolon etriye birim şekil değiştirme eğrisi.





Şekil 3.93. 1.Deney için kolon boyuna donatı birim şekil değiştirme ötelenme oranı eğrisi



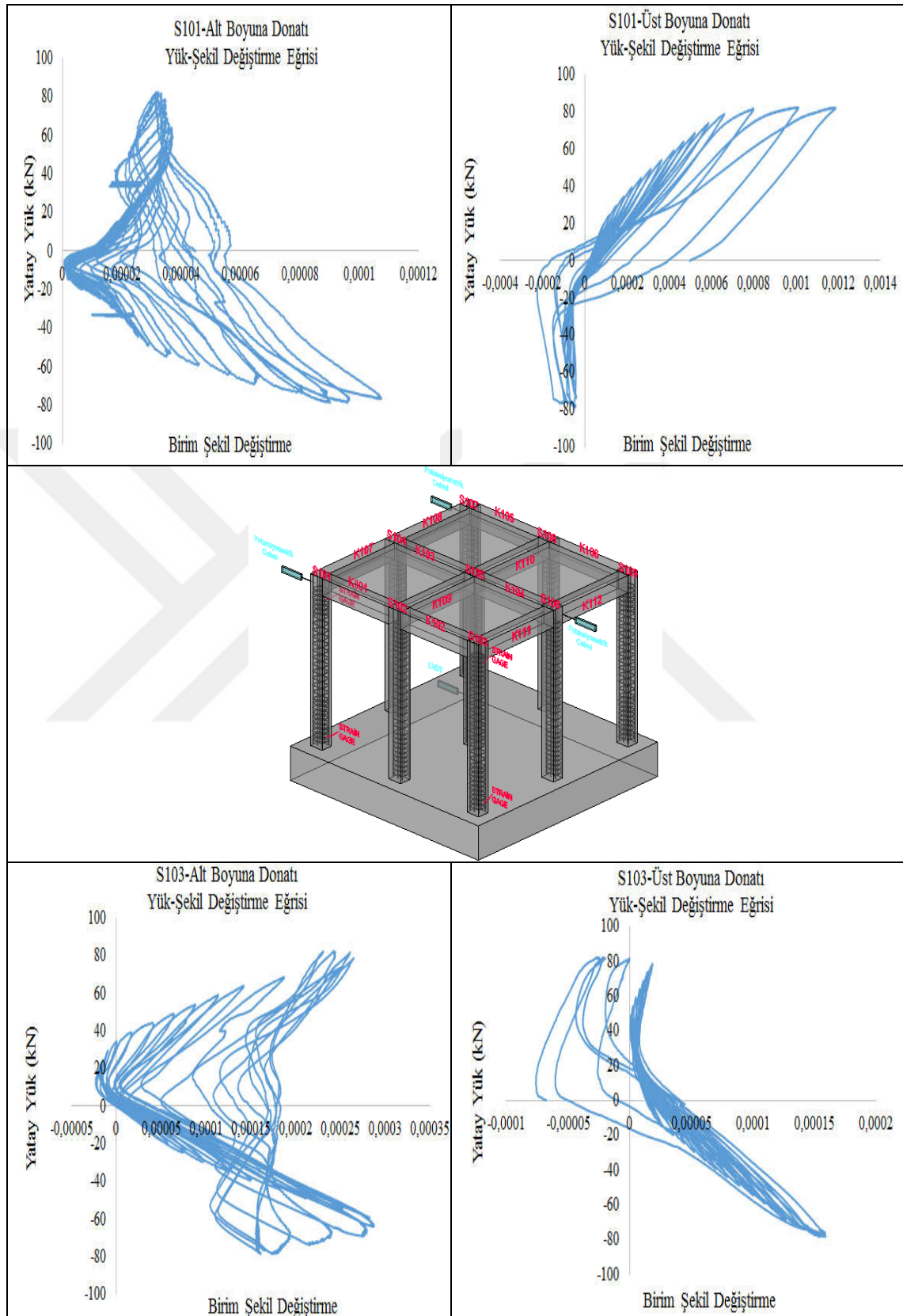
Şekil 3.94. 1.Deney için kolon etriye birim şekil değiştirme ötelenme oranı eğrisi.

Tablo 3.8. 1.Deney için farklı hasar sınırlarında kolonlardaki birim deformasyonlar

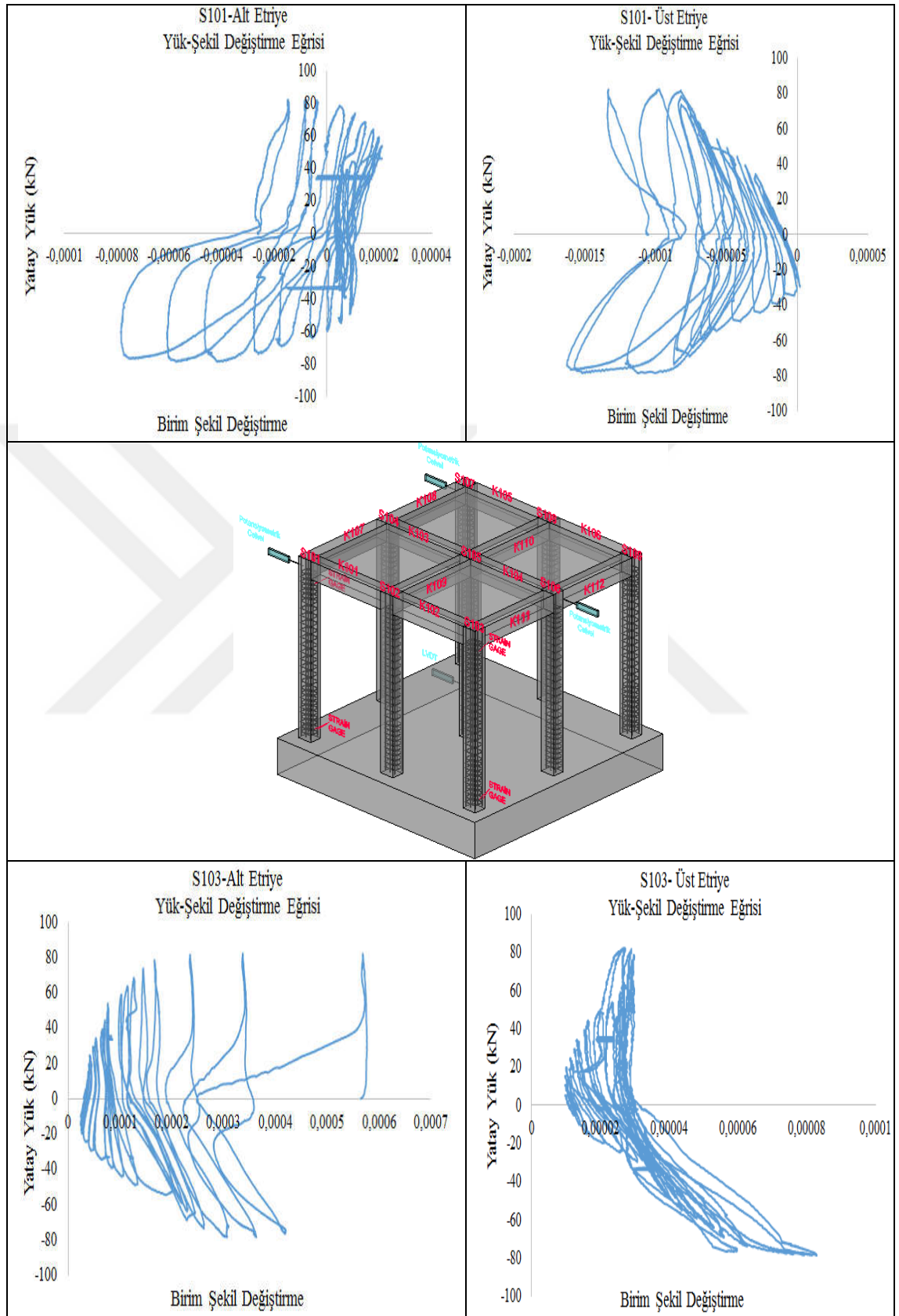
1.Deney	Boyuna Donatı Birim Deformasyon						Enine Donatı Birim Deformasyon					
	Kısalmax10 ⁻³			Uzamax10 ⁻³			Kısalmax10 ⁻³			Uzamax10 ⁻³		
	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ
S101 Alt	0,024	0,054	0,039	0,426	0,332	0,322	0,004	0,006	0,021	0,022	0,017	0,023
S101 Üst	0,593	1,403	2,423	0,539	3,218	4,051	0,001	0,001	0,0003	0,0012	0,001	0,001
S103 Alt	0,018	0,020	0,007	0,116	0,158	0,107	0,001	0,073	0,0993	0,0357	0,157	0,097
S103 Üst	0,113	0,121	0,131	0,096	0,059	0,029	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

1.deneyde kolon boyuna ve enine donatılarından elde edilen veriler temel seviyesine yakın alt kısımdan alınan ve kiriş seviyesinin hemen altından üst noktadan alınan veriler olarak iki grupta toplanmıştır. Bu şekilde her iki kolonun alt ve üst noktalarından alınan veriler enine ve boyuna donatılardan alınmış olmalarına göre de iki kısma ayrılmışlardır. Benzer şekilde güçlendirme deneylerinde kullanılan dış perdeler için de bu şekilde bir gruplandırmaya gidilmiştir. Böylece her bir deneyde çerçeve kolonları ve güçlendirme perdeleri için elde edilen grafikler enine ve boyuna donatılar için ayrı ayrı çizilmiştir. Buna göre 1.deneydeki boyuna donatılardan elde edilen birim şekil değişimi-yatay yük grafiğine göre her bir yatay yük için donatılarda uzama ve kısılma durumu gözlenmiştir. S101 kolonu alt strain gaugedan okunan en büyük birim şekil değiştirme değeri 0.0004 olarak okunmuş, S101 kolonu üst strain gaugedan okunan maksimum değerse 0.005'dir. S103 kolonu alt strain gaugedan elde edilen en büyük değer 0.00015 iken her ne kadar farklı eğriler olsa da S103 kolonu üst strain gaugedan okunan maksimum birim şekil değiştirme değeri de 0.00015'dir. Şekil 3.89 incelendiğinde S101 ve S103 alt boyuna donatılardan elde edilen eğrilerin görünüşleri birbirine oldukça benzemektedir. S101 üst boyuna donatı histerisis eğrisi olarak devam ederken oluşan düz çizginin donatıda ani bir deformasyon artışına bağlı olduğu düşünülmekte olup bu noktadan sonra her bir histerisis eğrilerinde açılma gözlenmiştir. Aynı şekilde S103 üst boyuna donatı eğrisinde de ilk döngülere göre son döngülerde eğrilerde açılmalar artmış bununla birlikte birim şekil değişiminde de artışlar gözlenmiştir. Bu eğrilere göre boyuna donatılardaki kısılmadan kaynaklanan birim deformasyonların, betonun basınca çalışmasından dolayı uzamadan kaynaklanan birim deformasyonlardan daha küçük değerler aldığı görülmektedir. Bununla birlikte maksimum birim şekil değiştirmelerin aynı kolonun alt donatılarına göre üst donatılarına yerleştirilen strain gaugelerde daha fazla olduğu gözlenmiştir. Yatay yük maksimum değerini alıp akma gerçekleştikten sonra kolon boyuna donatılarının

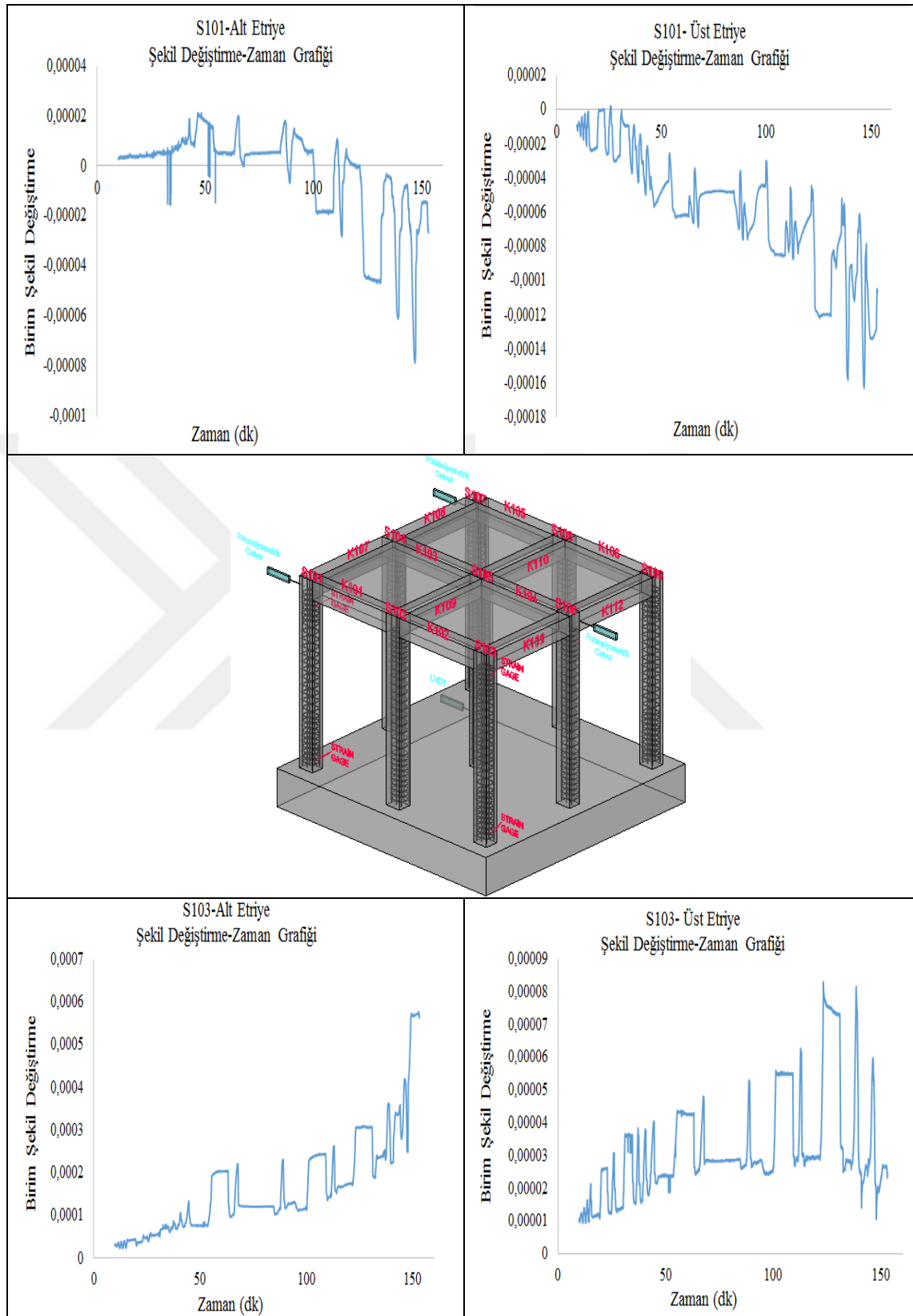
bazılarındaki birim deformasyonlarda azalma görülürken, etriyelerde ise maksimum birim deformasyonlar deney sonunda meydana gelmiştir. Enine donatı grafiklerine bakıldığında S101 alt enine donatısında çekme döngüsülerinde oluşan eğrilerde birim şekil değişimindeki artıştan dolayı açılmaların arttığı itme döngülerindeki eğrilerin ise daha sık geçtiği görülmektedir. S101 üst enine donatısında çekme ve itme döngülerinde benzer eğrilerin olduğu ve grafiğin simetrik olduğu gözlenmiştir. S101 alt enine donatısında maksimum şekil değişimi 0.00004, S101 üst enine donatısında ise en büyük şekil değişiminin yaklaşık 0.000003 olduğu görülmüştür. S101 üst enine donatısında çekme ve itme döngülerinde benzer eğrilerin olduğu ve grafiğin simetrik olduğu gözlenmiştir. S101 alt enine donatısında maksimum şekil değişimi 0.00004, S101 üst enine donatısında ise en büyük şekil değişiminin yaklaşık 0.000003 olduğu görülmüştür. S103 kolonunun alt enine donatısından elde edilen grafiğin histerisis eğrilerine göre yatay yük arttıkça birim şekil değişimi artmış, itme döngüsünde ise histerisis eğrilerinin arası açılmıştır. Özellikle 0.00005 birim şekil değiştirme seviyesinde donatıda ani deformasyon artışıyla birlikte eğrilerde açılma meydana gelmiştir. S103 üst enine donatısından deneyler sırasında okuma alınamamıştır. Etriyelerde, basınç kısılması olmadığından, itme ve çekme döngülerindeki donatıların birim deformasyonları genellikle birbirine benzer değerler almıştır. Etriyeler ve boyuna donatılardaki birim şekil değiştirmeler karşılaştırıldığında boyuna donatılarda şekil değişiminin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Her iki kolonun enine ve boyuna donatılarının alt ve üst seviyelerinden alınan okumalar sonucu elde edilen birim şekil değişimi zaman grafiklerinde her döngü sonrasında yatay kuvvetin ve deplasmanın artmasına bağlı olarak birim şekil değişiminde kademeli bir artış gözlenmiştir. Birim şekilde değişimi ötelenme oranlarına ilişkin grafikler incelendiğinde S101 ve S103 kolonlarının alt boyuna donatısından elde edilen grafiklerde itme döngülerinde ötelenme oranı arttıkça birim şekil değişimi azalmış, çekme döngülerinde ise ötelenme oranı arttıkça birim şekil değişiminin de arttığı görülmüştür. Ancak aynı kolonların üst donatılarından elde edilen grafiklerde her iki döngü içinde ötelenme oranına paralel bir şekilde birim şekil değiştirme oranı artmıştır. Birim şekil değiştirme ötelenme oranı ilişkisi enine donatılar açısından incelendiğinde ise S101 kolonunda ötelenme oranı arttıkça birim şekil değiştirmenin de arttığı, S103 kolonunda ise azaldığı tespit edilmiştir. Bu grafiklerin dışında Türk Deprem Yönetmeliği 2007'deki [4] hasar sınırlarına göre Tablo 3.8'de kolonlarda boyuna donatı ve etriyeler için birim şekil değişimleri verilmiştir.



Şekil 3.95. 2.Deney için yatay yük ve kolon boyuna donatı birim şekil değiştirme eğrisi.



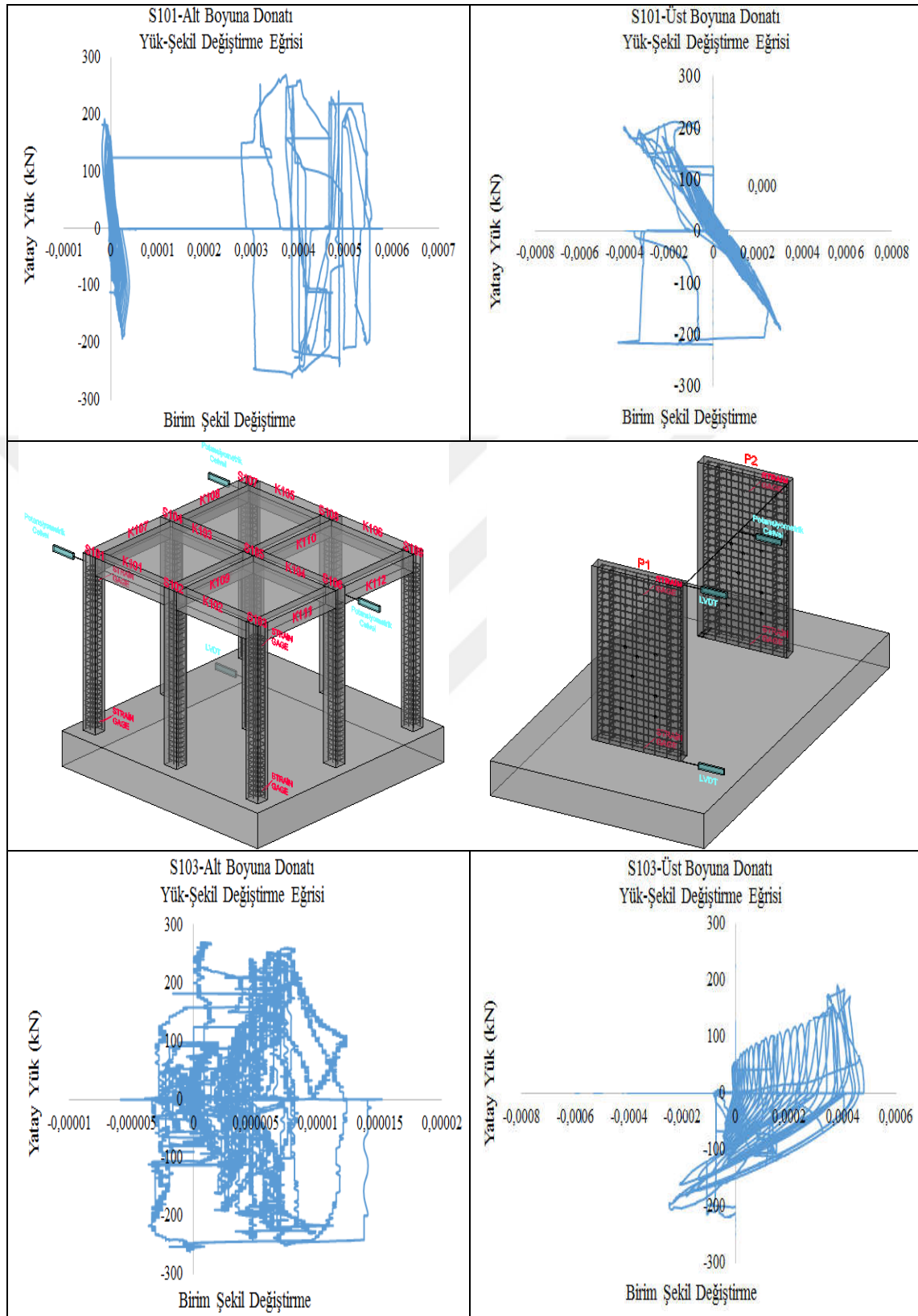
Şekil 3.96. 2.Deney için yatay yük ve kolon etriye birim şekil değiştirme eğrisi.



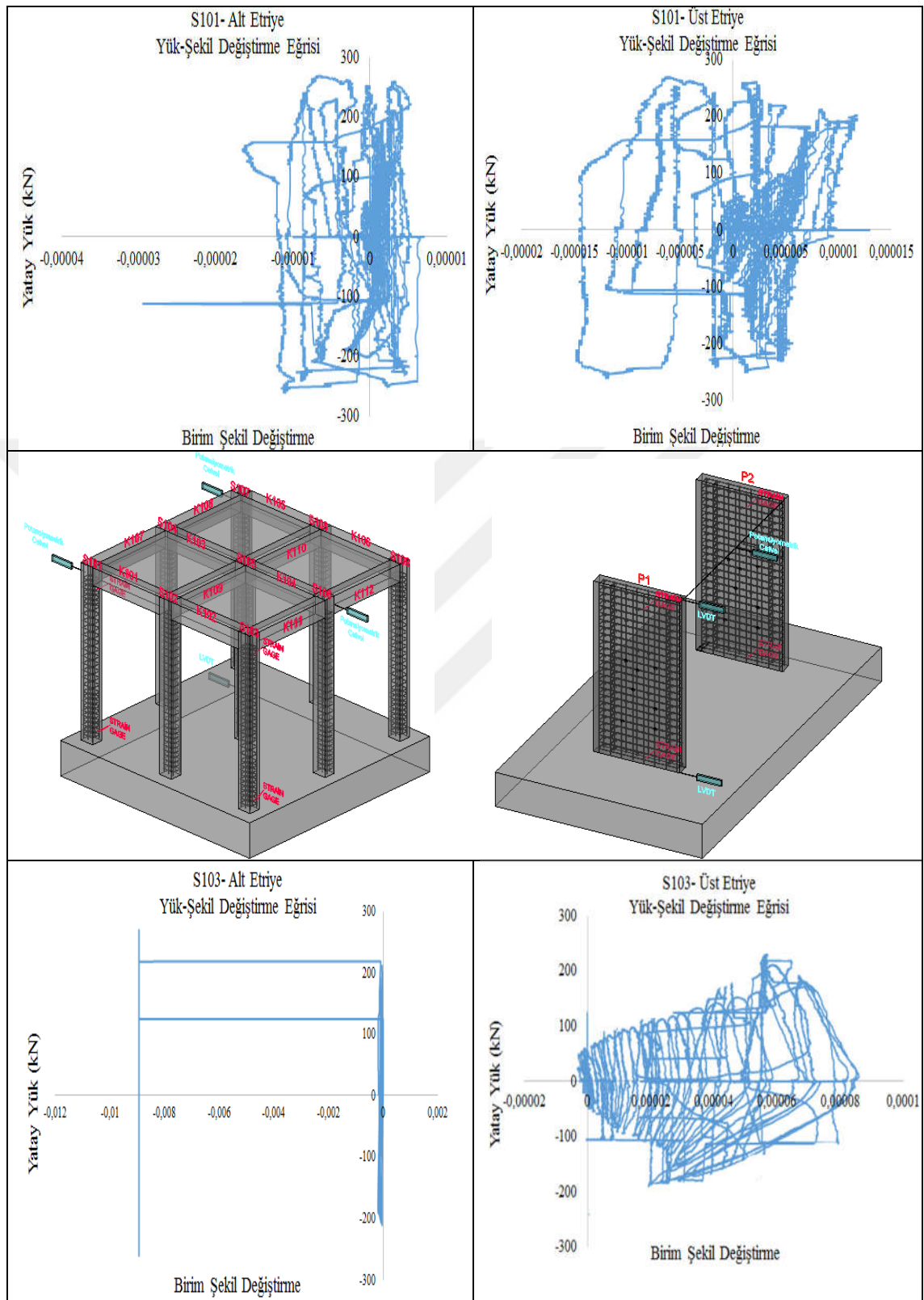
Tablo 3.9. 2.Deney için farklı hasar sınırlarında kolonlardaki birim deformasyonlar

2.Deney	Boyuna Donatı Birim Deformasyon						Enine Donatı Birim Deformasyon					
	Kısalmax10 ⁻³			Uzamax10 ⁻³			Kısalmax10 ⁻³			Uzamax10 ⁻³		
	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ
S101 Alt	0,071	-	-	0,035	-	-	0,022	-	-	0,006	-	-
S101 Üst	0,053	-	-	0,608	-	-	0,083	-	-	0,084	-	-
S103 Alt	0,238	-	-	0,258	-	-	0,250	-	-	0,168	-	-
S103 Üst	0,132	-	-	0,016	-	-	0,059	-	-	0,029	-	-

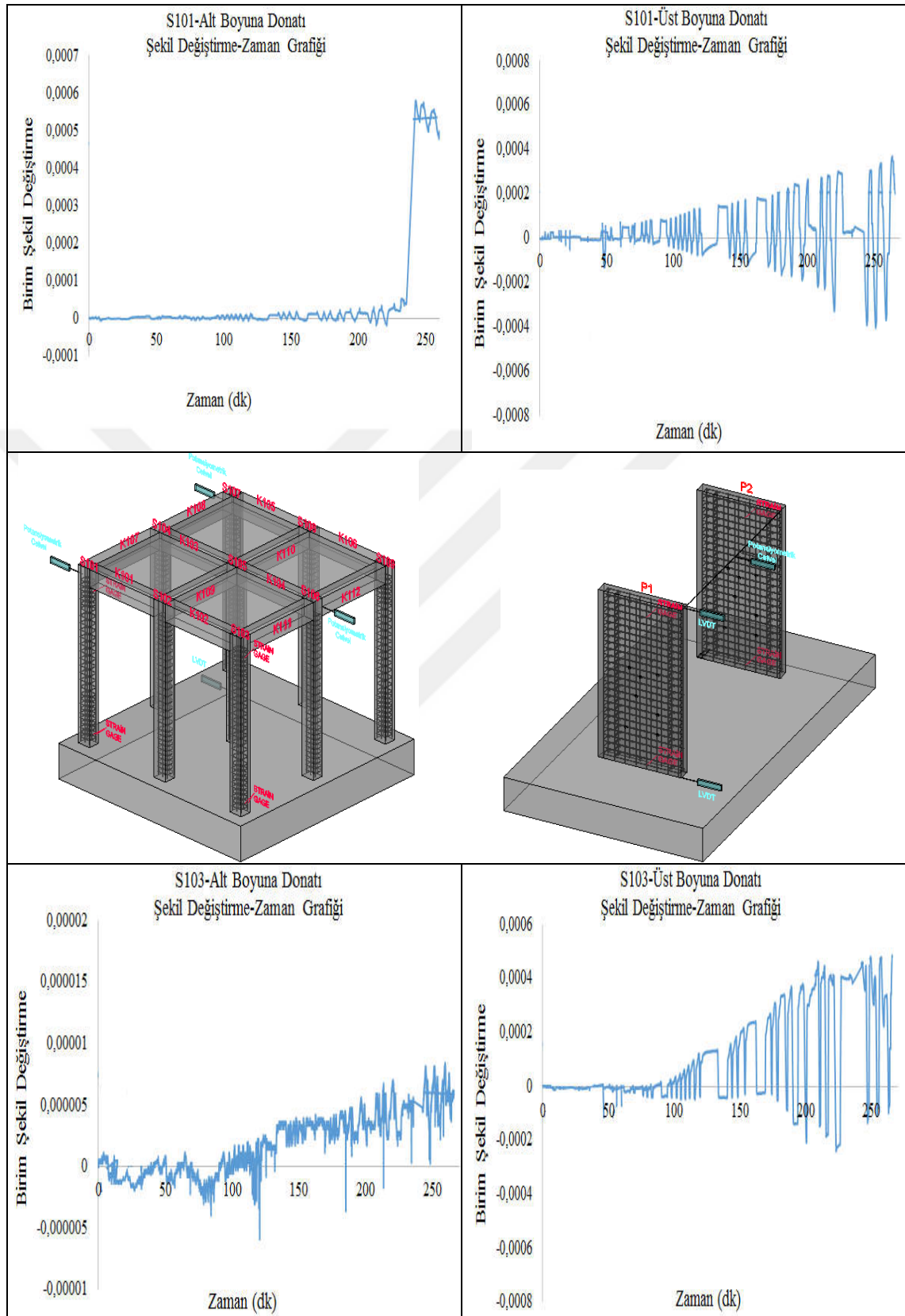
2.deney için donatılardan verilerin toplanması ve grafiklerin elde edilmesi yine 1.deneyle benzer şekilde gerçekleştirilmiştir. S101 alt boyuna donatısı grafiklerine göre ilk döngülerde eğriler arası açıklıklar daha sıkıyken diğer döngülere ilerledikçe zarf eğrilerinde açılmalar gözlenmiştir. Bununla birlikte yatay yükün artmasıyla birim şekil değişiminde artış olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca grafiğe göre S101 alt boyuna donatısında uzama olduğu görülmektedir. Benzer şekilde S103 kolonuna ait alt ve üst boyuna donatılardan elde edilen eğriler incelendiğinde ilk döngülerde eğrilerin daha yoğun bir şekilde birbirlerinin yakınından geçtiği ancak döngüler ilerledikçe oluşan deformasyon artışına bağlı olarak eğriler arası açılmaların meydana geldiği gözlenmiştir. Bunun dışında diğer grafiklerde de yatay yük artışına paralel birim şekil değişiminde artış meydana gelmiştir. Ayrıca tüm eğriler değerlendirildiğinde üst boyuna donatılarda alt boyuna donatılara göre daha fazla birim şekil değişimi oluşmuştur. Enine donatılarda da durum farklı değildir. Grafiklerde döngüler ilerledikçe yatay yükün artışıyla birlikte birim şekil değiştirmenin de arttığı gözlenmiştir. Yine enine donatı grafiklerinde de döngülerin ilerlemesiyle artan deformasyonların etkisinde eğrilerde açılmalar meydana gelmiştir. Bu şekilde boyuna donatılarda uzama ve kısaltmalar etriyelerden daha fazla olduğu görülmektedir. Bununla beraber boyuna donatılarda kısaltmaya bağlı birim deformasyonlar oldukça az oranda meydana gelmiştir. Enine donatılarda ise uzamayla birlikte, sıkışma ve basınç kuvvetinden kaynaklanan kısalma birim şekil değiştirmeleri de gözlenmiştir. Boyuna donatılarda birim şekil değişimi ötelenme oranı ilişkisi değerlendirildiğinde ise deformasyona bağlı ötelenme oranı arttıkça birim şekil değişiminin de arttığı gözlenmiştir. Ayrıca S101 ve S103 nolu kolonların alt boyuna donatılarının histerisis davranışlarının aynı şekilde üst boyuna donatılarının histerisis davranışlarının da birbirine benzediği görülmektedir. Enine donatılarda da ötelenme oranının artmasıyla birlikte birim şekil değişimi de artmıştır.



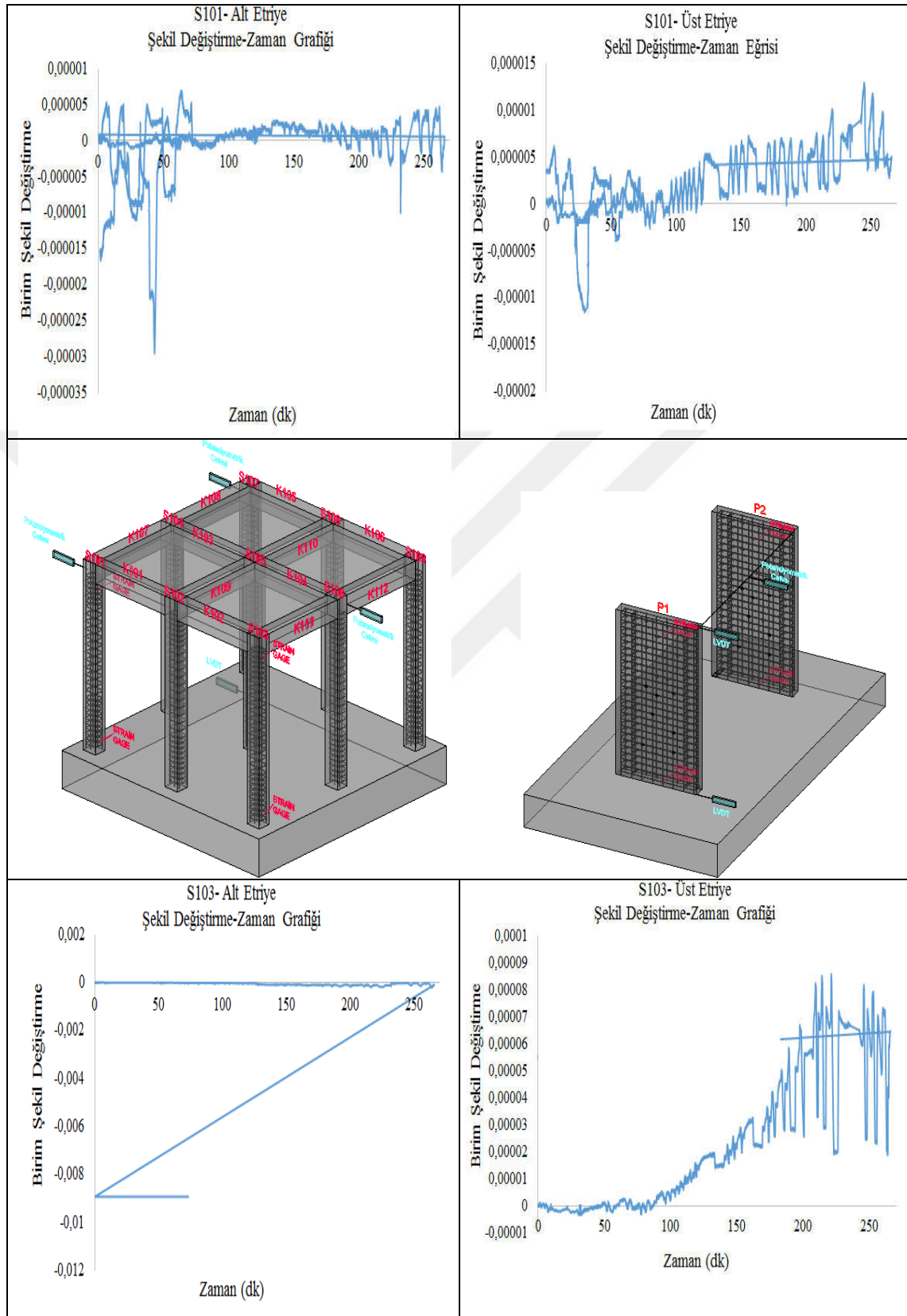
Şekil 3.101. 3.Deney için yatay yük ve kolon boyuna donatı birim şekil değiştirme eğrisi.



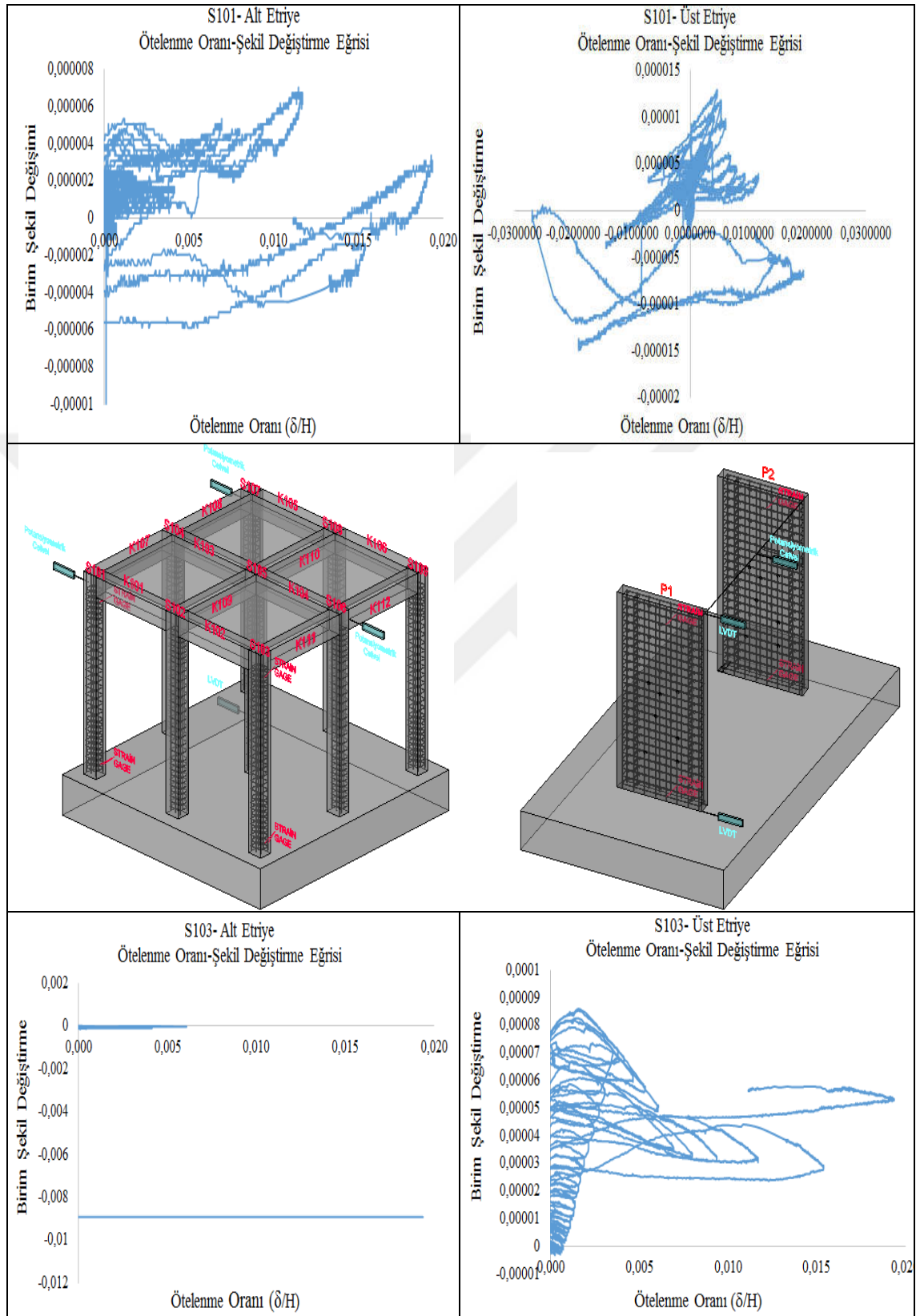
Şekil 3.102. 3.Deney için yatay yük ve kolon etriye birim şekil değiştirme eğrisi.



Şekil 3.103. 3.Deney için kolon boyuna donatı birim şekil değiştirme zaman grafiği.



Şekil 3.104. 3.Deney için kolon etriye birim şekil değişirme zaman grafiği.

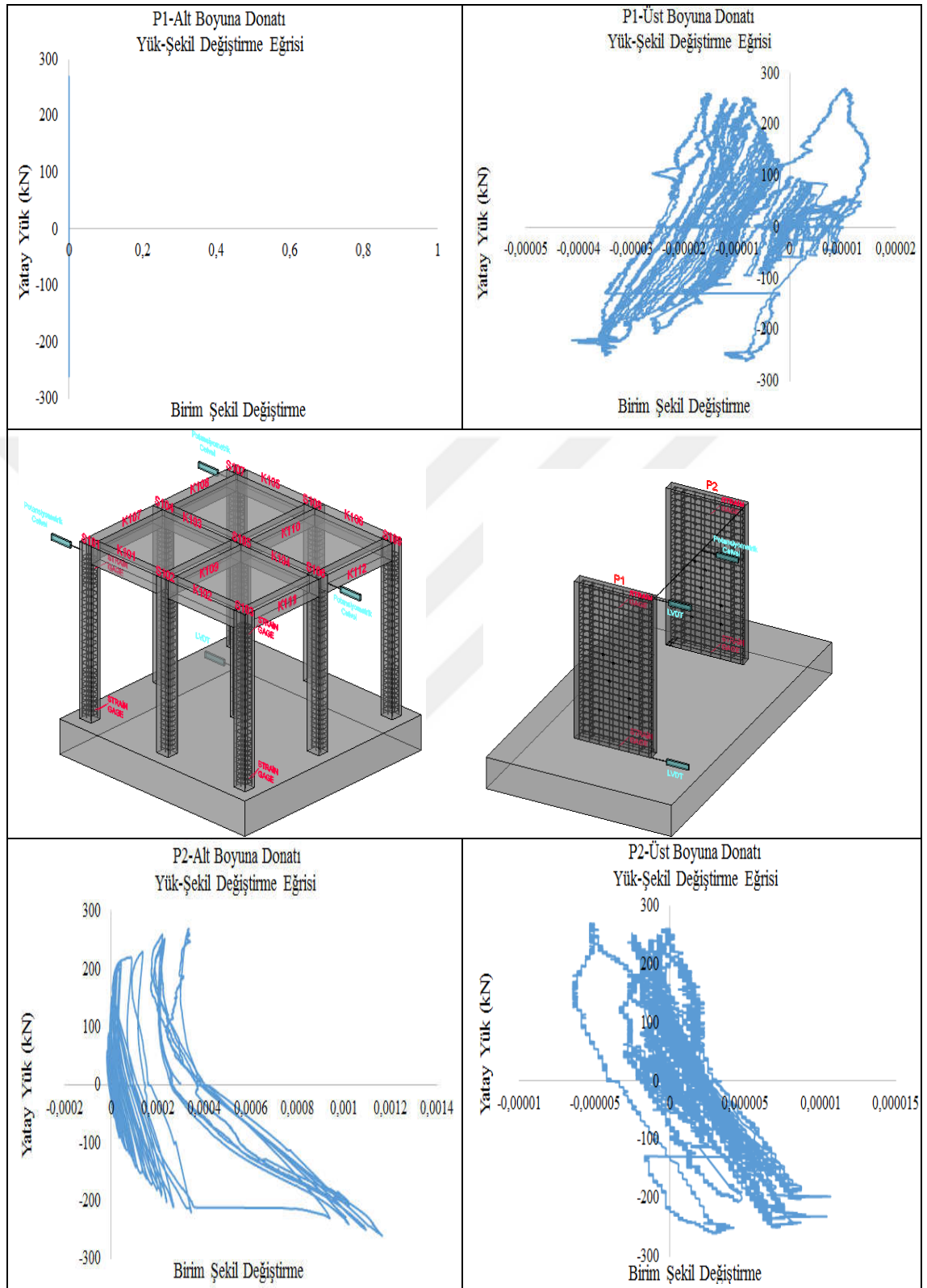


Şekil 3.106. 3.Deney için kolon etriye birim şekil değiştirme ötelenme oranı eğrisi.

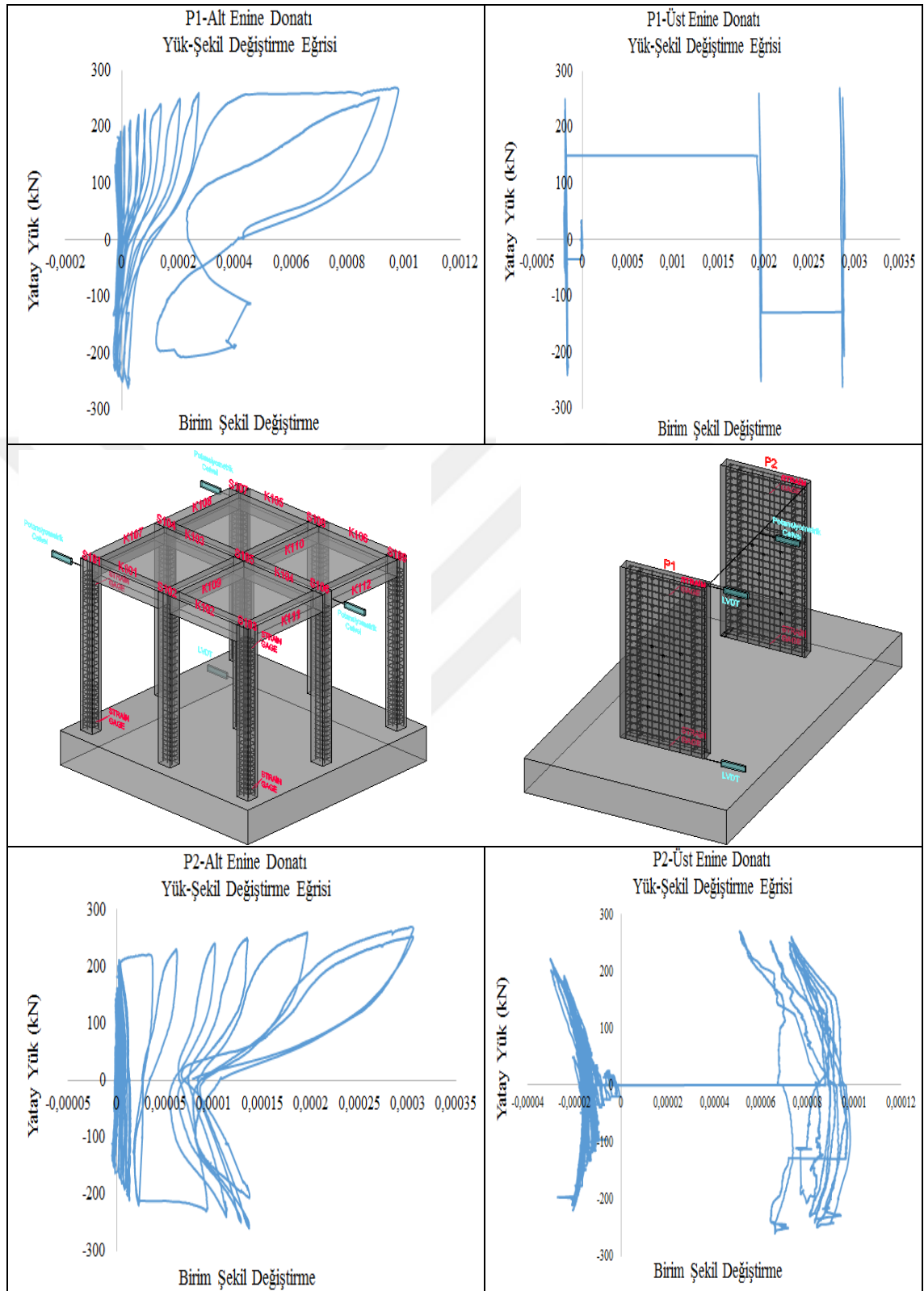
Tablo 3.10. 3.Deney için farklı hasar sınırlarında kolonlardaki birim deformasyonlar.

3.Deney	Boyuna Donatı Birim Deformasyon						Enine Donatı Birim Deformasyon					
	Kısalmax10 ⁻³			Uzamax10 ⁻³			Kısalmax10 ⁻³			Uzamax10 ⁻³		
	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ
S101 Alt	0,479	-	-	0,403	-	-	0,007	-	-	0,005	-	-
S101 Üst	0,442	-	-	0,417	-	-	0,002	-	-	0,003	-	-
S103 Alt	0,005	-	-	0,013	-	-	8,930	-	-	8,930	-	-
S103 Üst	0,287	-	-	0,463	-	-	0,020	-	-	0,030	-	-

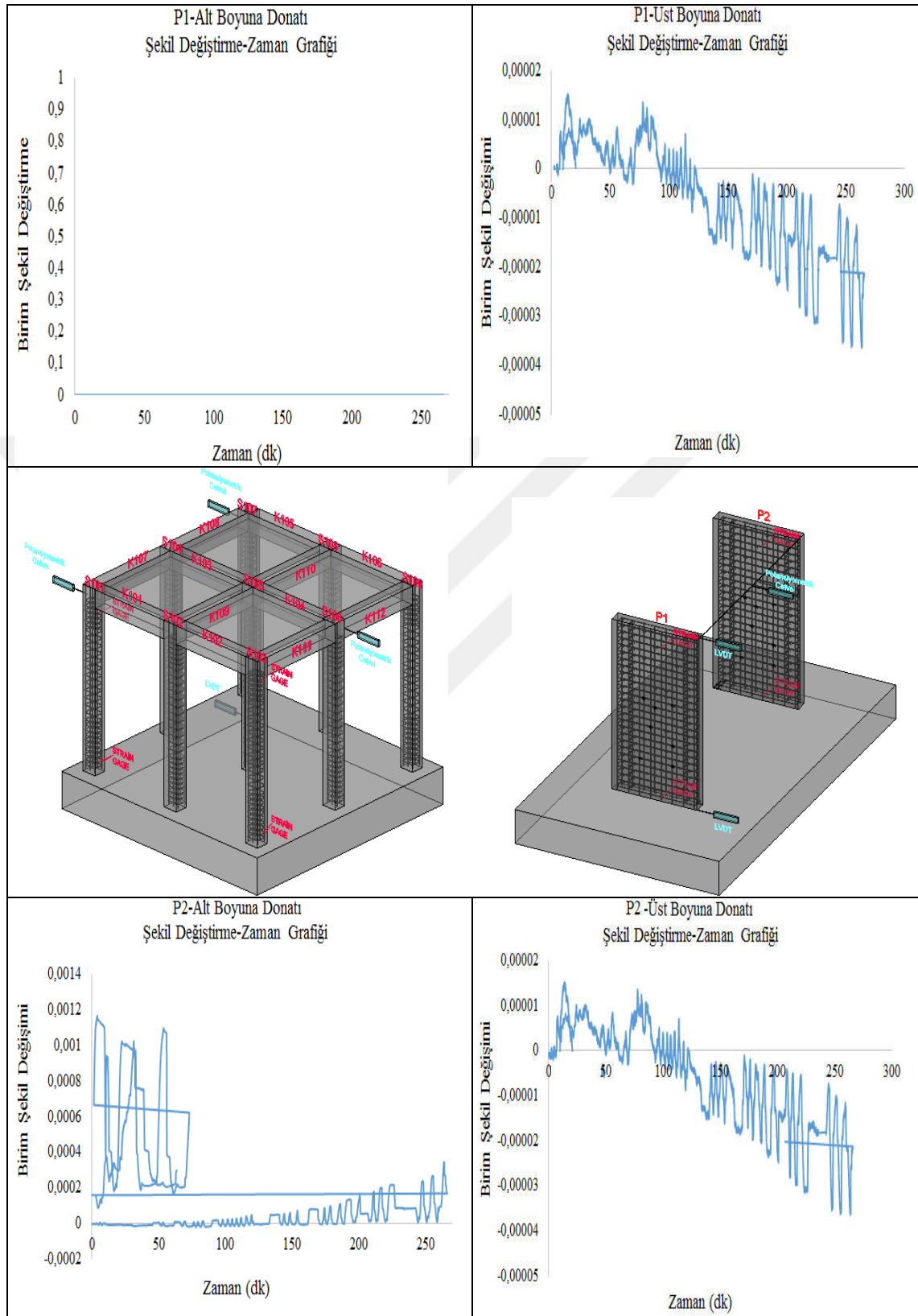
3.deney de çerçevelerden ve perdelerden ayrı ayrı alınan strain gauge verileri kullanılarak hem kolonlar hem de perdeler için farklı grafikler elde edilmiştir. İlk olarak yukarıda çerçeveler için verilen grafikler değerlendirilmiştir. S101 alt ve üst boyuna donatı grafiklerine bakıldığında ilk döngülerde histerisi eğrileri oldukça düzgün ve sık iken sonrasında donatıda bir noktada yaşanan ani deplasman artışından sonra histerisis eğrilerinin karakterinin değişmiş olduğu gözlenmiştir. Bu durumun nedeni olarak bu çerçevenin 2.deneyde hasar gören çerçeve olması ve aynı çerçevenin bu deneyde kullanılması olduğu düşünülmektedir. Bu şekilde düzgün histerisis eğrilerinden sonra görülen farklı karakteristikteki eğrilerin donatıdaki hasarın strain gauge ölçümlerine yansımalarının bir sonucudur. S103 kolon donatılarından elde edilen grafiklerde de benzer şekilde ilk döngülere göre yatay yükün artmasıyla birim şekil değişiminin arttığı görülmüştür. Enine donatılarda elde edilen grafikler de döngüler ilerledikçe yatay yükün artışıyla birlikte birim şekil değiştirmenin de arttığı gözlenmiştir. Ancak bu grafiklerde boyuna donatıların grafikleri gibi aynı nedenden ötürü bir noktadan sonra farklılaşmıştır. Özellikle S103 alt enine donatı grafiğinde daha belirgin görülmek üzere döngü sonu ani deplasman artışına bağlı olarak düz çizgi şeklinde noktalanmıştır. Histerisis eğrisinin bu şekilde sonlanmasının etriyenin ya da strain gaugenin kopmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Birim şekil değişimi zaman grafikleri de diğer deneylerdekilere benzer şekilde ilerlerken donatılarda ya da strain gaugelerdeki nedenlerden ötürü bir noktadan sonra farklılaşmıştır. Boyuna ve enine donatılarda birim şekil değişimi ötelenme oranı grafikleri incelendiğinde ötelenme oranı arttıkça birim şekil değişiminin de arttığı gözlenmiştir. S103 kolonu alt etriye donatısı birim şekil değişimi ötelenme oranı grafiğine bakıldığında alınan okumalarda strain gaugeden kaynaklı bir sorun olduğu düşünülmektedir.



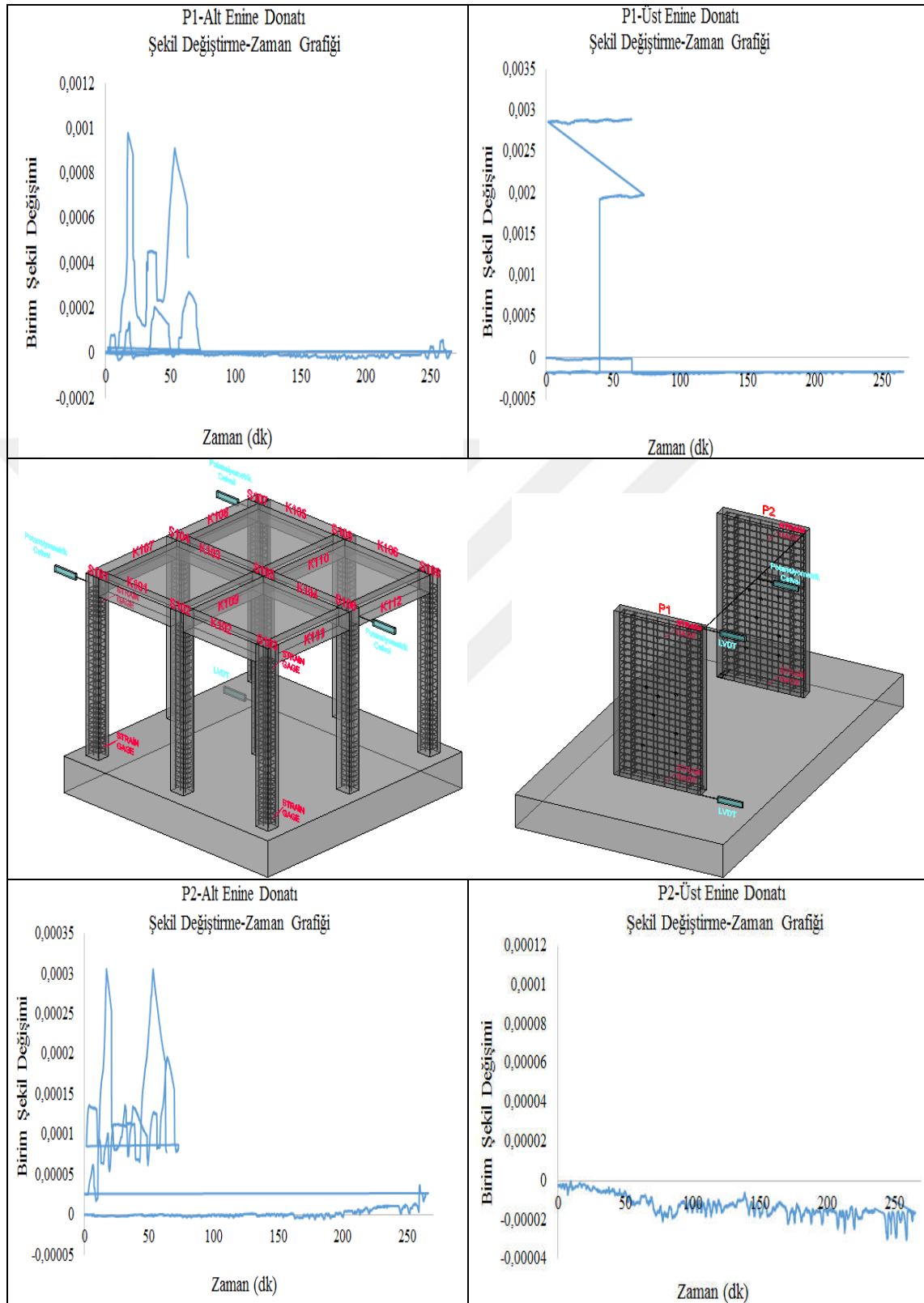
Şekil 3.107. 3.Deney için yatay yük ve perde boyuna donatı birim şekil değiştirme eğrisi.

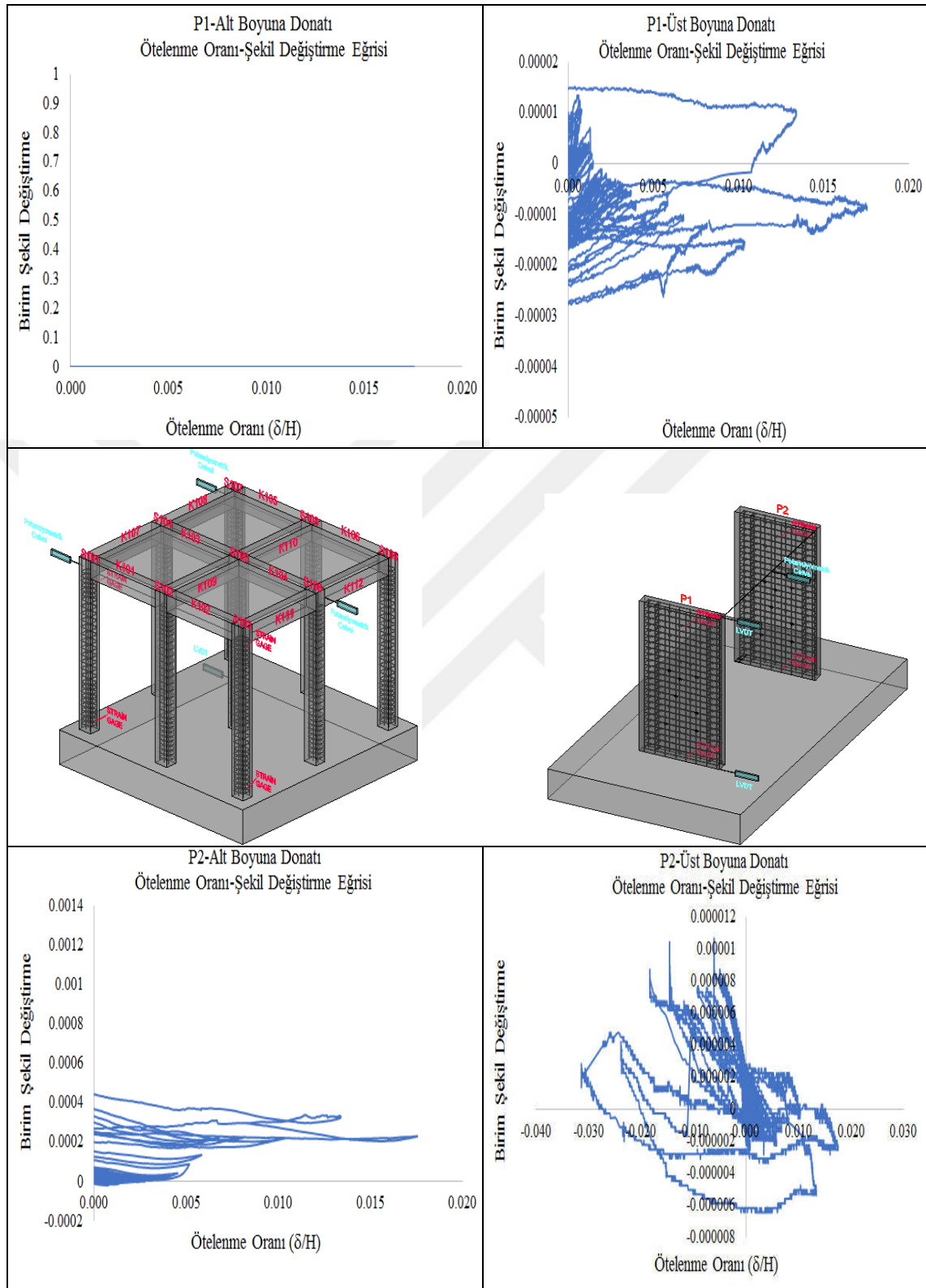


Şekil 3.108. 3.Deney için yatay yük ve perde enine donatı birim şekil değışirme eğrisi.

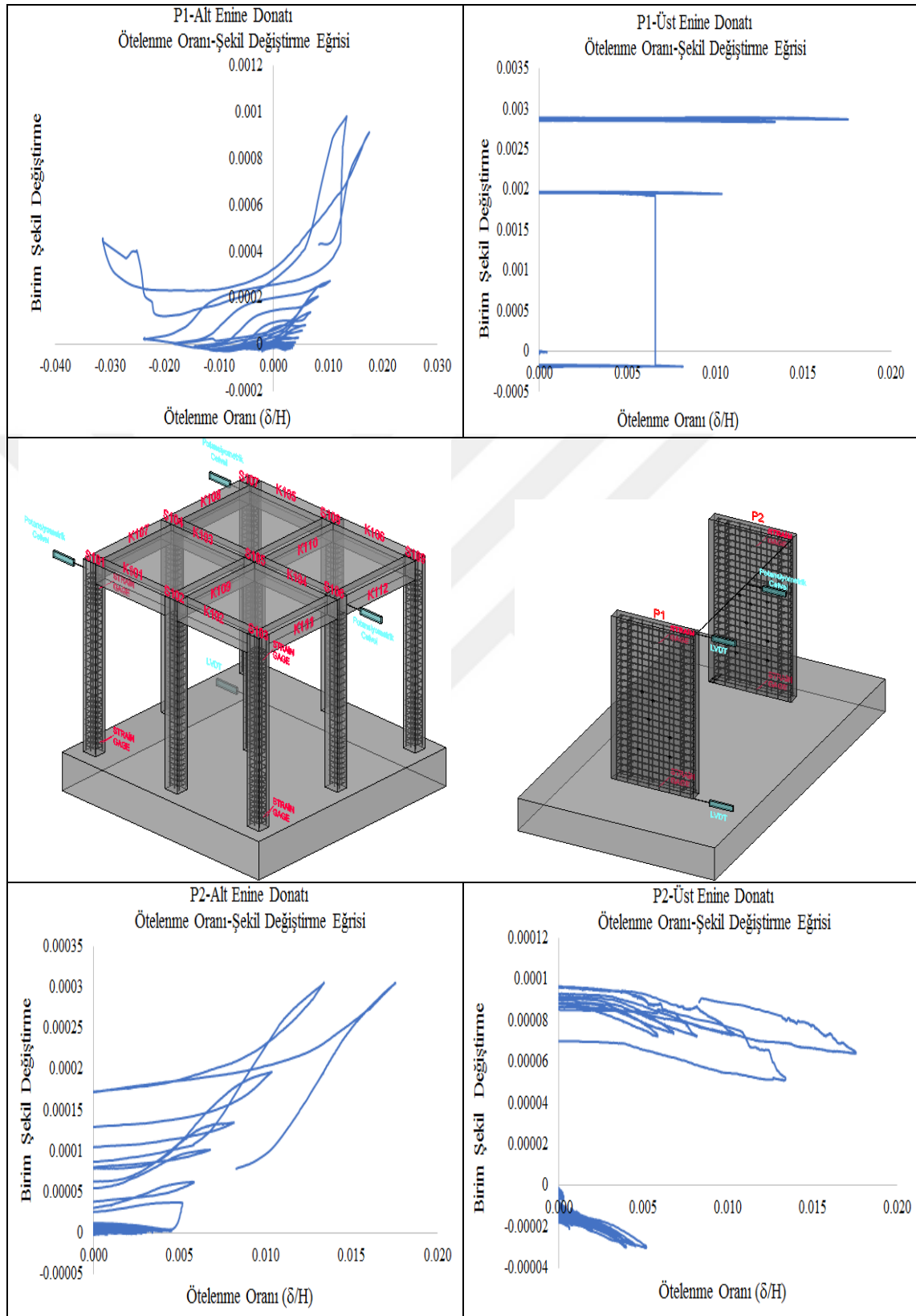


Şekil 3.109. 3.Deney için perde boyuna donatı birim şekil değıştirme zaman grafiğı.





Şekil 3.111. 3.Deney için perde boyuna donatı birim şekil değiştirme ötelenme oranı eğrisi.



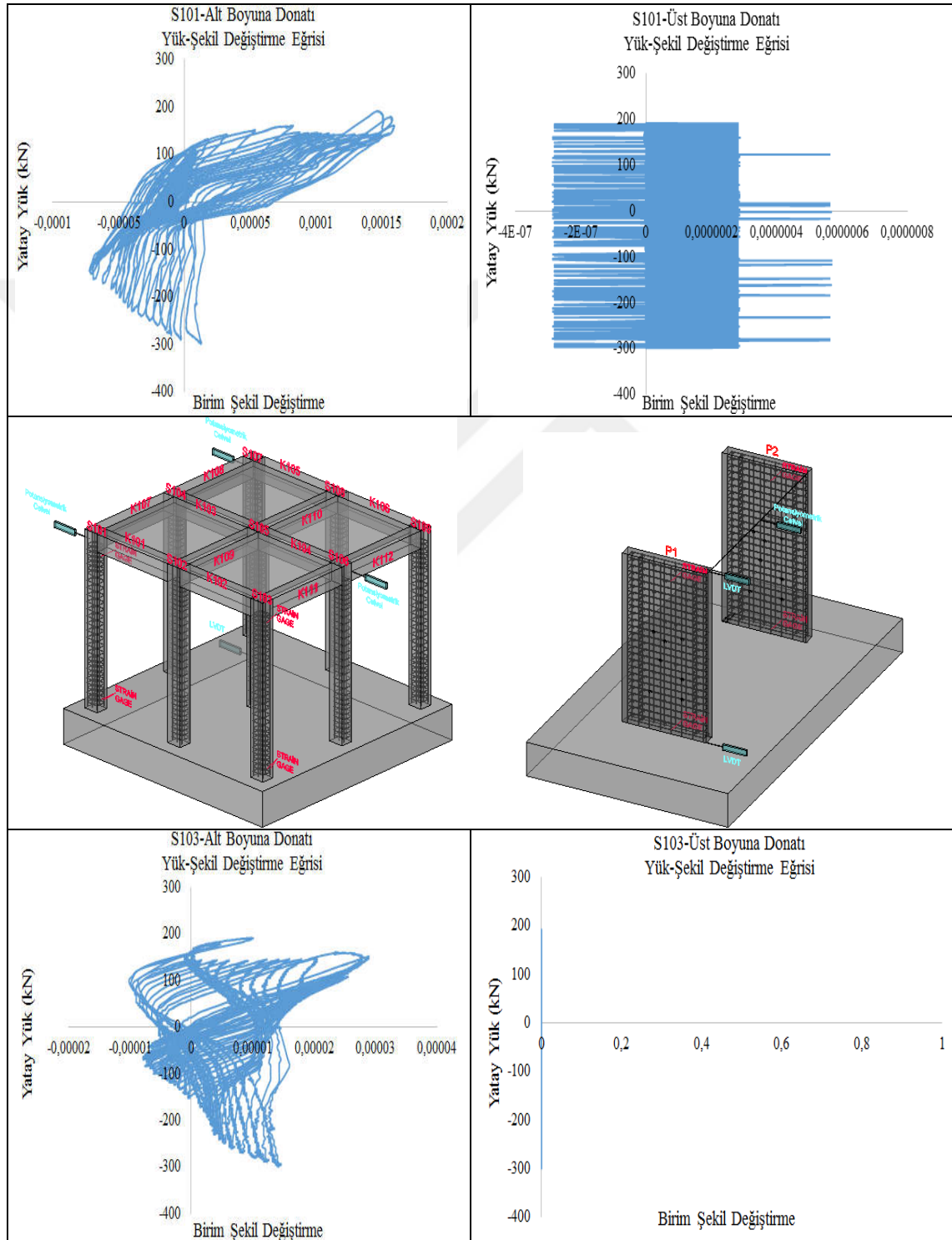
Şekil 3.112. 3.Deney için perde enine donatı birim şekil değiştirme ötelenme oranı eğrisi.

Tablo 3.11. 3.Deney farklı hasar sınırlarında perdelerdeki birim deformasyonlar.

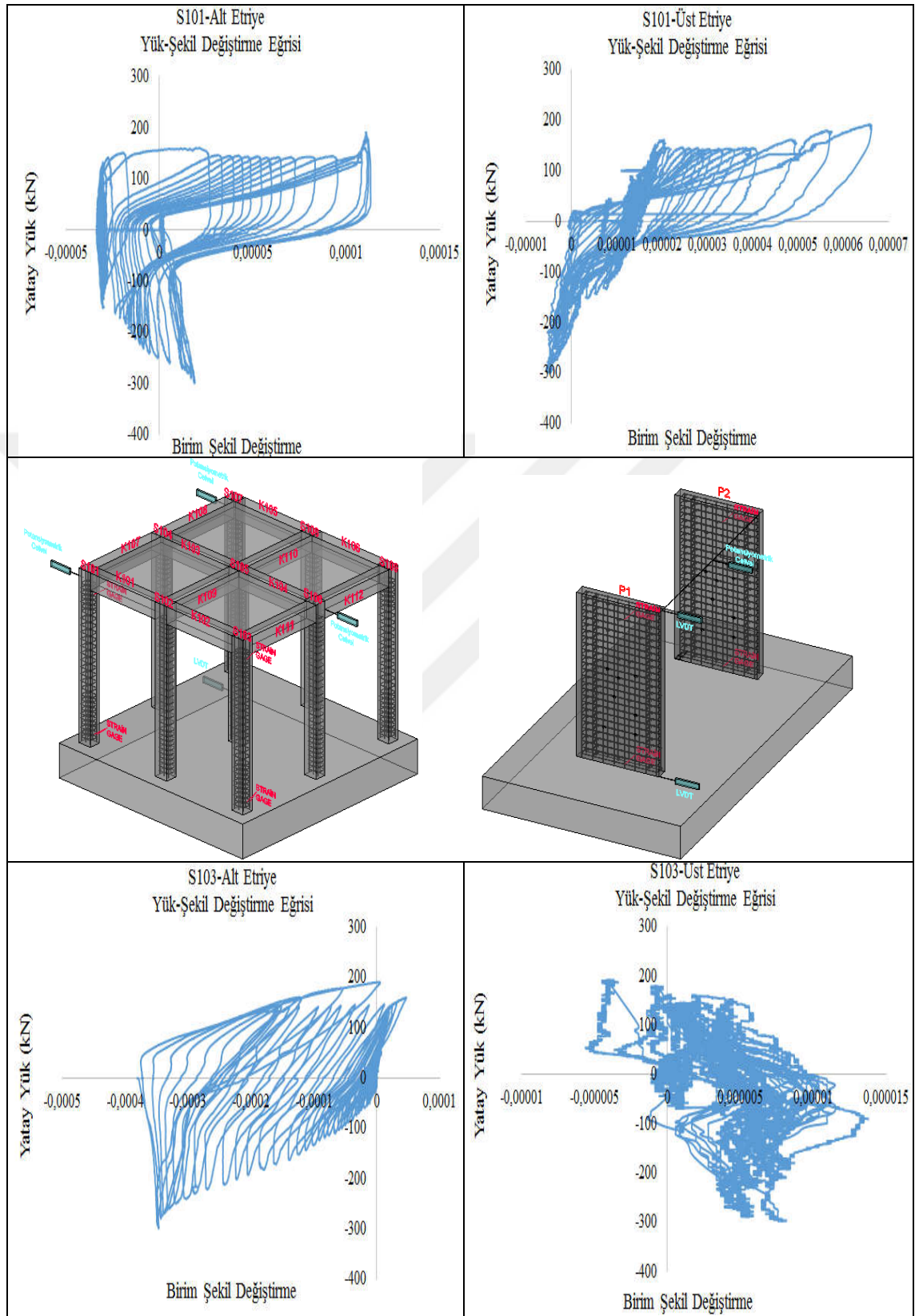
3.Deney	Boyuna Donatı Birim Deformasyon						Enine Donatı Birim Deformasyon					
	Kısalma 10^{-3}			Uzama 10^{-3}			Kısalma 10^{-3}			Uzama 10^{-3}		
	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ
S101 Alt	0,864	-	-	0,212	0,772	-	0,096	-	-	0,190	0,115	-
S101 Üst	0,0003	-	-	0,005	0,002	-	0,087	-	-	0,073	0,077	-
S103 Alt	0,000	-	-	0,000	0,000	-	0,021	-	-	0,267	0,442	-
S103 Üst	0,034	-	-	0,015	0,015	-	0,167	-	-	1,948	2,871	-

3.deney için çerçevelerden sonra perdelerden elde edilen grafikler değerlendirilmiştir. Buna göre P1 ve P2 boyuna donatı grafiklerine bakıldığında ilk döngülerde histerisis eğrilerinde daha yakın geçişler mevcutken ilerleyen döngülerde histerisis eğrilerinde açılmalar olduğu gözlenmiştir. Ancak P1 alt boyuna donatısına yerleştirilen strain gaugeden okuma alınamamıştır. Hem P1 hem de P2 perdelerinin enine donatı grafikleri incelendiğinde ilk döngülerde eğrilerin birbirlerinin yakınından geçtiği ancak ilerleyen döngülerde zarf eğrilerinde açılmalar meydana geldiği gözlenmiştir. Her iki perdenin enine donatılarından alınan verilere göre oluşturulan grafikler değerlendirildiğinde bu grafiklerde de boyuna donatıların grafiklerine benzer şekilde deplasman artışına bağlı olarak döngüler ilerledikçe birim şekil değiştirme değerlerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca ilerleyen döngülerde eğrilerde açılma meydana gelmiştir. Bununla birlikte P1 üst enine donatısına yerleştirilen strain gaugeden alınan okumaların sağlıklı olmadığı düşünülmektedir. Grafikler incelendiğinde boyuna donatılarda her döngü sonunda uzama ve kısalma durumu ortaya çıkmaktadır. Ancak bu kısalma durumunda uzamaya göre daha az şekil değiştirme meydana geldiği görülmektedir. Bunun nedeni ise boyuna donatılardaki kısaltmalar sırasında meydana gelen birim deformasyonlar uzamalardan daha az miktarda olduğundan; beton, basınç kuvvetine donatı ile beraber karşı koyarken çekme kuvvetini donatının tek başına karşılamasıdır. Bu şekilde boyuna donatılardaki kısaltmalar kaynaklanan birim deformasyonlar uzamalardan daha az oranda meydana gelmektedir. Enine donatılarda ise her döngü sonunda uzama durumu ortaya çıktığı gözlenmiştir. Birim şekil değişimi zaman grafikleri diğer deneylerdekilere benzer şekilde kademeli olarak artarken bir yerden sonra farklılaşmıştır. Tüm perdelerin boyuna ve enine donatıları için çizilen birim şekil değişimi ötelenme oranı grafikleri değerlendirildiğinde ötelenme oranı arttıkça birim şekil değişiminin de arttığı gözlenmiştir. Hasar sınırlarına

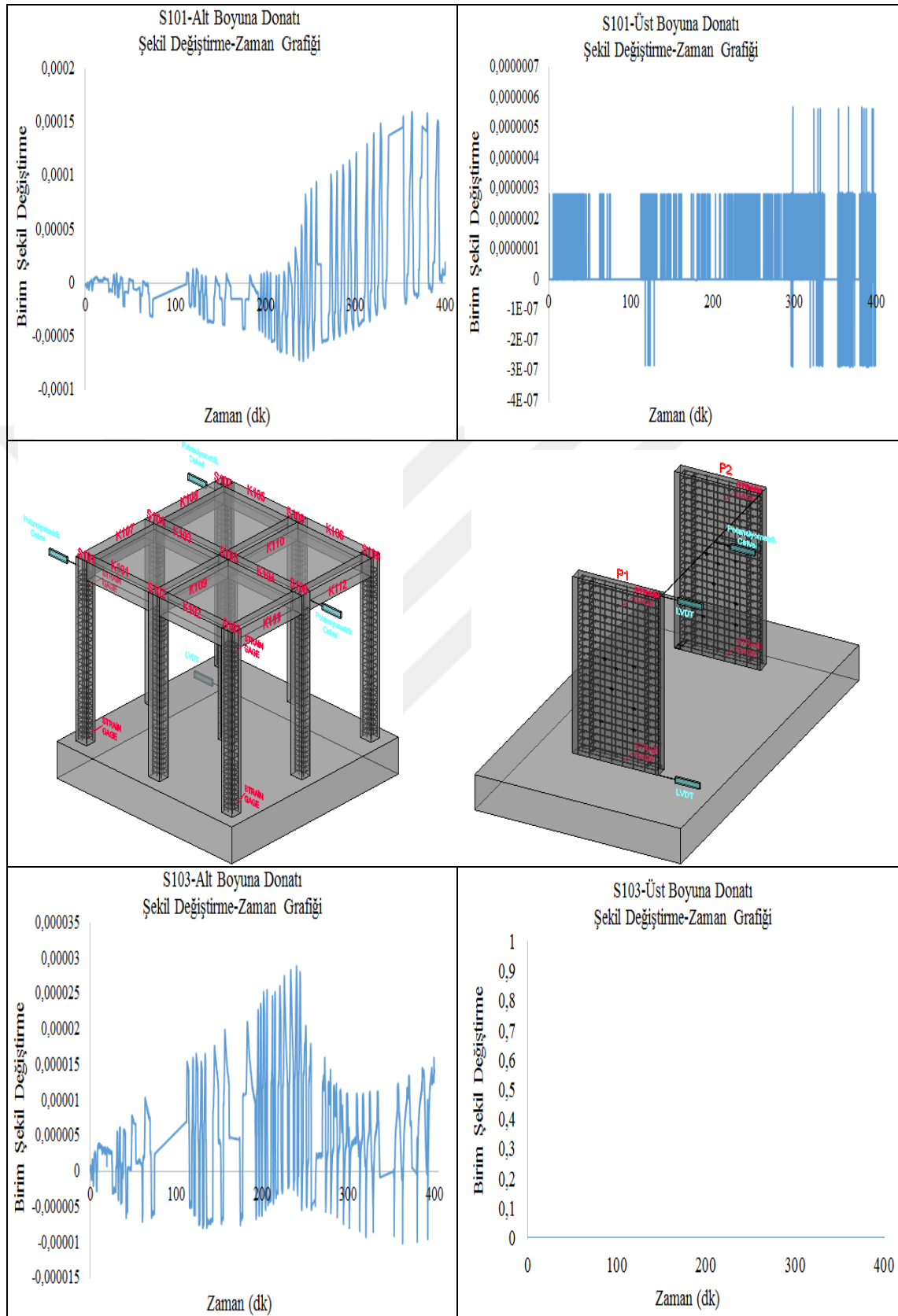
göre Tablo 3.11’de perdelerin boyuna ve enine donatıları için birim şekil değişimleri verilmiştir.



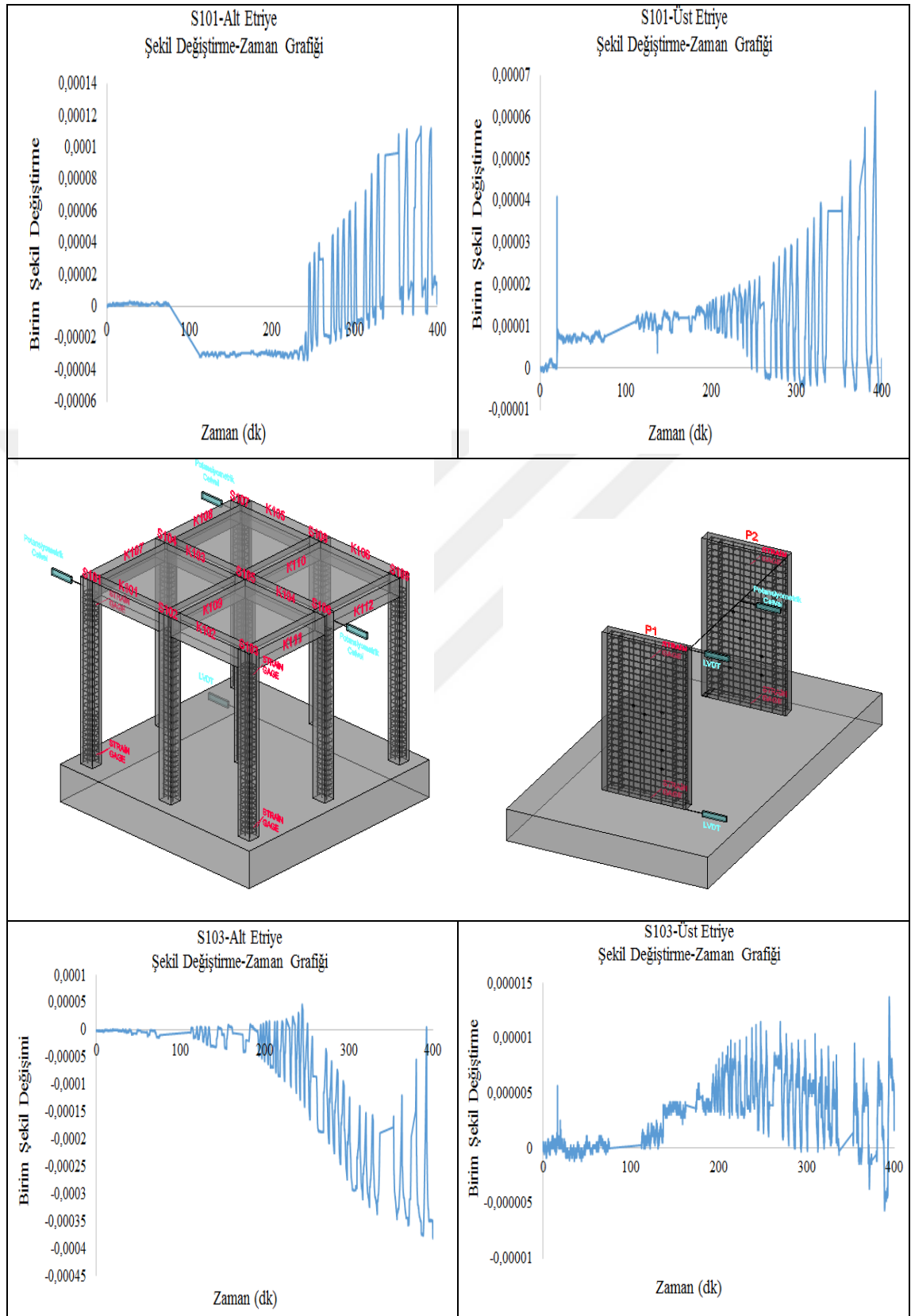
Şekil 3.113. 4.Deney için yatay yük ve kolon boyuna donatı birim şekil değişirme eğrisi.



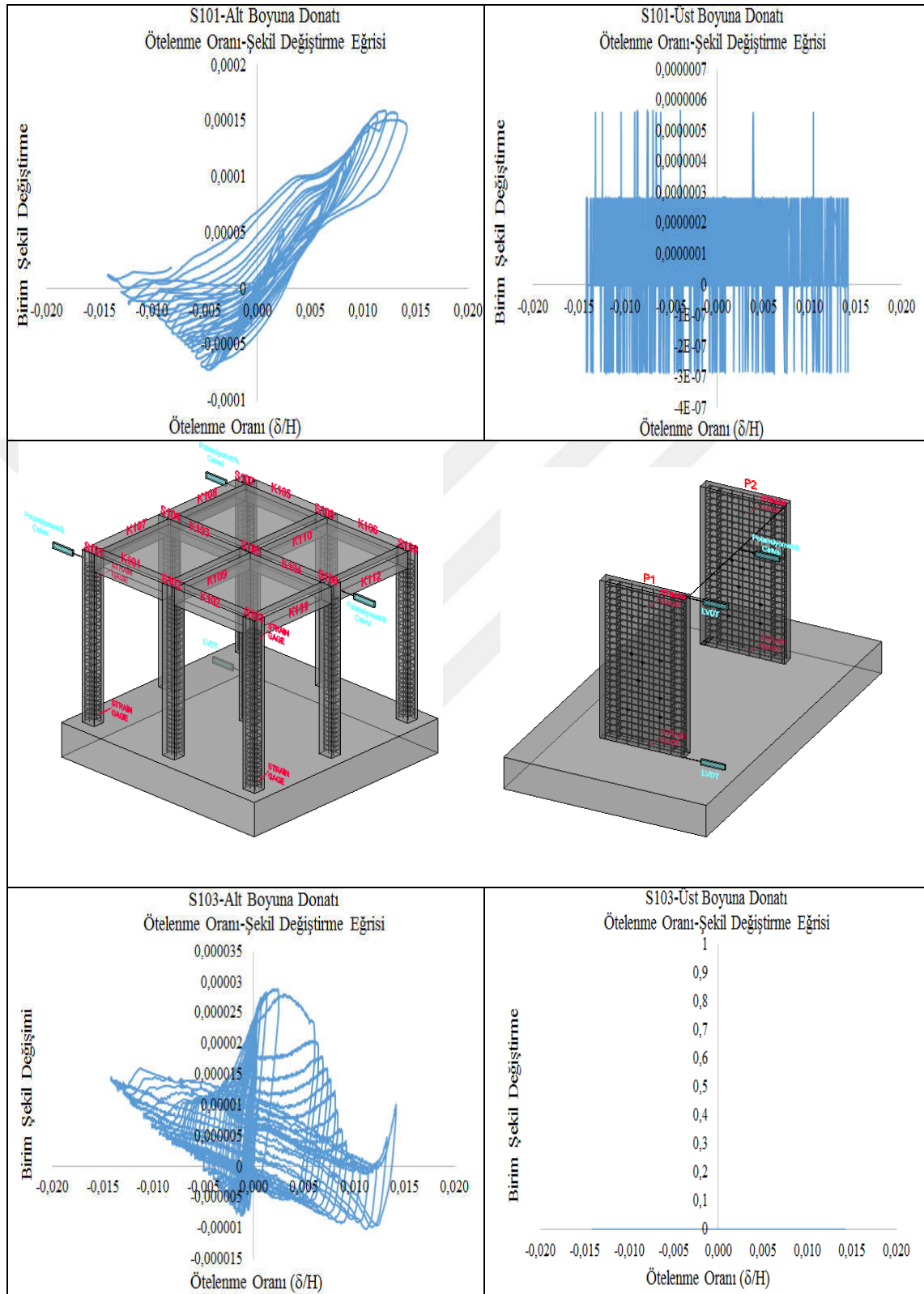
Şekil 3.114. 4.Deney için yatay yük ve kolon etriye birim şekil değiştirme eğrisi.



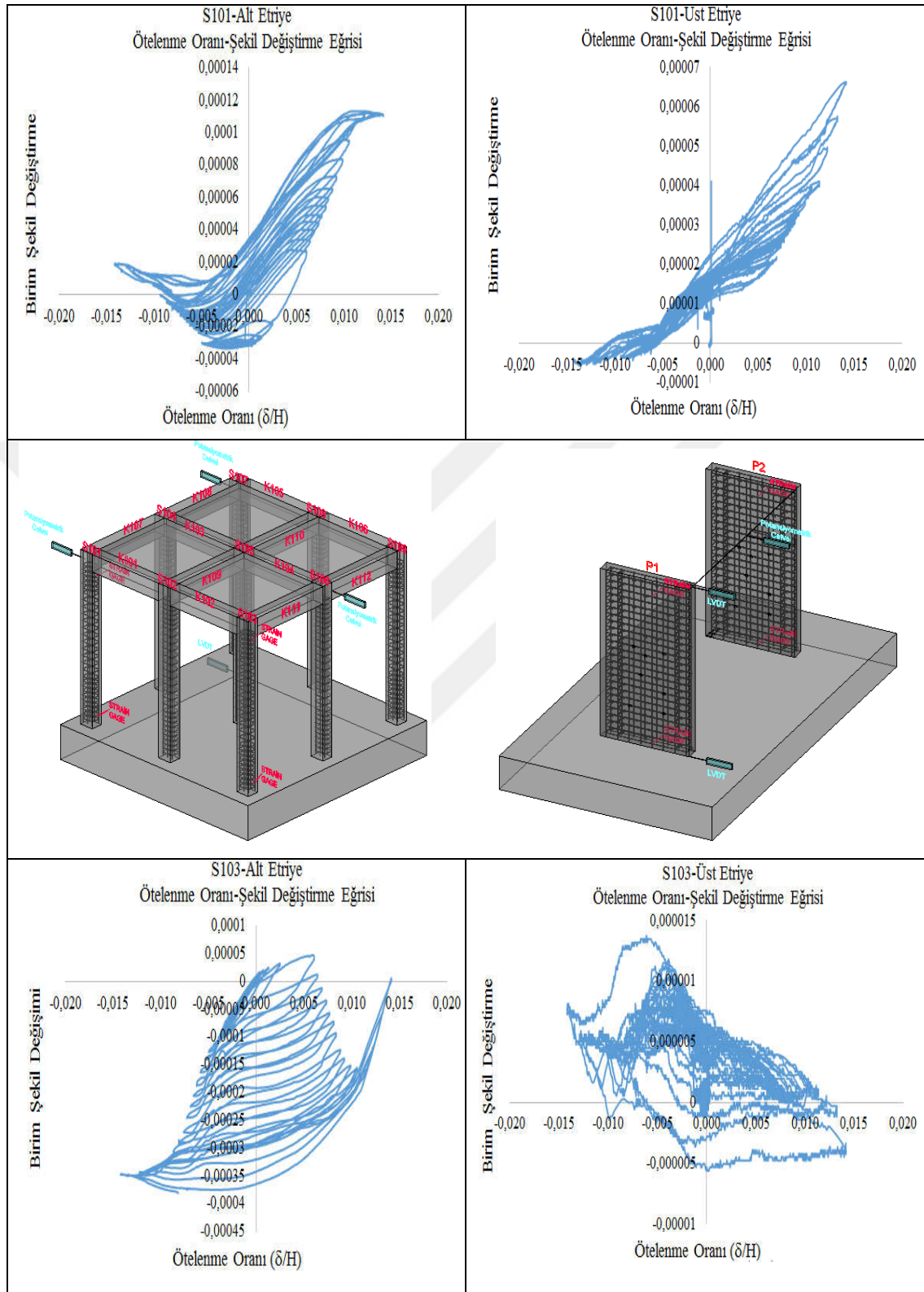
Şekil 3.115. 4.Deney için kolon boyuna donatı birim şekil değışirme zaman grafiğı.



Şekil 3.116. 4.Deney için kolon etriye birim şekil değiştirme zaman grafiği.



Şekil 3.117. 4.Deney için kolon boyuna donatı birim şekil değiştirme ötelenme oranı eğrisi.

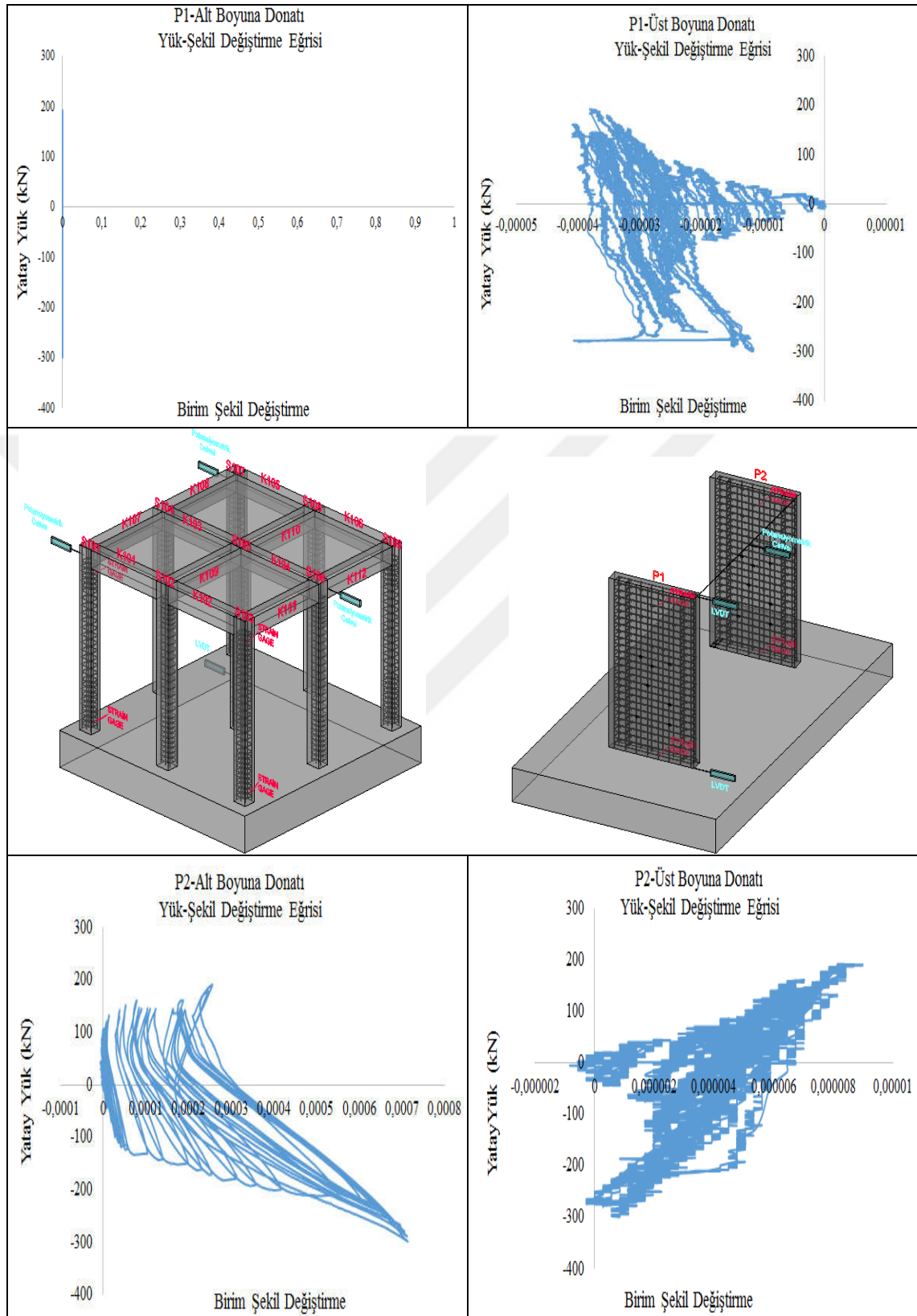


Şekil 3.118. 4.Deney için kolon etriye birim şekil değiştirme ötelenme oranı eğrisi.

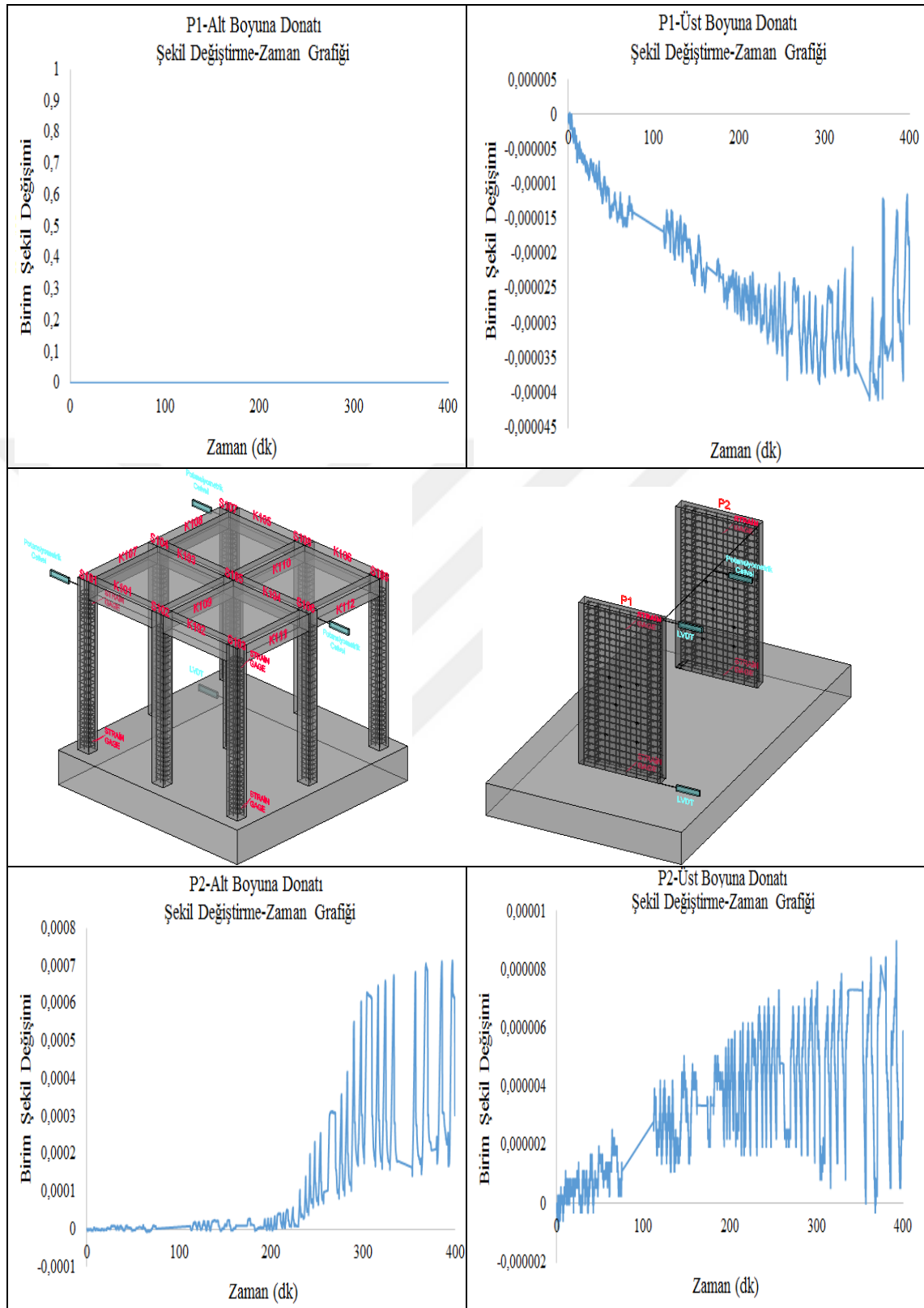
Tablo 3.12. 4.Deney için farklı hasar sınırlarında kolonlardaki birim deformasyonlar.

4.Deney	Boyuna Donatı Birim Deformasyon						Enine Donatı Birim Deformasyon					
	Kısalma 10^{-3}			Uzama 10^{-3}			Kısalma 10^{-3}			Uzama 10^{-3}		
	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ
S101 Alt	0,021	-	-	0,144	-	-	0,006	-	-	0,088	-	-
S101 Üst	0.000	-	-	0.000	-	-	0,003	-	-	0,037	-	-
S103 Alt	0,0005	-	-	0,006	-	-	0,164	-	-	0,330	-	-
S103 Üst	0.000	-	-	0.000	-	-	0,0008	-	-	0,004	-	-

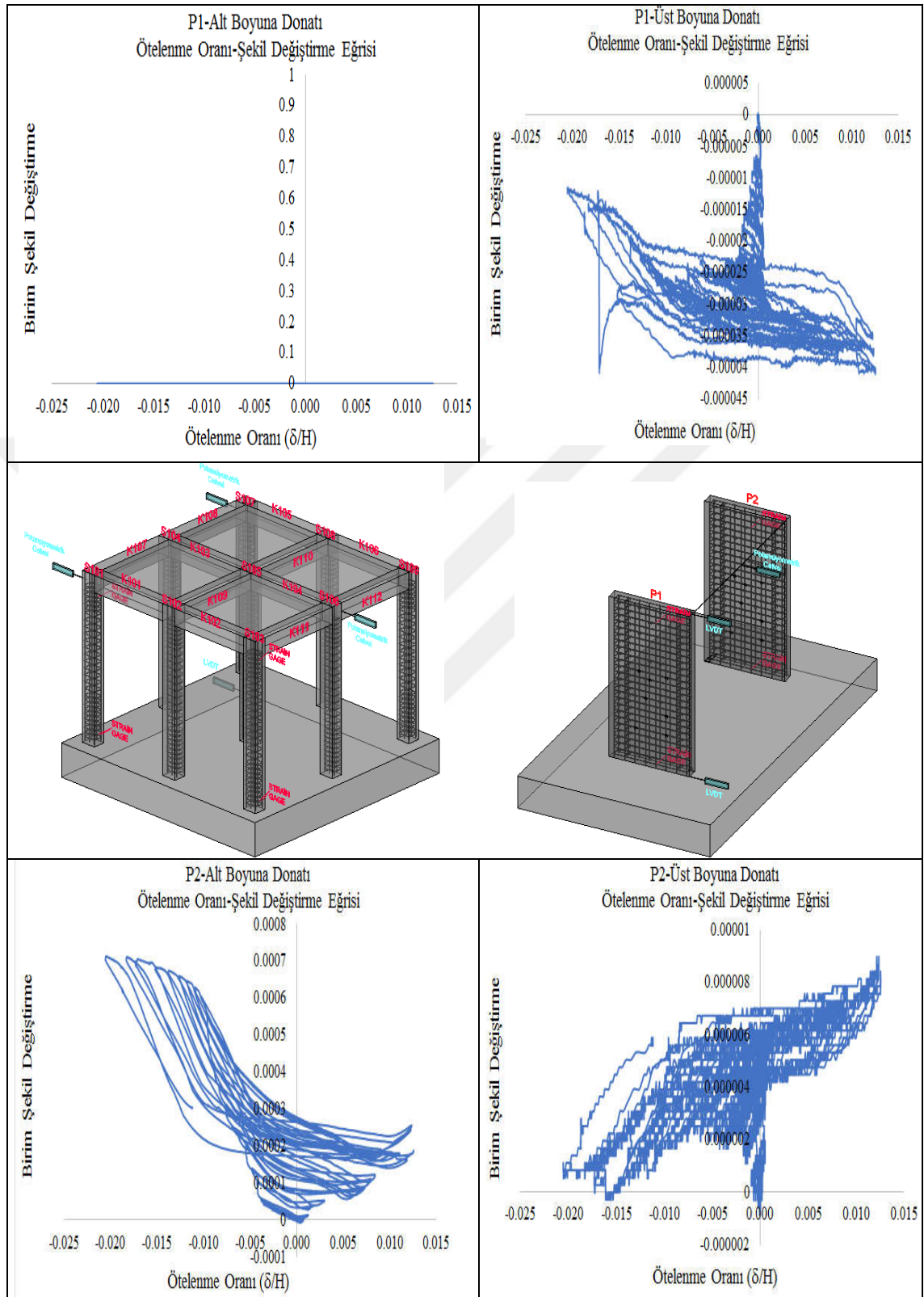
4.deneyde S101 ve S103 alt boyuna donatı grafiklerine bakıldığında ilk döngülerde histerisis eğrileri oldukça düzgün ve sık iken sonrasında ise deplasman artışına bağlı olarak histerisis eğrilerinde açılmalar gözlenmiştir. S101 ve S103 alt boyuna donatılarından elde edilen grafiklere göre ilk döngülerden itibaren yatay yükün artmasıyla birim şekil değişiminin arttığı görülmüştür. S101 üst boyuna donatıya yapıştırılan strain gaugeden alınan verilerin pek sağlıklı olmadığı düşünülmektedirken S103 üst boyuna donatıdan ise veri alınamamıştır. Boyuna donatılardaki kısaltmalar sırasında meydana gelen birim şekil değişimleri uzamalardan daha az miktarda oluşmaktadır. Beton basınç kuvvetine donatı ile beraber karşı koyarken çekme kuvvetini donatı tek başına karşılamaktadır. Dolayısıyla boyuna donatılardaki kısaltmalardan kaynaklanan birim şekil değişimleri uzamalardan daha az oranda meydana gelmektedir. Enine donatılardan elde edilen grafiklere bakıldığında ise boyuna donatılarda olduğu gibi ilk döngülerde eğri sıklığı oldukça yoğunken ilerleyen döngülerde eğrilerde açılmalar gözlenmiştir. Bununla birlikte grafiklerde, döngüler ilerledikçe yatay yükün artışıyla birlikte birim şekil değiştirmenin de arttığı gözlenmiştir. Enine donatılarda genellikle uzama haricinde ayrıca bir durum olmamasından dolayı, S103 kolonu alt ve üst enine donatıları için itme ve çekme döngülerindeki birim şekil değişimleri birbirine benzer değerler almıştır. S101 kolonu alt ve üst enine donatılarında uzamayla birlikte, sıkışma ve basınç kuvvetinden kaynaklanan kısalma birim şekil değişimleri de görülmüştür. Boyuna ve enine donatılarda birim şekil değişimi ötelenme oranı grafikleri incelendiğinde ötelenme oranı arttıkça birim şekil değişiminin de arttığı gözlenmiştir. Taşıyıcı sistemde akma gerçekleşikten sonra kolon boyuna donatılarının birim deformasyonlarında artma ve azalmalar görülürken, etriyelerde ise maksimum birim deformasyonlar görece ötelenmenin en büyük olduğu döngülerde meydana gelmiştir.



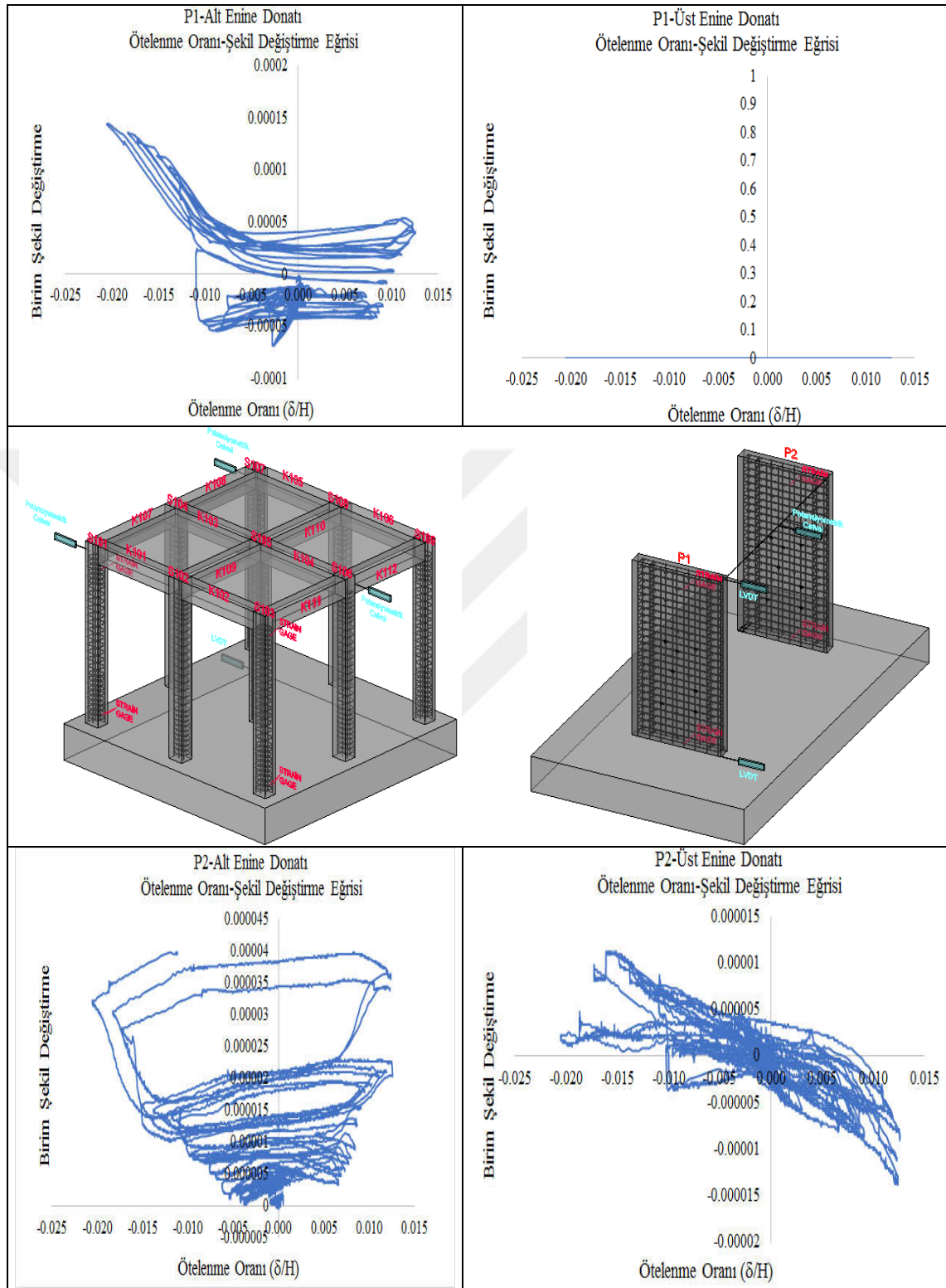
Şekil 3.119. 4.Deney için yatay yük ve perde boyuna donatı birim şekil değişirme eğrisi.



Şekil 3.121. 4.Deney için perde boyuna donatı birim şekil değiştirme zaman grafiği.



Şekil 3.123. 4.Deney için perde boyuna donatı birim şekil değiştirme ötelenme oranı eğrisi.



Şekil 3.124. 4.Deney için perde enine donatı birim şekil değiştirme ötelenme oranı eğrisi.

Tablo 3.13. 4.Deney için farklı hasar sınırlarında perdelerdeki birim deformasyonlar.

4.Deney	Boyuna Donatı Birim Deformasyon						Enine Donatı Birim Deformasyon					
	Kısalmax10 ⁻³			Uzamax10 ⁻³			Kısalmax10 ⁻³			Uzamax10 ⁻³		
	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ	MN	GV	GÇ
S101 Alt	0,594	-	-	0,184	-	-	0,008	-	-	0,019	-	-
S101 Üst	0,002	-	-	0,007	-	-	0,0008	-	-	0,006	-	-
S103 Alt	0.000	-	-	0.000	-	-	0.000	-	-	0.000	-	-
S103 Üst	0,047	-	-	0,003	-	-	0,028	-	-	0,036	-	-

4.deney için P1 perdesi üst ve P2 perdesi alt boyuna donatı grafiklerine göre ilk döngülerde histerisis eğrilerinde daha yakın geçişler mevcutken ilerleyen döngülerde histerisis eğrilerinde açılmalar olduğu gözlenmiştir. Ancak P1 alt boyuna donatısına yerleştirilen strain gaugeden okuma alınamamıştır. Boyuna donatıların grafiklerinde döngü ilerleyip yatay yük arttıkça birim şekil değişiminin arttığı görülmektedir. Bununla birlikte boyuna donatılarda kısalmaya bağlı birim deformasyonlar oldukça az miktarda meydana gelmiştir. Bunun nedeni ise betonun basınca çalışmasından dolayı kısalma anında donatı ile beraber çalışması ve uzama anında ise sadece donatının gerilmelere karşı koymasındır. Hem P1 hem de P2 perdelerinin enine donatı grafikleri incelendiğinde ilk döngülerde eğrilerin birbirlerinin yakınından geçtiği ancak ilerleyen döngülerde zarf eğrilerinde açılmalar meydana geldiği gözlenmiştir. P1 perdesi üst enine donatıya yapıştırılan strain gaugeden veri alınamamıştır. Bunun dışında diğer enine donatı grafikleri incelendiğinde Enine donatılarda döngü sonunda uzama durumu ortaya çıkmış bununla birlikte çok az da olsa basınç kuvvetinden kaynaklanan kısalma birim şekil değiştirmeleri gözlenmiştir. Ayrıca boyuna donatılardaki birim şekil değişimlerinin enine donatılardaki birim şekil değişimlerinden daha fazla olduğu görülmüştür. Birim şekil değişimi zaman grafikleri diğer deneylerdekilere benzer şekilde her iki perdenin hem boyuna hem de enine donatıları için kademeli olarak artmıştır. Tüm perdelerin boyuna ve enine donatıları için çizilen birim şekil değişimi ötelenme oranı grafikleri değerlendirildiğinde göreceli ötelenme miktarı arttıkça birim şekil değişiminin de arttığı gözlenmiştir. Ayrıca akma gerçekleştikten sonra, hem enine hem de boyuna donatılarda maksimum birim deformasyonlar göreceli ötelenmenin en büyük olduğu döngülerde meydana gelmiştir. Deprem Yönetmeliği 2007 'de belirtilen hasar sınırlarına göre Tablo 3.11'de perdelerin boyuna ve enine donatıları için birim şekil değişimleri verilmiştir.

3.2. Deneysel Verilerin Karşılaştırılması

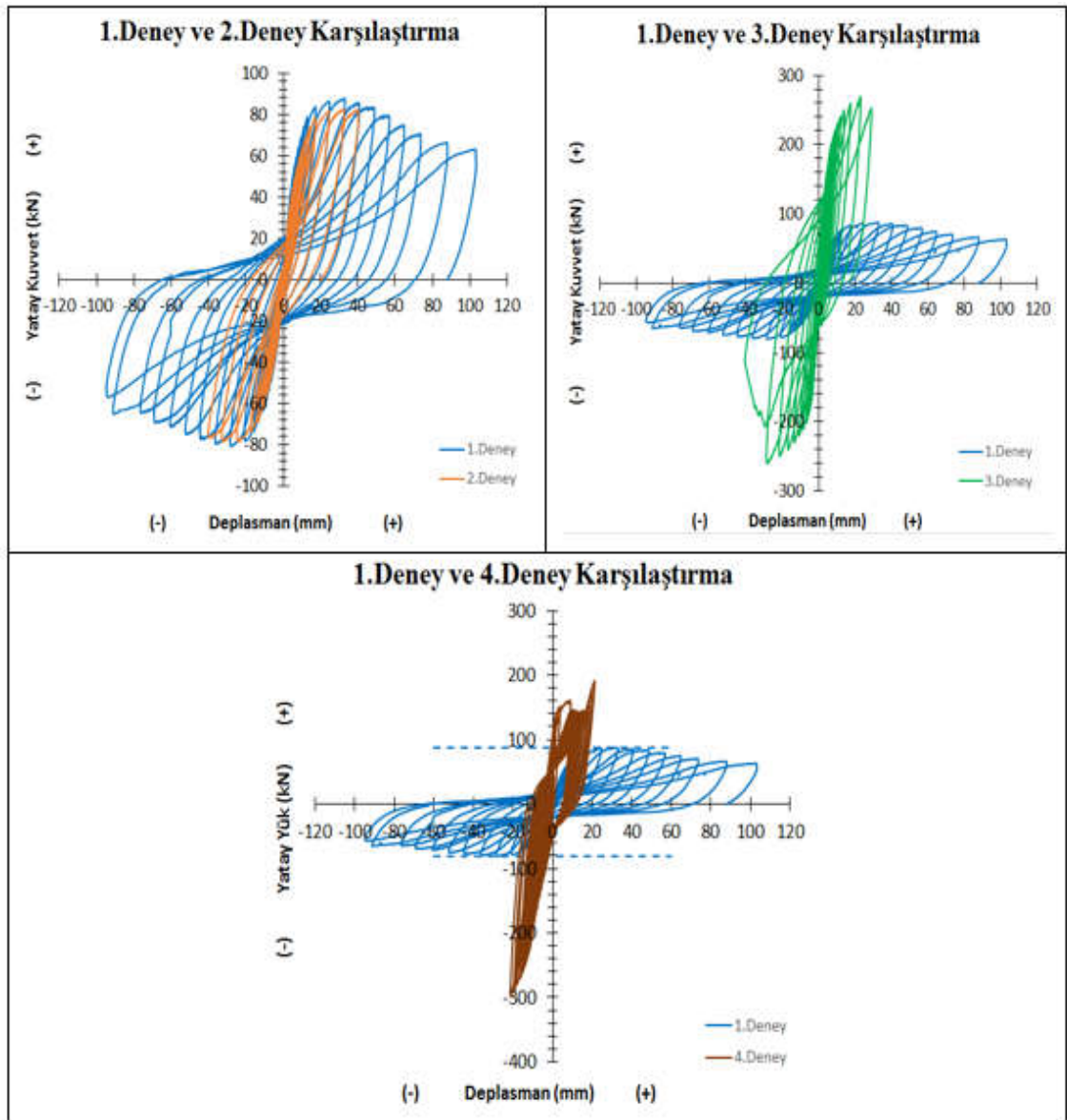
Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen 4 adet deneyden elde edilen veriler ve bu veriler kullanılarak hesaplanan parametreler yukarıda verilmiştir. Bu kısımda ise bu bulgular başta referans numuneden elde edilen veriler olmak üzere gruplar halinde birbirleri ile karşılaştırması yapılmıştır. Bu gruplar özellikle tez çalışmasının amacına göre belirlenerek buna göre karşılaştırma yapılmıştır. Tez çalışmasının amacı deprem dayanımı yetersiz kusurlu betonarme çerçevelerin, bağ kirişli veya bağ kirişsiz olmakla birlikte çerçevelerin hasarlı veya hasarsız olmasına göre dış perde uygulaması ile güçlendirilmesi olduğundan, öncelikle referans numune ile güçlendirilmiş numuneler sırayla karşılaştırılmıştır. Ayrıca, 4 deneyin sonucu birlikte karşılaştırılmış, böylece hem referans numunenin kendine has davranışı, hem de hasarlı ve hasarsız çerçevelerin çelik dış perde ile aynı şekilde bağlanmasıyla oluşan güçlendirilmiş sistemlerin davranışı birlikte incelenerek, dış perdeyle güçlendirmenin hem hasarlı hem de hasarsız çerçeveler üzerine etkisi ortaya konulmuştur. Bununla birlikte her iki çerçeve için yapılan deneylerde kullanılan perdelerin de birbirleriyle karşılaştırılması mümkün olmuştur.

- ✓ Güçlendirilmemiş referans deney numunesi ile çelik bağ kirişli betonarme dış perde ile güçlendirilmiş hasarlı deney numunesinin karşılaştırılması,
- ✓ Güçlendirilmemiş referans deney numunesi ile çelik bağ kirişli betonarme dış perde ile güçlendirilmiş hasarsız deney numunesinin karşılaştırılması,
- ✓ Güçlendirilmemiş referans deney numunesi ile belirli bir seviyeye kadar hasar verilmiş referans numuneyle özdeş numune
- ✓ Güçlendirilmiş hasarlı deney numunesinde kullanılan betonarme dış perde ile güçlendirilmiş hasarsız deney numunesinde kullanılan betonarme dış perdelerin karşılaştırılması.
- ✓ Gerçekleştirilen 4 deneyin birlikte karşılaştırılması.(Referans numune, güçlendirme için kullanılan betonarme perdeler, çelik bağ kirişli dış perde ile güçlendirilmiş hasarlı numune, çelik bağ kirişli dış perde ile güçlendirilmiş hasarsız numune.)

Çalışma kapsamında karşılaştırma için verilecek grafikler; deneysel kuvvet deplasman grafiği, toplam yatay yük–kat deplasmanı dayanım zarfı, rijitlik azalım–ötelenme oranı grafiği, rijitlik açısı–döngü numarası, kümülatif toplam tüketilen enerji–döngü numarası ve tüketilen enerji–ötelenme oranı grafiğidir.

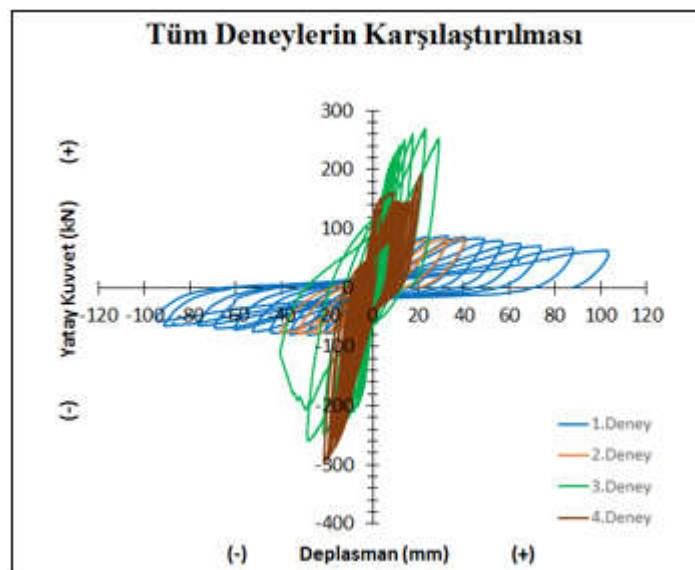
3.2.1. Deneysel Kuvvet Deplasman İlişkisinin Karşılaştırılması

Yukarıda bahsedildiği üzere 1.deney olan referans numune deneyi ile referans numuneye özdeş çerçevenin hasarlandırılması deneyi olan 2.deney ve diğer güçlendirme deneylerinden elde edilen kuvvet deplasman verileri karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte 3 nolu deney olan hasarlı çerçeve güçlendirme ve 4 nolu deney hasarsız çerçeve güçlendirme deneylerinde kullanılan perdelerin de kuvvet deplasman grafikleri karşılaştırılmıştır.

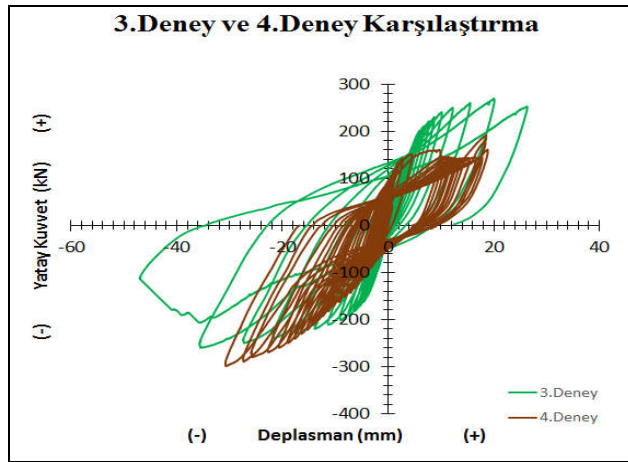


Şekil 3.125. 1.Deneyin yatay kuvvet- deplasman grafiklerinin diğer deneylerle karşılaştırılması.

Referans numune, referans numuneye özdeş hasarlandırılan numune ile hasarlı perdeli ve hasarsız perdeli numunelere ait histerisis eğrileri Şekil 3.125. 'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Görüldüğü üzere ilk çevrimlerde, 1 nolu deneyle 2 nolu deneyin histerisis eğrileri birbirine oldukça yakın davranış sergileyerek çakışmıştır. İleriki çevrimlerde ise histerisis eğrilerinde oldukça az miktarda farklılık gözlenmiştir. Özdeş numune ile aynı koşullarda gerçekleştirilmesine rağmen ileri çevrimlerde dayanımda gözlenen %6.43 lük ve deplasmanda gözlenen %6.18 lik bu küçük farkın nedenin ise deney düzeneği ya da yükleme hızı gibi deney yapımı sırasında meydana gelmiş olması muhtemel küçük farklar olduğu düşünülmektedir. Referans numuneye özdeş numune ile gerçekleştirilen deneyde çerçeve numunenin maksimum kapasitesine ulaşmayarak daha önceden belirlenen %2,6 hasar sınırında 19. itme döngüsünden sonra deney sonlandırılmıştır. 1 nolu deneyle 2 nolu deneyde hasarlandırılan numuneye 3 nolu deneyde betonarme dış perde eklenmesiyle gerçekleştirilen deneyin histerisis eğrilerine bakıldığında, sisteme ilave edilen perdeler sebebiyle betonarme çerçevelerin dayanımı 2.71 kat artarken yaptığı deplasman miktarı % 71.86 oranında azalmıştır. Referans numune ile 4.deney olan hasarsız çerçevenin dış perde ile güçlendirilmesi deneyinin histerisis eğrileri karşılaştırıldığında ise çerçevelerin dayanımı 2.41 kat artarken yaptığı deplasman miktarı % 79.41 oranında azalmıştır. Şekil 3.126'da ise gerçekleştirilen tüm deneylerden elde edilen histerisis eğrileri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 3.126. Tüm deneylerin yatay kuvvet- deplasman grafiklerinin karşılaştırılması.



Şekil 3.127. 3. ve 4. deneyde kullanılan perdelerin yatay kuvvet- deplasman grafiklerinin karşılaştırılması.

Şekil 3.127’de ise 3 nolu deney olan hasarlı çerçevenin güçlendirilmesinde kullanılan betonarme dış perdeler ile hasarsız çerçevenin güçlendirilmesinde kullanılan betonarme dış perdelerden elde edilen histeresis eğrileri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Buna göre 4 nolu deneyden elde edilen histeresis eğrisinin dayanımı 3 nolu deneydekine göre daha yüksekken yaptığı deplasman miktarı daha düşüktür.

Tablo 3.14. Deneylerde kullanılan çerçevelerin akma yükü ve deplasmanları

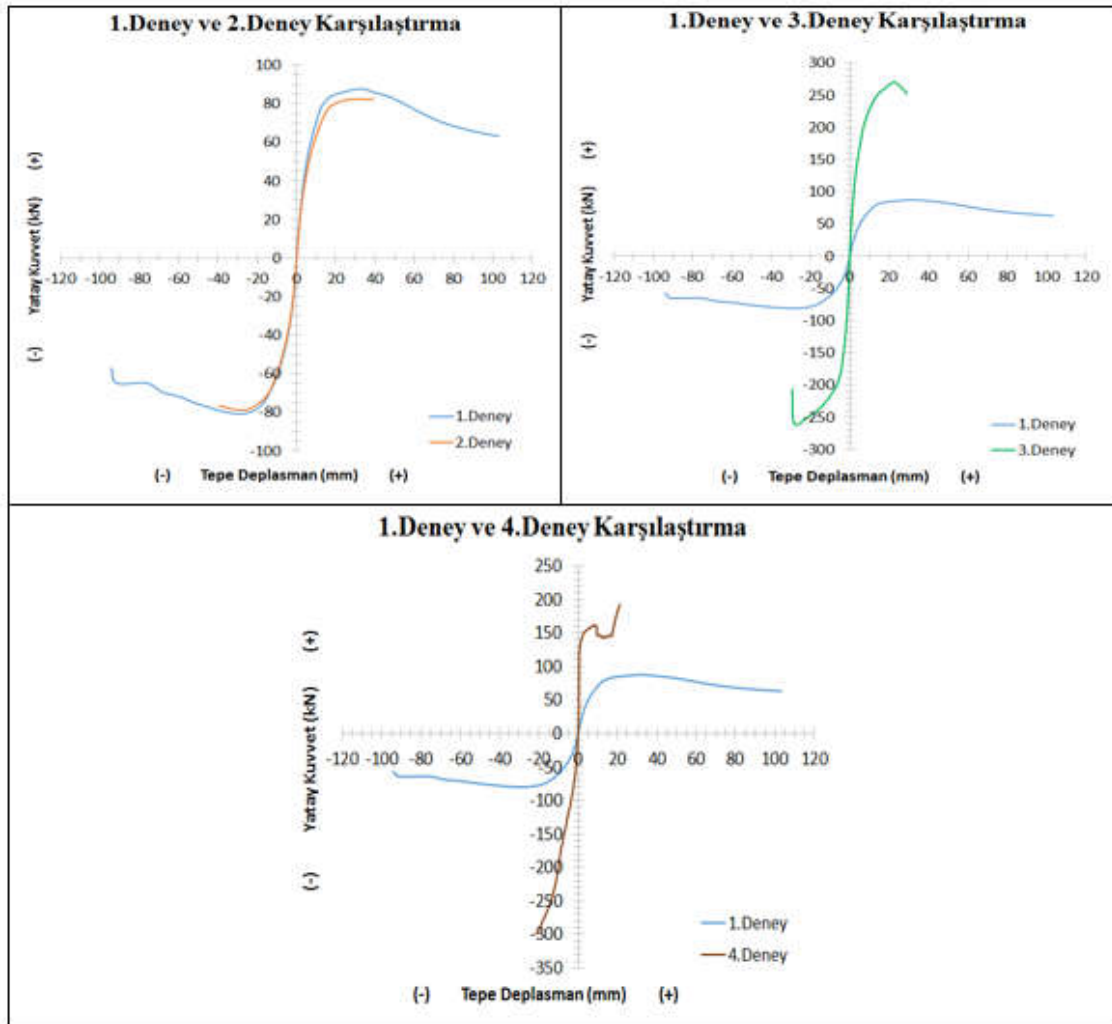
Deney Adı	Deney No	Döngü No	Yükleme Tipi	Akma Yükü (kN)	Deplasman (mm)
Referans Çerçeve Deneyi	1	17	Çekme	82	27.96
Çerçeveye Hasar Verme Deneyi	2	17	İtme	81	24.46
Hasarlı Çerçevenin Güçlendirilmesi Deneyi	3	41	Çekme	207	29.04
Hasarsız Çerçevenin Güçlendirilmesi Deneyi	4	28	İtme	164	9.11

Deneyssel çalışmalara perde ilave edildiğinde akma yükünün arttığı görülmektedir. En yüksek akma yüküne hasarlı çerçeveye perde ilave edildiği deneyde ulaşılmıştır. Ayrıca akmanın gerçekleştiği andaki en yüksek deplasman değeri de bu deneyde elde edilmiştir. Bunun dışında özdeş sistem deneyleri olan 1 ve 2 nolu deneylerden elde edilen sonuçlar birbirine oldukça yakındır. Ancak 4 nolu deney de hasarsız çerçevenin güçlendirilmesi

deneyi olmakla birlikte akma olayı sadece itme döngüsü için gerçekleşmiş olup çekme döngüsü için deney bittiğinde dahi akma olayı gözlenmemiştir.

3.2.2. Deneysel Dayanım Zarf Eğrilerinin Karşılaştırılması

1.deney olan referans numune deneyi ile referans numuneye özdeş çerçevenin hasarlandırılması deneyi olan 2.deney ve diğer güçlendirme deneylerinden elde edilen yatay yük-yatay tepe deplasman eğrilerine ait dayanım zarf eğrileri verileri karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte 3 nolu deney olan hasarlı çerçeve güçlendirme ve 4 nolu deney hasarsız çerçeve güçlendirme deneylerinde kullanılan perdelerin de dayanım zarf eğrileri karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.128. 1.Deneyin dayanım zarf eğrilerinin diğer deneylerle karşılaştırılması.

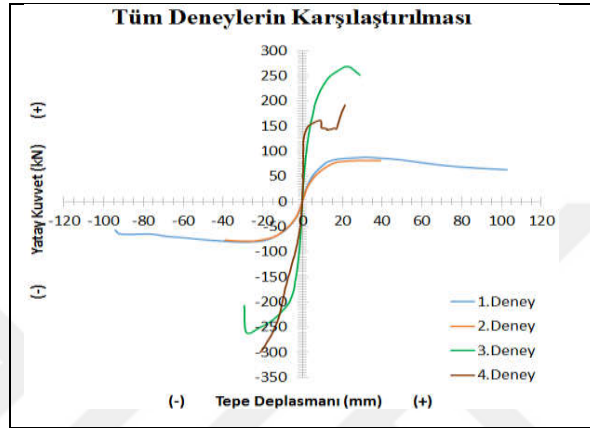
Tüm deney numunelerine ait dayanım zarfları Şekil 3.128’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. İtme döngüsünde, 1 nolu numune maksimum 87.75 kN yatay yük taşıırken, 2 nolu numune 82.32 kN yatay yük taşımıştır. Ayrıca güçlendirme deneylerinden 3 nolu numune maksimum 269.55 kN yatay yük taşıırken 4 nolu numune ise 191.40 kN yatay yük taşımıştır. Çerçevelere perde ilave edilmesiyle yatay yük taşıma kapasitesindeki artış 3 nolu numune için % 207.18 iken 4 nolu numune için % 118.12’dir. Çekme döngülerinde ise 1 nolu numune 80.66 kN yatay yük taşıırken, 2 nolu numune 78.50 kN yatay yük taşımıştır. Bununla birlikte 3 nolu numune maksimum 265 kN yatay yük taşıırken 4 nolu numune ise 300 kN yatay yük taşımıştır. Çekme döngülerinde yatay yük taşıma kapasitesindeki artış 3 nolu numune için % 222.77, 4 nolu numune için % 270.84 olmuştur. Numunelerden elde edilen maksimum tepe deplasmanları ise itme döngüsünde 1 nolu numune için 103 mm, 2 nolu numune için 39.29 mm, 3 nolu numune için 28.98 mm ve 4 nolu numune için 21.21 mm’dir. Çerçevelere perde ilave edilmesiyle itme döngüsünde deplasman yapma kabiliyetindeki düşüş 3 nolu numune için % 71.86 iken 4 nolu numune için % 79.41’dir. Çekme döngülerinde elde edilen maksimum tepe deplasmanları ise 1 nolu numune için 94.12 mm, 2 nolu numune için 39.15 mm, 3 nolu numune için 29.24 mm ve 4 nolu numune için 21.21 mm’dir. Çerçevelere perde ilave edilmesiyle çekme döngüsünde tepe deplasman değerindeki düşüş 3 nolu numune için % 68.93 iken 4 nolu numune için % 77.46’dır.

Tablo 3.15. Deney numunelerinin yatay yük taşıma kapasitelerinin karşılaştırılması

Deney Numunesi	Maksimum Yatay Yük/Deplasman		Maksimum Yatay Yük Oranı
	Yük (kN)	(δ/H)	
1.Deney	87.75	0.02195	1.00
2.Deney	82.32	0.02124	0.94
3.Deney	270	0.01528	3.07
4.Deney	300	0.01412	3.41

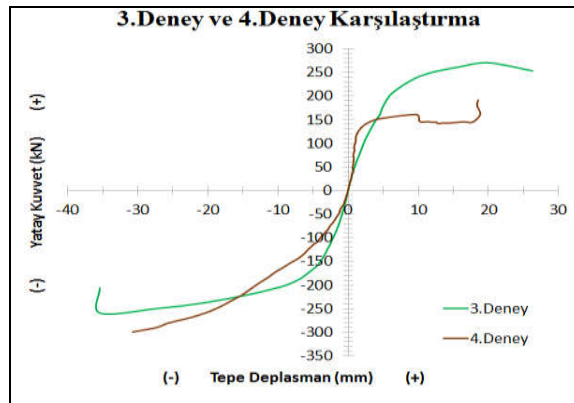
Test edilen numunelerin sonuçlarının daha iyi karşılaştırılabilmesi amacıyla dayanım zarfı eğrileri birleştirilmiş, Şekil 3.129’ da verilmiştir. Görüldüğü gibi perdeli deneylerde kullanılan numunelerin taşıdığı maksimum yükün yani dayanımının 3 nolu deney olan hasarlı çerçevenin çelik bağ kirişli dış perde ile güçlendirilmesi deneyi dayanımının en

yüksek olduğu deneydir. Tepe deplasman değerinin maksimuma ulaştığı deney ise referans deneyidir. Referans çerçeve diğer güçlendirme deneylerinde test edilen numunelere göre daha sünek bir davranış sergilemiştir. Diğer bir deyişle güçlendirme deneylerinde çerçeve sisteme eklenen perdelerin hem çerçevelerin hem de bir bütün olarak sistemin rijitliğini önemli ölçüde artırdığı gözlenmiştir (Tablo 3.15).



Şekil 3.129. Tüm deneylerin dayanım zarf eğrilerinin karşılaştırılması.

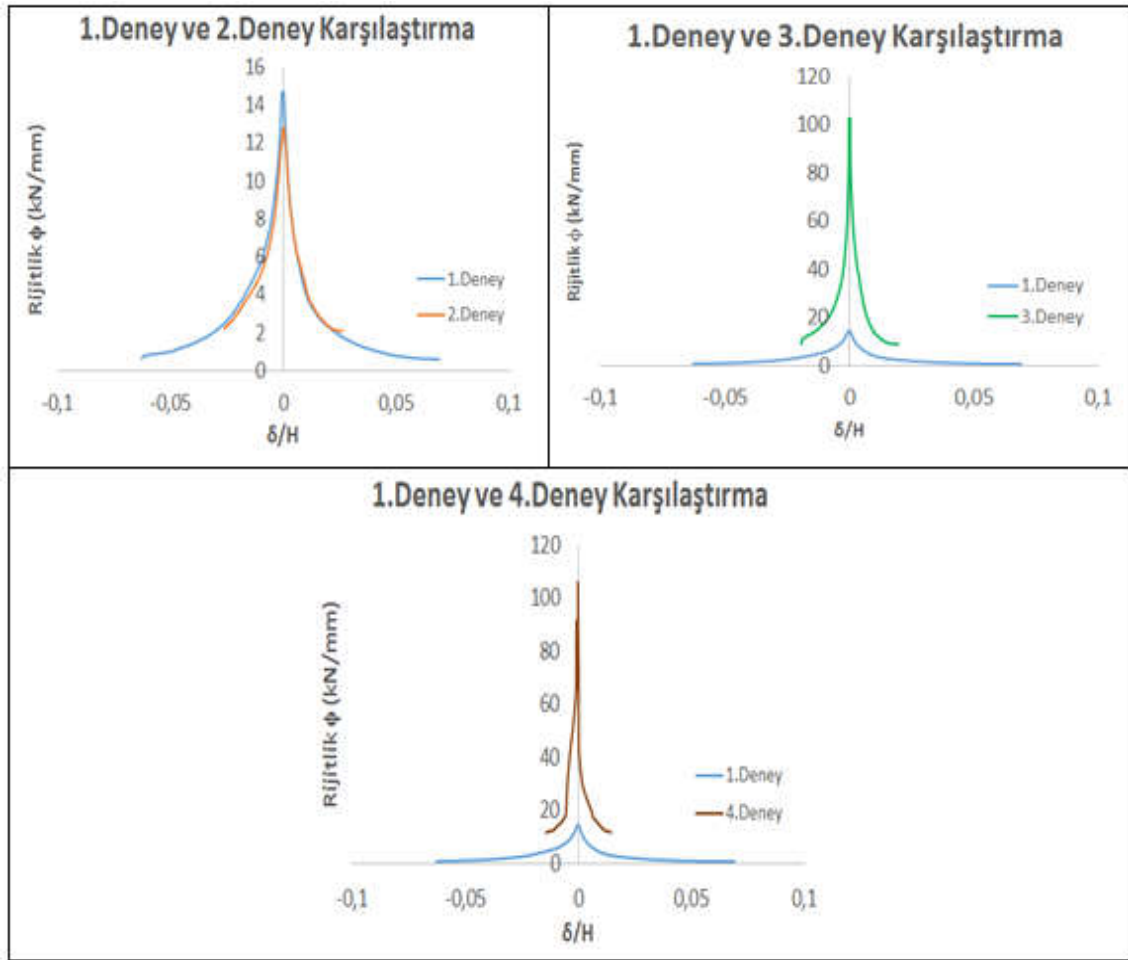
Şekil 3.130'da ise 3 nolu deneyde kullanılan betonarme dış perdeler ile 4 nolu deneyde kullanılan betonarme dış perdelerden elde edilen dayanım zarf eğrileri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Buna göre çekme döngülerinde 4 nolu deneyin dayanımı 3 nolu deneyin dayanımına göre daha fazlayken yaptığı deplasman miktarı biraz daha düşüktür. İtme döngülerinde ise 3 nolu deneyin hem dayanımı hem de deplasman miktarı 4 nolu deneyin dayanım ve deplasman miktarından fazladır.



Şekil 3.130. 3. ve 4. Deneyde kullanılan perdelerin dayanım zarf eğrilerinin karşılaştırılması.

3.2.3. Deneyel Rijitlik Azalım Grafiklerinin Karşılaştırılması

Referans numune (1.deney) deneyi ile referans numuneye özdeş çerçevenin hasarlandırılması deneyi olan 2.deney ve diğer güçlendirme deneylerinden elde edilen rijitlik azalım eğrileri karşılaştırılmıştır. Ayrıca 3 nolu deney olan hasarlı çerçeve güçlendirme ve 4 nolu deney hasarsız çerçeve güçlendirme deneylerinde kullanılan perdelerin de rijitlik azalım grafikleri karşılaştırılmıştır. Rijitlik azalım grafikleri, deney sonuçlarının daha iyi karşılaştırılabilmesi amacıyla, döngü sayısına bağlı olarak değil, δ/H oranına bağlı olarak verilmiştir.



Şekil 3.131. 1.Deneyin rijitlik azalım grafiklerinin diğer deneylerle karşılaştırılması.

Sırasıyla; 2, 3 ve 4 nolu deney numunelerinin 1 nolu referans deney numunesiyle karşılaştırılabilmesi için elde edilen yatay yük-tepe deplasmanına bağlı rijitlik azalımı grafikleri Şekil 3.131.'de verilmiştir. Yukarıda verilen grafiklerden görüldüğü üzere, yatay yük-tepe deplasmanı için, 1 nolu deneyde başlangıç rijitliği 15.92 kN / mm, 2 nolu

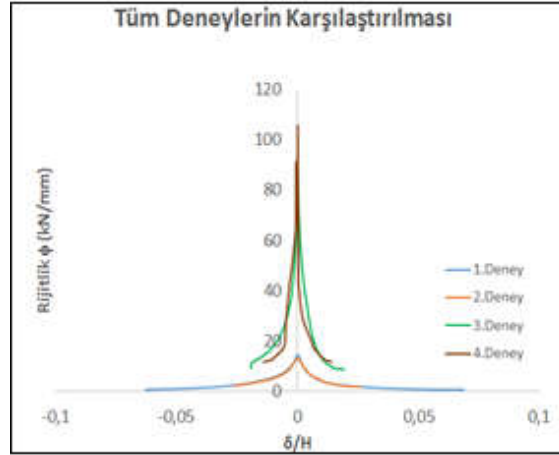
deneyde ise başlangıç rijitliği 12.77 kN / mm'dir. İlerleyen döngülerde ise rijitlikler hızla düşmüştür. Özellikle 1. deney numunesinde, tepe deplasmanı / toplam yükseklik oranı 0.02'den sonra, 2. deney numunesinde ise tepe deplasmanı / toplam yükseklik oranı 0.0165'den sonra rijitlik değerlerindeki azalmanın yavaşladığı görülmektedir. 1.deney numunesi 2.deney numunesine göre % 19.78 daha fazla başlangıç rijitliğine sahiptir. Numuneler özdeş olmasına rağmen bu duruma deney esnasında yükleme hızı vb. gibi küçük farklıların neden olduğu düşünülmektedir. Dış perde ile güçlendirme deneylerine bakıldığında ise hasarlı numunenin güçlendirildiği 3 nolu deneyde başlangıç rijitliği 102.35 kN / mm, hasarsız numunenin güçlendirildiği 4 nolu deneyde ise başlangıç rijitliği 105.71 kN / mm olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde bu deneylerde de ilerleyen döngülerde rijitlikler de düşüş gözlenmiştir. 3. deney numunesinde, tepe deplasmanı / toplam yükseklik oranı 0.009'dan sonra, 4. deney numunesinde ise tepe deplasmanı / toplam yükseklik oranı 0.005'den sonra rijitlik değerlerindeki azalmanın yavaşladığı görülmektedir. Söz konusu deneyler, 1.deney olan referans deneyi ile karşılaştırıldığında 3.deney numunesinin referans numuneye göre % 542.90 daha fazla başlangıç rijitliğine sahipken 4.deney numunesi ise % 564 daha fazla başlangıç rijitliğine sahiptir.

Tablo 3.16. Deney numunelerinin rijitliklerinin karşılaştırılması

Deney Numunesi	Rijitlik Değerleri (kN/mm)			(δ/H) Oranları		İlk Döngü Rijitliklerinin Oranı	Maks. Yük Rijitliklerinin Oranı
	İlk Döngü	Maks. Yük	Son Döngü	Maks. Yük	Son Döngü		
1.Deney	15.93	2.14	0.61	0.022	0.069	1.00	1.00
2.Deney	12.77	2.23	2.09	0.021	0.026	0.80	1.04
3.Deney	102.36	9.13	8.71	0.015	0.019	6.43	4.27
4.Deney	105.71	11.57	11.57	0.014	0.014	6.64	5.40

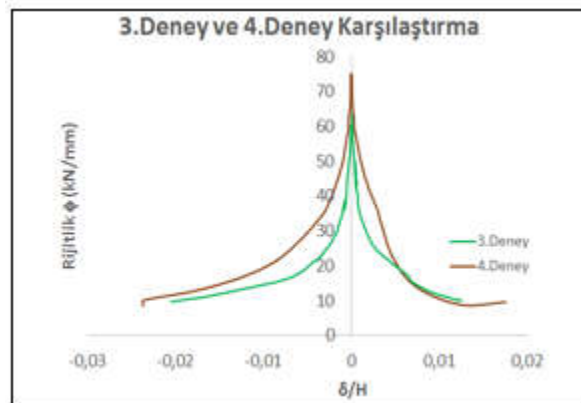
Tüm deney numunelerinin sonuçları tek bir grafikte Şekil 3.132'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı gibi perdeli deneylerde kullanılan numunelerin rijitliklerinin referans numunenin rijitliğinin 5 katından daha fazla olduğu görülmektedir. Referans numune ile 2 nolu numunenin rijitliklerinde ise özdeş numuneler olması sebebiyle birbirine oldukça yakın sonuçlar alınmıştır. Böylece güçlendirme deneylerinde

çerçevelere ilave edilen perdelerin hem çerçevelerin hem de sistemin rijitliğini büyük oranda artırdığı görülmektedir (Tablo 3.16).



Şekil 3.132. Tüm deneylerin rijitlik azalım grafiklerinin karşılaştırılması.

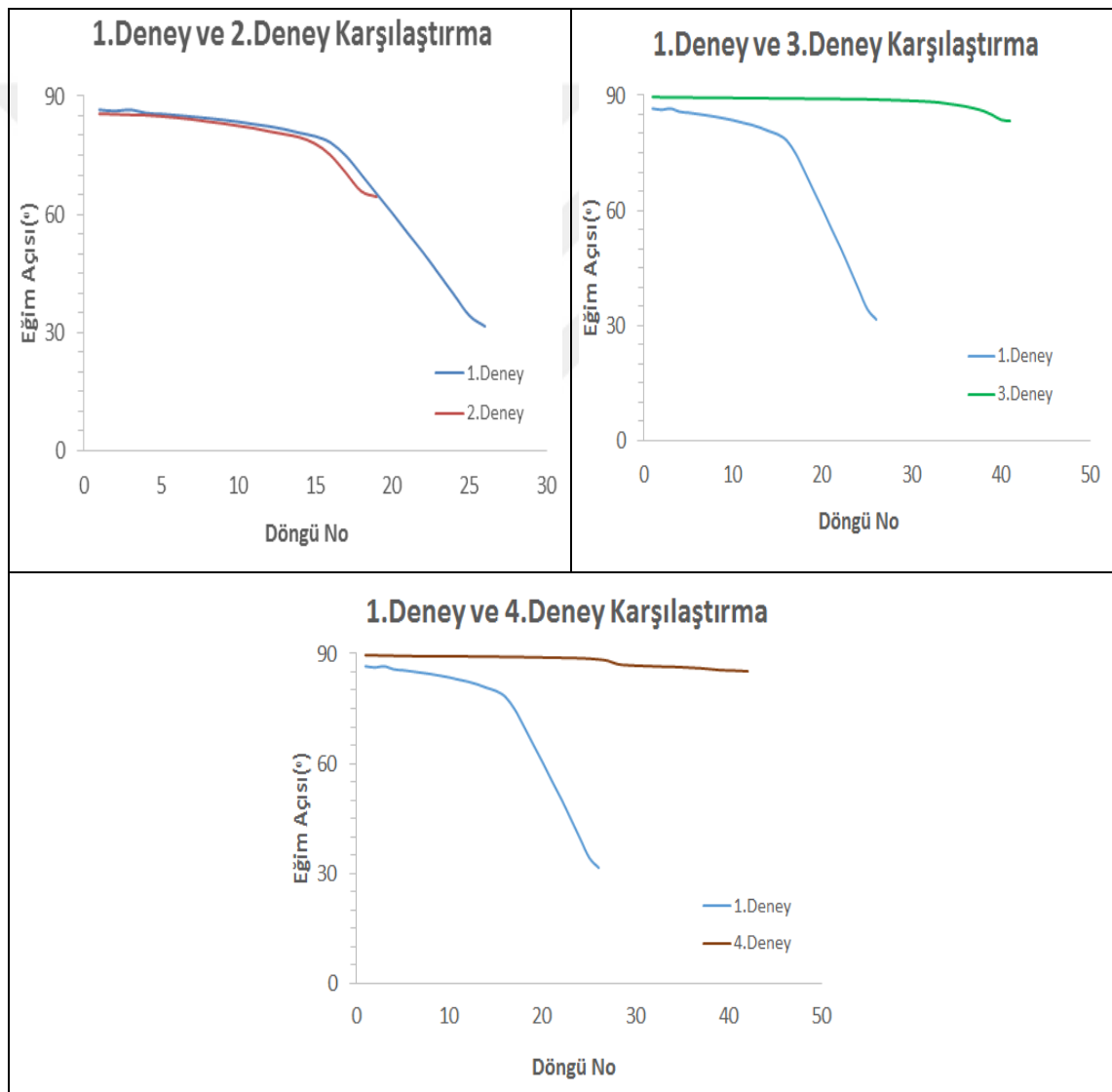
Şekil 3.133'de ise 3 nolu deneyde kullanılan betonarme dış perdeler ile 4 nolu deneyde kullanılan betonarme dış perdelerden elde edilen rijitlik azalım eğrileri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Buna göre hasarsız numunenin çelik bağ kirişli betonarme dış perdeler ile güçlendirildiği 4 nolu deneyin rijitliğinin, hasarlı numunenin çelik bağ kirişli betonarme dış perdeler ile güçlendirildiği 3 nolu deneyin rijitliğine göre daha büyük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak da hasarsız çerçevenin dayanım ve rijitliğinin hasarlı çerçevenin dayanım ve rijitliğinden daha fazla olmasıyla perdelerin de o oranda gösterdiği rijitlik olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.133. 3. ve 4.Deneyde kullanılan perdelerin rijitlik azalım grafiklerinin karşılaştırılması.

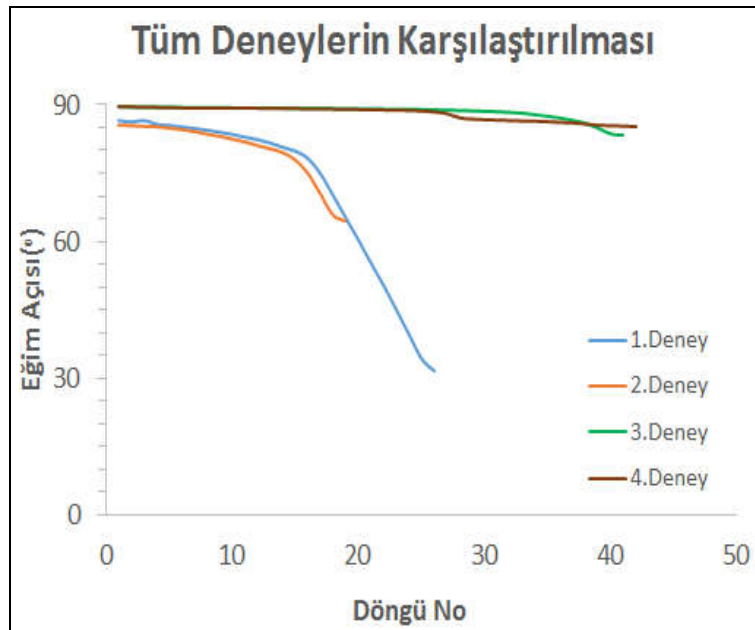
3.2.4. Deneysel Eğim Açısı Grafiklerinin Karşılaştırılması

Deney numunelerinin rijitlik değerlerinin daha iyi belirlenmesi ve karşılaştırılabilmesi amacıyla referans numune (1.deney) deneyi ile referans numuneye özdeş çerçevenin hasarlandırılması deneyi olan 2.deney ve diğer güçlendirme deneylerinden elde edilen eğim açısı grafikleri elde edilmiştir. Ayrıca 3 nolu deney olan hasarlı çerçeve güçlendirme ve 4 nolu deney hasarsız çerçeve güçlendirme deneylerinde kullanılan perdelerin de eğim açısı grafikleri karşılaştırılmıştır.



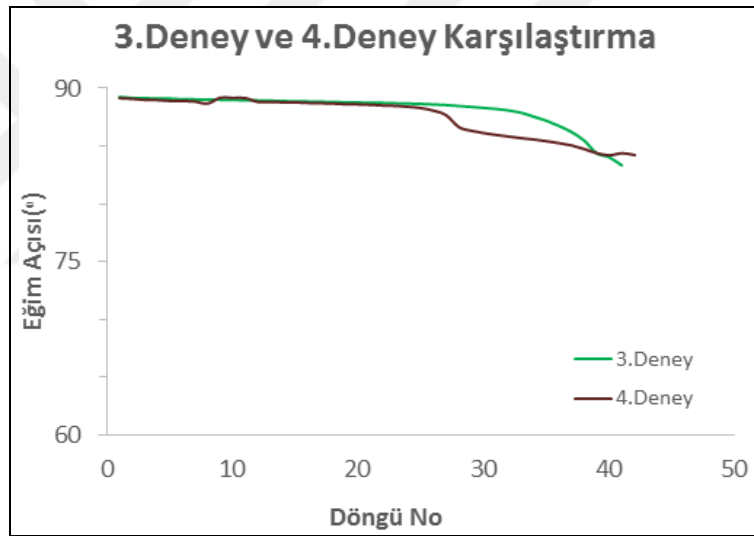
Şekil 3.134. 1.Deneyin eğim açısı grafiklerinin diğer deneylerle karşılaştırılması.

Tüm numunelerin referans numuneye göre eğim açılarının karşılaştırılması Şekil 3.134’ de verilen grafiklerle gösterilmiştir. Referans numune deneyi olan 1.deneyle özdeş numuneyle %2.6 hasar sınırına kadar hasarlandırılan 2 nolu deney arasında eğim açısı bakımından büyük bir fark bulunmamaktadır. Sadece eğrinin kuyruk kısmı 2 nolu deneyde 1 nolu deneye göre daha kısadır. Bunun nedeni de 2 nolu deneyin 1 nolu deneye göre tam kapasiyete ulaşmadan daha kısa sürede sonlandırılmasıdır. 3 ve 4 nolu deneylerde ise eğim açısı eğrisi 1 nolu referans deneye göre daha düz ve bir dik eğriyle temsil edilmektedir. Ayrıca eğim açısı başlangıç değerlerine bakıldığında perdeli sistemlerin başlangıç değerlerinin 90° ’ ye çok yakın olduğu gözlenmiştir. Referans numune deneyinde ise başlangıç eğim açısı değerinin perdeli deneylerdekine nazaran daha düşük olduğu görülmektedir. Referans numunede eğim açısı eğrisi 78° ’den sonra daha hızlı bir düşüş sergileyerek 30° ’nin biraz üzerinde bir noktada sonlanmıştır. Bu şekilde referans çerçevenin rijitliğinin ilk döngülere göre ileriki döngülerde daha hızlı bir düşüş yaşadığı düşünülmektedir. 2 nolu hasarlandırma deneyinde ise başlangıç eğim açısı %1 lik bir farkla hemen hemen aynı rijitlik değerinde başlayıp, 1 nolu numuneye benzer şekilde 78° ’den sonra daha hızlı bir düşüş sergilemiş ve deneyin erken bitirilmesi nedeniyle 64° civarında daha kısa bir eğri olarak kaldığı görülmektedir.



Şekil 3.135. Tüm deneylerin eğim açısı grafiklerinin karşılaştırılması.

Eğim açılarının karşılaştırılması ise yine aynı şekilde tek bir grafikte yapılmış ve Şekil 3.135’ te verilmiştir. Grafiklerde mavi renk RÇN numunesini, turuncu renk HÇN numunesini, yeşil renk HGÇN numunesini ve kahverengi renk ise GÇN numunesini temsil etmektedir. Yukarıdaki grafikten de anlaşılabileceği üzere perdeli deneylerde test edilen sistemlerin eğim açısı eğrileri daha dik, rijit ve düzdür. Eğim açısı eğrisi rijitlikle ilgili olduğundan bu durum perde ile güçlendirme deneylerinde test edilen sistemlerin referans numune deneyine oranla daha rijit olmasının bir göstergesi olduğu düşünülmektedir. Referans numune ile 2 nolu numunenin eğim açıları ise neredeyse aynı olup sadece 2 nolu eğri daha kısadır. Bu şekilde referans numune deneyinin güçlendirme deneylerine oranla daha sünek olduğu söylenebilmektedir.

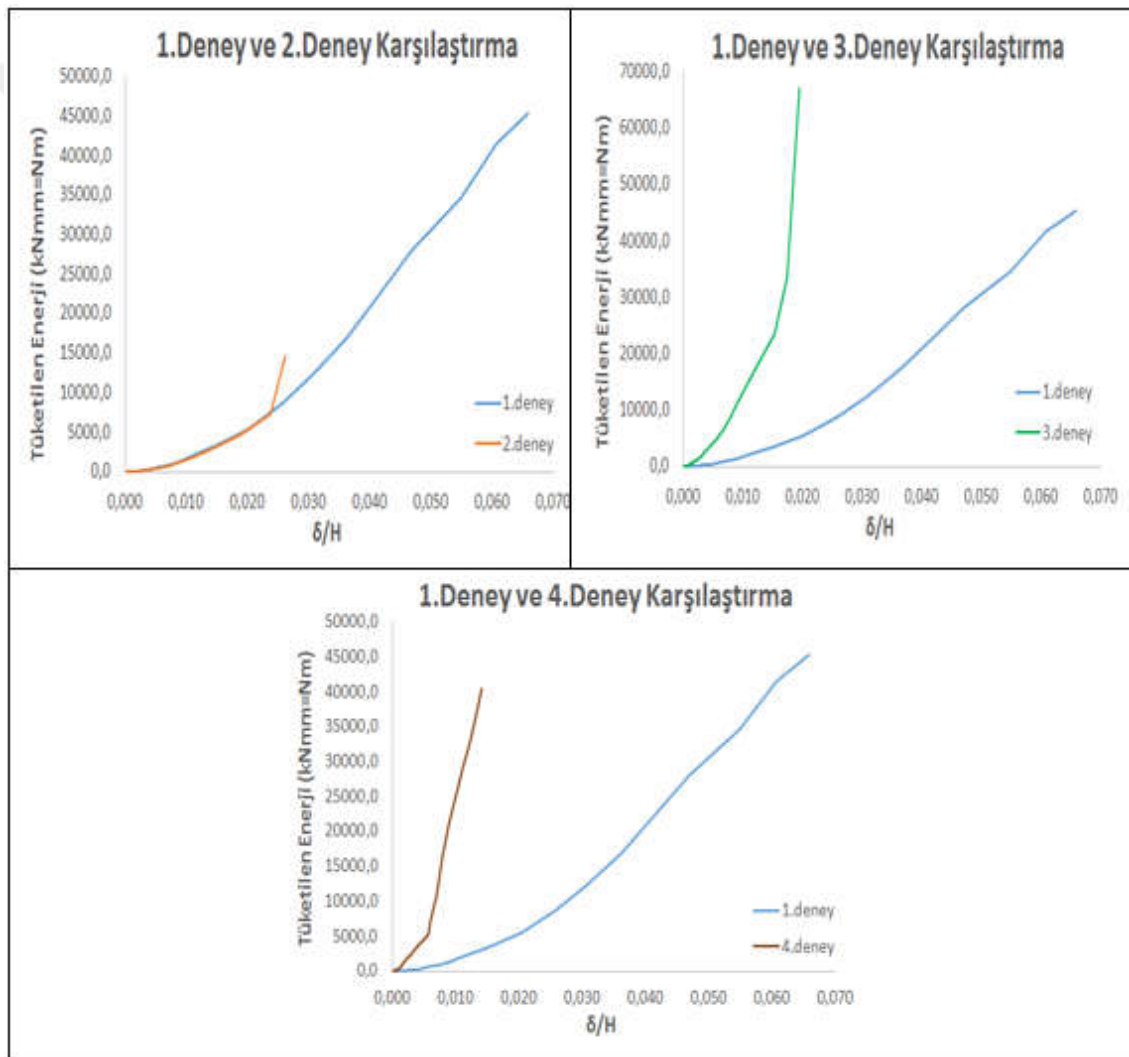


Şekil 3.136. 3. ve 4. Deneyde kullanılan perdelerin eğim açısı grafiklerinin karşılaştırılması.

Yukarıda Şekil 4.136’deki karşılaştırmalı grafikte, 3 nolu deneyde kullanılan perdeler ile 4 nolu deneyde kullanılan perdelerden elde edilen eğim açısı eğrileri sunulmuştur. Buna göre 4 nolu deneyin eğim açısı eğrisinin başlangıcının, 3 nolu deneyin eğim açısı eğrisi başlangıcına oldukça benzer olduğu sadece eğrilerin kuyruk kısmında bir farklılık olduğu görülmektedir. Yine bu eğrilerin başlangıç değerlerinin 90°’ye yakın olup bitiş noktaları arasındaki farkın düşük olmasına rağmen 4 nolu deneydeki düşüşün daha keskin olduğu gözlenmiştir. Bu durum hasarsız çerçevenin rijitliğinin hasarlı çerçevenin rijitliğinden fazla olmasının bir sonucudur.

3.2.5. Deneylerde Tüketilen Enerji Grafiklerinin Karşılaştırılması

Referans numune (1.deney) deneyi ile referans numuneye özdeş çerçevenin hasarlandırılması deneyi olan 2.deney ve diğer güçlendirme deneylerinde tüketilen enerji grafikleri karşılaştırılmıştır. Tüketilen enerji grafikleri, deney sonuçlarının daha iyi karşılaştırılabilmesi için δ/H oranına bağlı olarak verilmiştir. Ayrıca 3 nolu deney olan hasarlı çerçeve güçlendirme ve 4 nolu deney hasarsız çerçeve güçlendirme deneylerinde kullanılan perdeler tarafından tüketilen enerji grafikleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.137. 1.Deneyin tüketilen enerji grafiklerinin diğer deneylerle karşılaştırılması.

Her bir deney için elde edilen verilere göre oluşturulmuş tüketilen enerji-(δ/H) grafikleri Şekil 3.137' de verilmiştir. 1. ve 2. deney numunelerine bakıldığında, son çevrimlerde, 1

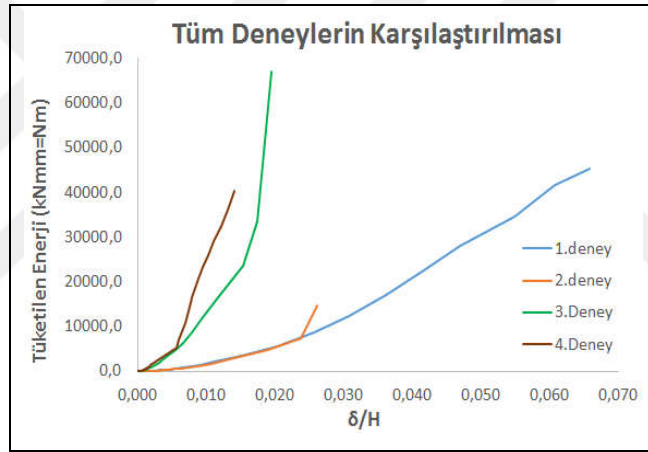
1 nolu deney numunesinin tükettiği enerji 45195 kN.mm iken, 2 nolu deney numunesinin tükettiği enerji yaklaşık 14647 kN.mm'dir. Buna göre son çevrimde, 1 nolu numune 3.09 kat daha fazla enerji tüketmiştir. Burada numuneler özdeş olmasına rağmen 1 nolu numunenin 2 nolu numuneden daha fazla enerji tüketmesinin nedeni 2 nolu deneyin tam kapasitesine erişilmeden daha önceki döngülerde deneyin sonlandırılmış olmasıdır. Perdeli güçlendirme deneylerinden 3 nolu numunenin tükettiği enerji 66989 kN.mm iken, 4 nolu deney numunesinin tükettiği enerji ise yaklaşık olarak 40420 kN. mm'dir. Hasarlı çerçevenin dış perdeyle güçlendirilmesi deneyinde tüketilen enerji miktarı referans numune deneyinde tüketilen enerjinin %148.22 katıdır. Hasarsız çerçevenin dış perdeyle güçlendirilmesi deneyinde tüketilen enerji miktarı ise referans numune deneyinde tüketilen enerjininkine yakındır. Tablo 3.17'de deney numunelerinin enerji tüketim kapasiteleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 3.17. Deney numunelerinin enerji tüketim kapasitelerinin karşılaştırılması

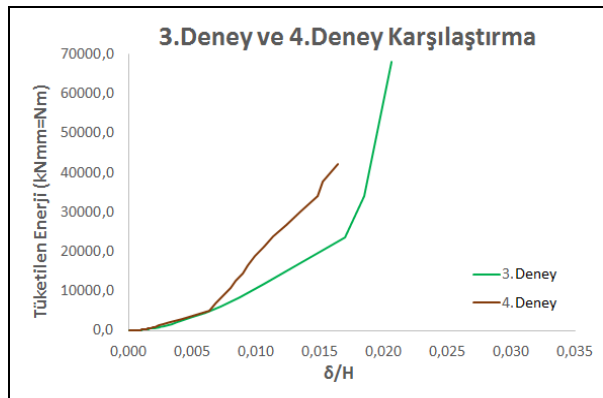
Deney Numunesi	Tüketilen Enerji Değerleri (kNmm)		Tüketilen Enerji Oranları	
	Maksimum Yük	Deney Sonu	Maksimum Yük	Deney Sonu
1.Deney	8600.54	45195.11	1.00	1.00
2.Deney	7324.31	14647,66	0.85	0.32
3.Deney	33494,57	66989.00	3.89	1.48
4.Deney	40419,93	40419,93	4.70	0.89

Şekil 3.138' de bulunan toplam tüketilen enerji – ötelenme oranı grafiklerinde tüm numuneler için tüketilen enerji karşılaştırılması verilmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere, son döngüde 2 nolu numunenin tükettiği enerji miktarı, 1 nolu numunenin tükettiği enerji miktarının % 32.4'ü kadardır. Bununla birlikte 3 nolu numunenin tükettiği enerji miktarı, 1 nolu numunenin tükettiği enerji miktarının % 148.22'ü kadarken, 4 nolu numune ise 1 nolu numuneden %10 daha az enerji tüketmiştir. Grafiklerin x ekseninde sunulan δ/H oranına bakılacak olursa perdeli deneylerin deplasman yapabilme kabiliyetleri düşük olduğundan daha dar genişlikte grafikler ortaya çıkarken referans numune daha çok deplasman yaptığından enerji tüketim eğrisi daha geniş bir banda yayılmıştır. Böylece enerji tüketimi için deney sonuçları incelendiğinde sırasıyla, hasarlı çerçevenin güçlendirilmesi deneyinin tükettiği enerji, sonrasında referans numunenin tükettiği enerji,

referans numuneden sonra ise hasarsız çerçevenin güçlendirilmesi deneyinde tükettiği enerjinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. En düşük enerji tüketimi ise hasarlandırma deneyinde kullanılan çerçeveye ait olup deney kısa sürede sonlandırılması bu durumun nedenidir. 3 nolu hasarlı çerçevenin güçlendirmesi deneyinin enerji tüketiminin diğer deneylerden fazla olmasının nedeni olarak hasarlı çerçevenin sahip olduğu çatlaklar, hasarlar, deplasman yapabilme kabiliyetindeki azalma ve daha fazla enerji yutması görülmektedir. 4 nolu hasarsız çerçevenin güçlendirmesi deneyinin enerji tüketiminin referans numunenin enerji tüketiminden daha az olmasının nedeni ise hasarsız çerçevenin daha az deplasman yapabilmesi ve daha az enerji yutabilmesidir. Şekil 3.139’da perdeler için verilen enerji tüketim grafiklerinin nedeni de aynıdır.



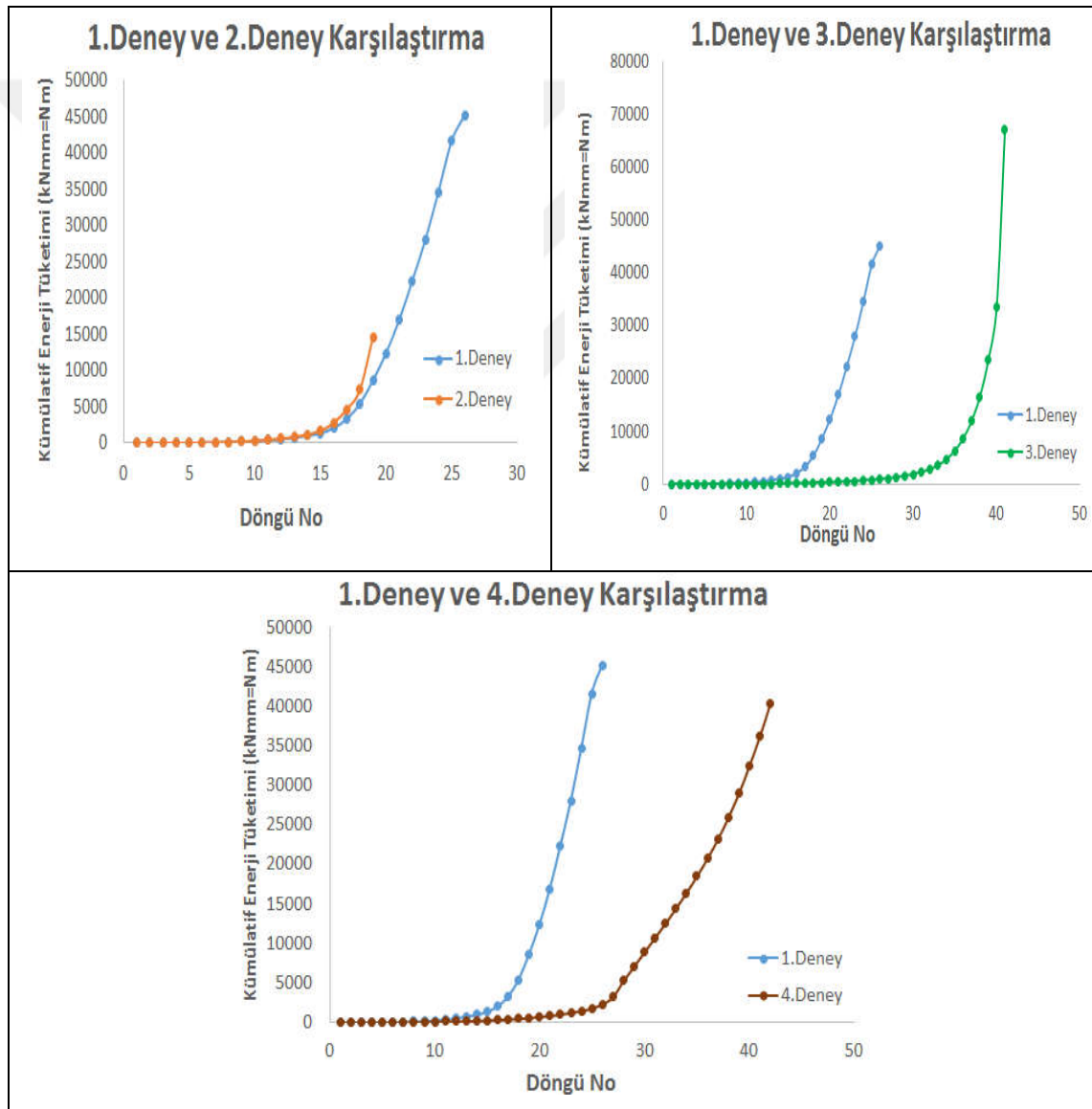
Şekil 3.138. Tüm deneylerin tüketilen enerji grafiklerinin karşılaştırılması.



Şekil 3.139. 3. ve 4. Deneyde kullanılan perdelerin tüketilen enerji grafiklerinin karşılaştırılması.

3.2.6. Kümülatif Enerji Tüketim Grafiklerinin Karşılaştırılması

1.deney olarak adlandırılan referans numune deneyi ile referans numuneye özdeş çerçevenin hasarlandırılması deneyi olan 2.deney ve diğer güçlendirme deneylerinden elde edilen verilere göre kümülatif enerji tüketim grafikleri karşılaştırılmıştır. Bununla beraber 3 nolu deney olan hasarlı çerçeve güçlendirme ve 4 nolu deney hasarsız çerçeve güçlendirme deneylerinde kullanılan perdelerin de kümülatif enerji tüketim grafikleri karşılaştırılmıştır.

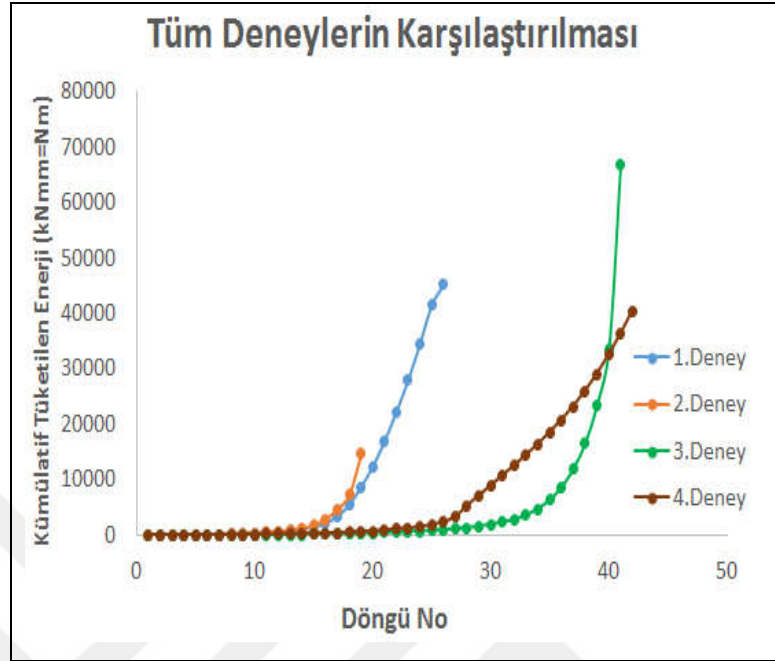


Şekil 3.140. 1.Deneyin kümülatif enerji tüketim grafiklerinin diğer deneylerle karşılaştırılması.

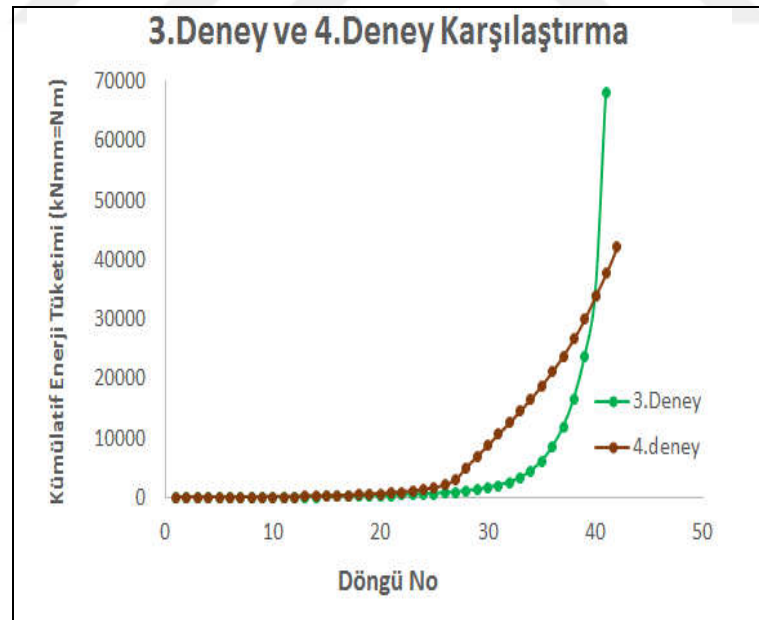
Her döngüde tüketilen enerjinin ardışık toplanmasıyla elde edilen kümülatif toplam tüketilen enerji miktarları tüm deneyler için karşılaştırmalı grafikler şeklinde Şekil 3.141’de sunulmuştur. Bu şekilde 1. ve 2. deneyler değerlendirildiğinde, son döngüde, 1 nolu deney numunesinin tüketmiş olduğu enerjinin 2 nolu deney numunesinin tükettiği enerjiden daha fazla olduğu görülmektedir. Özdeş sistemler olmasına rağmen bu durumun nedeni daha öncede belirtildiği ve grafikten de görüldüğü üzere 2 nolu deneyin döngü sayısının 1 nolu deneyin döngü sayısından daha az olmasıdır. Ancak sistemin değişmesiyle birlikte perdeli sistemlerde 3 nolu deneyin döngü sayısının 4 nolu deneyin döngü sayısından daha az olmasına karşın kümülatif olarak tükettiği enerji miktarı daha fazladır. Aynı şekilde 1 nolu deneyin döngü sayısı 4 nolu deneyin döngü sayısından daha fazla olduğu halde tükettiği kümülatif enerji miktarı %10 daha fazladır.

Şekil 3.141’de tüm deneylerden elde edilen kümülatif enerji tüketim miktarları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Tüm deneyler değerlendirildiğinde büyüktен küçüğe doğru enerji tüketim miktarları sırasıyla; 3 nolu deney, referans deney, 4 nolu deney ve 2 nolu deneydir. Hasarlı çerçevede daha önceden var olan çatlakların açılıp kapanmasıyla diğer deneylere nazaran daha fazla enerji tüketmesi söz konusu olmuştur. Ayrıca 3 nolu hasarlı çerçevenin çatlaklar ve açılmalar nedeniyle rijitliğindeki azalmaya istinaden daha fazla deplasman yapması 4 nolu hasarsız çerçeveye göre daha fazla enerji tüketmesinin nedenlerinden biri olarak düşünülmektedir. Bununla birlikte 4 nolu deneyin 1 nolu deneyden %10 daha az enerji tüketmesinin bir nedeni olarak perdelerle birlikte gelen rijitliğe bağlı olarak daha az deplasman yapması görülürken bir diğer neden de 3 nolu deneyde itme döngülerinde yük artışının beklenmeyen bir şekilde çok fazla artmamasına bağlı olarak deplasman kontrollü yüklemeye erken döngülerde geçilmesi olarak görülmektedir.

Perdelerin hem kendilerine hem de ilave edildikleri sistemlere her daim rijitlik ve dayanım getirdikleri bilinmektedir. Ancak burada tükettikleri enerji miktarları, bağlı bulundukları çerçevelerle birlikte bir bütün olarak sistem şeklinde değerlendirilmektedir. Yukarıda 3 ve 4 nolu deneyler için söylenenleri perdelerden elde edilen kümülatif enerji tüketim miktarlarına bakarak benzer şekilde söylemek mümkündür. Şekil 3.142’de 3 ve 4 nolu deneylerde test edilen perdelerin enerji tüketim miktarlarına bakıldığında 3 nolu deneyin enerji tüketim miktarının 4 nolu deneyin enerji tüketiminden yaklaşık 1.6 kat daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 3.141. Tüm deneylerin kümülatif enerji tüketim grafiklerinin karşılaştırılması.



Şekil 3.142. 3. ve 4.Deneyde kullanılan perdelerin kümülatif enerji tüketim grafiklerinin karşılaştırılması.

4.BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemiz deprem kuşağı açısından oldukça aktif bir bölgede yer almaktadır. Ancak son yıllarda ülkemizde yaşanan depremlerden sonra yapılan incelemeler ve araştırmalar deprem bölgelerinde inşa edilen yapıların çeşitli düzensizlikler nedeniyle yeterli dayanım ve rijitliğe sahip olmadığını göstermiştir. Deprem sonrasında az hasarlı olarak halen kullanımda olan yapıların büyük bir kısmının da dayanım ve rijitliklerinin yeterli olmadığı görülmüştür. Bu nedenle daha önce meydana gelen depremlerde yaşanan ağır can ve mal kayıplarının önlenmesi ve betonarme binaların deprem davranışlarının iyileştirilmesi amacıyla çeşitli güçlendirme yöntemleri uygulanmaktadır. Bu şekilde ülkemizde depreme karşı dayanımı zayıf yapı stoğunun güçlendirilmesi için yaygın olarak kullanılan ancak yapı kullanımının aksaması, uygulama zorluklarıyla ilişkili uygulama süresinin uzaması ve yapı içerisinde ince işçilik, gibi ağır ilave maliyetler getiren betonarme perdelerle dolgulu çerçeve oluşturulması yöntemine alternatif olabilecek bir araştırma yoluna gidilmiştir. Bu noktada, daha etkili ve pratik bir yöntem olan, yapı dışından uygulanabilecek bağ kirişli dış perdelerle güçlendirme yöntemi deneysel olarak incelenmiştir. Bu bölümde çalışmada elde edilen sonuçlar ve öneriler verilmiştir.

4.1.Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi

Deneysel çalışma kapsamında gerçekleştirilen 4 adet deneyden elde edilen bulgular ve bu bulgulara dayalı sonuçlar bir önceki bölümde verilmiştir. Bu bölümde ise elde bulgulardan yola çıkılarak ortaya konulan sonuçların tez çalışması kapsamında genel bir değerlendirmesi yapılmıştır. Tüm deneylerde; deneye ilk olarak kuvvet kontrollü yüklemeyle başlanmış ve yatay yük akma yüküne ulaştıktan sonra, kuvvet kontrollü yüklemeden deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Deplasman kontrollü yükleme sırasında bütün deneylerde, akma yükünden daha büyük yatay yük değerleri okunmuştur.

Bu durumun nedeninin deney sırasındaki yükleme hızı ve betonarme taşıyıcı sistemlerin monolitik yapısı olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte taşıyıcı sistemlerin akma yüküne ulaştığı döngüden sonraki yüklemelerde kesme kuvveti dağılımı kolonlarda değişmektedir. Böylece betonun monolitik yapısından dolayı güç tükenme sınırına ulaşmış bazı kolon liflerindeki yatay yükler daha sonraki döngülerde diğer kolonlardaki lifler tarafından karşılanarak, akma yükünden daha büyük yatay yük değerleri okunmuştur.

Gerçekleştirilen deneyler arasında akma yükü en düşük olan deney 2 nolu deney olan çerçevenin hasarlandırılması deneyidir. Bu deneyden sonra akma yükü en düşük olan deney ise referans deney olup aralarındaki akma yükü değeri 1 kN' dur. Sonrasında ise akma yükü en düşük olan deney 4 nolu hasarsız çerçevenin güçlendirilmesi deneyidir. En büyük akma yükü ise 3 nolu deney olan hasarlı çerçevenin güçlendirilmesi deneyidir. Bu şekilde dış perde ile güçlendirilen çerçeveler referans deneye göre daha büyük yatay yük değerlerinde akma yüküne ulaşırken perdeli güçlendirme deneyleri arasında ise hasarlı çerçeve deneyi hasarsız çerçeve deneyine göre daha büyük yatay yük değerlerinde akma yüküne ulaşmıştır. Esasen 4 nolu deneyde itme döngülerinde ilerleyen döngülerde yük belli bir noktaya kadar artmadığı için sadece itme döngülerinde akma gerçekleştiği düşünülmüştür. Hasarsız çerçevenin dış perde ile güçlendirildiği bu deneyde itme ve çekme durumunda histerisis eğrilerindeki bu farklılık mafsallarda oluşan sıkışma ile ortaya çıkmıştır. 4.deney dışındaki diğer deneylerde histerisis eğrisinin simetrik olması deneyde gerçekleşen bu durumu desteklemektedir. Bununla birlikte akma yükü deplasmanları incelendiğinde 3 nolu deney hariç çerçeve sisteme, perde eklenmesiyle betonarme taşıyıcı sistemlerin deplasman yapabilme kapasitesi azalmıştır. Maksimum yatay yük anındaki deplasmanlara bakıldığında ise betonarme taşıyıcı sistemlere perde ilave edilmesiyle çerçevelerin yaptığı deplasmanlar azalmıştır. Böylece bu bölümdeki değerlendirmeler akma yüküne göre değil, betonarme taşıyıcı sistemlere gelen maksimum yatay yükler temel alınarak yapılmış olup; ***“Betonarme taşıyıcı sistemlere perde ilave edilerek güçlendirilmesi söz konusu sistemlerin daha geç akma yüküne ulaşmasına neden olurken, maksimum yatay yük altında daha az oranda deplasman yapmasını sağlar”.***

Rijitlik, taşıyıcı sistemlerin ötelenme ve yer değiştirme etkilerine karşı koyma büyüklüğünü ifade eder. Rijitliğin artması halinde şekil değiştirme olabilmesi için

sisteme uygulanması gereken yatay kuvvette artmalıdır. Tablo 3.16’da verilen referans numuneye göre maksimum yük rijitlikleri için bir değerlendirme yapacak olursak, sisteme güçlendirme amacıyla ilave edilen dış perdeler hasarsız çerçevenin rijitliğini %540, hasarlı çerçevenin rijitliğini ise %427 oranında artırdığı görülmüştür. Buna göre; **“Betonarme taşıyıcı sistemlere güçlendirme amacıyla eklenen dış perdeler, sistemin deplasman yapabilmesi için gereken yatay kuvvet büyüklüğünü artırmaktadır. Yani sisteme perde ilavesiyle betonarme taşıyıcı sistemler daha fazla yatay kuvvet ile daha az deplasman yapar hale gelmektedir.”**

Depremde yapıya verilen enerji, yapının ötelenme ve şekil değişimi yapmasıyla elastik ötesi davranış ile tüketilir. Bu sebeple yapı tarafından tüketilen enerji ile deplasman yapabilme kapasitesi arasında bir ilişki olduğu düşünülmektedir. Enerji tüketimi açısından bir değerlendirme yapılacak olursa, deney sonunda tüketilen enerjinin deney döngü sayısı ile ilgili olması sebebiyle, en uygun karşılaştırma değerinin maksimum yatay yük durumunda tüketilen enerji olduğu düşünülmektedir. Buna göre Tablo 3.17’de verilen maksimum yatay yük durumunda tüketilen enerji oranlarına bakıldığında en fazla hasarsız onu takip eden ise hasarlı çerçeve olup perdeli güçlendirme sistemlerinin daha fazla enerji tükettiği görülmektedir. Bu şekilde betonarme dış perde ile güçlendirme elastik bölge enerji tüketim özelliğini artırmaktadır. Daha yüksek katlı çerçeve sistemlerde ise oluşan çerçeve mafsalları sayısının artışı ve bağ kirişinin de etkisi enerji tüketimini daha da artıracaktır. Bu sonuca göre **“Betonarme taşıyıcı çerçeve sisteme güçlendirmede kullanılan perdelerin ilavesi sistemin enerji tüketimini artırmaktadır”.**

Çatlak oluşumu incelendiğinde ise çatlakların genel olarak önce kolonlarda ve kolon kiriş birleşim bölgelerinde, sonra kirişlerde ve en son olarak da döşemelerde meydana geldiği gözlenmiştir. Perdelerde ise çatlaklar, kesme perdesi gibi çalıştığından güçlendirme perdelerinin tabanında ilk döngülerde oluşan eğilme çatlakları deneylerin ilerleyen aşamalarında genişlemiş, donatı kopmaları sonucunda sürtünme kesmesi dayanımı azalan perde duvar tabanında kesme kayması görülmüştür. Betonarme taşıyıcı sisteme perde ilave edilmesine bağlı olarak, taşıyıcı sistem elemanlarında çatlak gelişimi, referans numune ve 2 nolu hasarlandırılan numunede diğer dış perdeyle güçlendirilen numunelere göre daha erken evrelerde oluşmaktadır. Çatlak oluşum yoğunluklarına baktığımızda en az çatlak oluşumu dış perdeli hasarsız çerçeve de gözlenirken, en fazla oluşum ise referans numune de gözlenmiştir. Betonarme taşıyıcı sistemlerde çerçevelere ilave edilen

perdeler nedeniyle kirişlerde hasar oluşumu gecikmiştir. Deprem dayanımı açısından zayıf ve kusurlu olarak yapılan yapıların dış perde ile güçlendirilmesi durumu araştırıldığından tüm deneylerde mekanizma ve plastik mafsallık oluşumu nedeniyle kirişlerde ilk çatlaklar akma yükünden önce meydana gelmiştir. Kolon çatlakları, kolon alt ve üst düğüm noktalarına yakın bölgelerden başlayarak deney sonunda kolon orta bölgelerine doğru ilerlemiştir. Hemen hemen tüm deneylerde kolon orta bölgelerinde çatlak oluşumunun görülmediği seviyeler bulunmaktadır. Bu şekilde kolon orta bölgelerinde çatlak oluşumunun görülmediği en dar seviye aralığı referans deneyde bulunmaktadır. Taşıyıcı sisteme perde ilavesiyle kolon orta bölgelerinde çatlak oluşmayan bölge aralığı da artmıştır özellikle hasarsız çerçeveye perde ilave edildiği deneylerde bu aralık daha da azdır. Sonuç olarak; ***“Betonarme taşıyıcı sisteme güçlendirme amacıyla dış perde ilave edilmesi, betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında çatlak oluşumunun daha geç evrelerde görülmesine, çatlak adedinin, genişliğinin ve yoğunluğunun azalmasını sağlamaktadır. Özetle betonarme taşıyıcı sistemlere çelik bağ kirişli betonarme dış perde ilave edilerek güçlendirilmesiyle referans numuneyle aynı miktarlarda deplasman yaptıklarında bir yandan perdeler ile rijitlik artarken bir yandan da enerji tüketme kapasitesi artmış olduğundan yapıda meydana gelecek hasar yoğunluğu azalmaktadır”***.

Gerçekleştirilen bütün deneyler boyunca donatı çeliğinden okunan birim deformasyon değerleri, TDY2007'deki taşıyıcı sistem görelî kat öteleme sınırlarına göre, donatı çeliğinde olması gereken çekme uzaması değerlerinden oldukça küçüktür. Beton ve donatı çeliği için basınç kısalması değerlerine bakıldığında ise, taşıyıcı sistem görelî kat ötelenmesi göçme sınırına ulaştığında dahi donatı çeliğindeki birim deformasyonların minimum hasar sınırının çok altında değerler aldığı belirlenmiştir. Deneysel sistemleri kendi arasında değerlendirdiğimizde, dış perde ile güçlendirilen çerçeve deneylerinde minimum hasar sınırında boyuna donatılardaki uzama birim deformasyonlarında artış görülürken diğer hasar sınırlarına geçiş yapılamamış ve tüm boyuna donatılardaki uzama birim deformasyonları bu hasar sınırında kalmıştır. Sadece referans çerçeve boyuna donatıları hem uzama hem de kısalma birim deformasyonlarında göçme hasar sınırına ulaşmışlardır. Etriyelerden elde edilen okumalarda boyuna donatılardakine benzer şekilde olup güçlendirme deneylerinde birim deformasyonlar minimum hasar sınırında kalırken sadece referans deneyde göçme hasar sınırına ulaşmıştır. Kolon temel birleşim bölgesinde

deplasman miktarının küçük mertebelerde olması ve yatay yükün kolonun basınca çalışan yüzünde büyük oranda beton tarafından karşılanması sonucu etriyelerde birim deformasyon değerleri çok küçük oranda kalmıştır.

Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ışığında betonarme taşıyıcı sistemin çelik bağ kirişli dış perde duvar ilavesiyle güçlendirilmesinin, güçlendirilmemiş çerçeveye, dayanım, rijitlik ve enerji tüketme kapasitesi olarak çok önemli katkılarda bulunduğu görülmüştür. En önemli sonuçlardan bir tanesi ise, güçlendirilmemiş çerçevede maksimum yük öncesi ve sonrasında önemli hasarlar meydana gelirken, güçlendirilmiş çerçevelerde maksimum yük seviyesinde çerçeve elemanında önemli hasar ve çatlakların oluşmamış olmasıdır. Bu durumda başka herhangi bir sorun mevcut değilse, çerçevenin diğer elemanlarında herhangi bir güçlendirmeye gerek kalmaksızın etkili, ekonomik ve pratik bir şekilde güçlendirme için dış perde ilavesinin yeterli olabileceğini göstermektedir.

4.2.Öneriler

Tez konusu kapsamında çelik bağ kirişli betonarme dış perdelerin, betonarme çerçeve sistemine kazandırdığı önemli dayanım ve rijitlik artışının yanında, enerji tüketim kapasitesinin de artması bu çalışmanın sonucu için önemlidir. Bu çalışmanın vermiş olduğu bilgiler ışığında, aynı veya farklı yükleme düzeneği ve ölçüm tekniği kullanarak, ileride yapılacak olan araştırmalar için aşağıdaki önerilerde bulunulabilir;

- Aynı üç boyutlu betonarme taşıyıcı sisteme betonarme dış perdeler çelik bağ kirişi yerine betonarme bağ kirişi ile bağlanarak sistemin dayanımı ve özellikle enerji tüketim kapasitesinin araştırılması gerekebilir.
- Aynı üç boyutlu betonarme taşıyıcı sisteme betonarme dış perdeler yerine çelik profil perdeler çelik/betonarme bağ kirişi bağlanarak sistemin deprem davranışının araştırılması gerekebilir.
- Aynı üç boyutlu betonarme taşıyıcı sistem laboratuvar şartları, deney ve yükleme düzeneği koşulları nedeniyle ½ ölçekli olarak üretilmiş ve deneyler bu şekilde gerçekleştirilmiştir. Ancak imkânlar dâhilinde geliştirilen koşullarla birlikte aynı üç boyutlu model birebir ölçekli olarak tasarlanıp üretilerek aynı deneyler gerçekleştirilebilir. Böylece sistemin dayanım, rijitlik ve enerji tüketim kapasitesinin araştırılabilmektedir.

- Üç boyutlu betonarme taşıyıcı sistem tek katlı ve iki açıklıklı olarak üretilmiş olup başka bir çalışmada kat sayısı 2 ya da 3'e çıkarılarak, yükleme ve ölçüm düzenekleri değiştirilerek deneyler gerçekleştirilmesiyle sistemin performansı değerlendirilebilmektedir.
- Benzer şekilde, dış perde ile güçlendirilen betonarme çerçeve sistemlerin yükleme düzeneği çeşidi değiştirilerek uygun ebatlarda sarsma tablası üretimiyle birlikte deprem ivmesi simülasyonu ile aynı deneyler uygulanabilir.



KAYNAKÇA

- 1.Aydoğan, M., 2001. Betonarme binalarda onarım ve güçlendirme sistemleri ve tasarımı seminer notları, K.T.M.M.O.B. İnşaat Mühendisleri Odası Yayını, Mart 2001, Lefkoşa.
- 2.Yılmaz, Ü.S., 2007. Kolonları Basınç Kırılması Gösteren Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerin Dış Perde Duvar Uygulaması ile Güçlendirilmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya, 382s.
- 3.Akman, M.S., 2000. Yapı Hasarları ve Onarım İlkeleri. TMMOB, Livane Matbaacılık, İstanbul.
- 4.Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY), Ankara, 2007,
- 5.Gültekin, E. E., 2008. Mevcut Yapıların Depreme Karşı Güçlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 198s.
- 6.Yıldırım, C., 2007. Deprem Yönetmeliği'ne Göre Mevcut Bir Yapının Performansının Belirlenmesi ve Bir Güçlendirme Önerisi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 175s.
- 7.Tosun, M., 2009. Perde Duvarlı Betonarme Karkas Binanın Yapımı Sırasında Malzemelerinin Mekanik Özelliklerinin Betonun Dayanımına Etkisi, Kat Perdesi Deprem Süresince Hasar Oluşmuş Perde Karkas Şemalı Bir Binanın Depreme Dayanıklılığının ve Güçlendirme Metotlarının İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 161s.
- 8.Gülmez, Ö., 2010. Depremde Hasar Gören Betonarme Yapıların Güçlendirilmesi ve Mimariye Olan Etkisi. Haliç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 106s.
- 9.Demirkan, D., 2014. Betonarme Yapılarda Onarım ve Güçlendirme Yöntemleri, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray, 146s.
- 10.Gürol, K. B., 2007. Deprem Dayanımı Yetersiz Betonarme Binaları Güçlendirme Yöntemleri. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 143s.

- 11.Şirin, C., 2006. Yapılarda Oluşan Hasar Biçimleri ve Nedenleri ve Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi Teknikleri İle Bir Yapının Güçlendirilmesi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 277s.
- 12.Kuşan, H., 2002. Depremde Hasar Gören Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 92s.
- 13.Şik, H., 2014. Deprem Güvenliği Yetersiz Betonarme Bir Bina İçin Farklı Güçlendirme Önerilerinin Karşılaştırılması. Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Diyarbakır, 160s.
- 14.Ceritli, S., 2006. Depremde Hasar Görmüş Yapıların Mantolama ve Perdelerle Güçlendirilmesi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 120s.
- 15.Sümengen, U., 2009. Mevcut Yapılarda Kullanılan Güçlendirme Yöntemlerinin Hasar Olasılığına Etkisi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans, İstanbul, 214s.
- 16.Tüzün, C., Hancılar, U., Selçuk, M. ve Erdik, M., 2009. Depreme karşı yapısal güçlendirme, İstanbul Sismik Riskin Azaltılması ve Acil Durum Hazırlık Projesi ISMEP, İstanbul. (Web sayfası: <http://www.guvenliyasam.org>), (Erişim tarihi: Ekim 2018).
- 17.Öncü, G., 2011. Mevcut Betonarme ve Yığma Binaların Depreme Karşı Onarım ve Güçlendirme Yöntemleri ve İzmir'deki Bazı Uygulama Örneklerinin İrdelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 216s.
- 18.Swamy, R.N., Jones, R., Bloxham, J.W., 1987. Structural behaviour of reinforced concrete beams strengthened by epoxy-bonded steel plates. **Journal of Structural Engineering, Part A**, **65A** (2): 59-68.
- 19.Oehlers, D.J., 1990. Strengthening reinforced concrete beams by bonding steel plates to their soffits, pp. 346-350. *2nd National Structural Engineering Conference, Barton*, ACT: Institution of Engineers, Australia, 90 (10).
- 20.Tankut, T. ve Arslan, M., 1992. Epoksili çelik plaka ile güçlendirilmiş betonarme kiriş davranışı. **Teknik Dergi, İMO**, **3** (4): 575.

- 21.Sharif, A., Al-Sulaimani, G.J., Basunbul, I.A., Baluch, M.H., Husain, M., 1995. Strengthening of shear damaged RC beams by external bonding of steel plates. **Magazine of Concrete Research.**, **47** (173): 329-334.
- 22.Triantafillou, T.C., 1998. Shear strengthening of reinforced concrete beams using epoxy-bonded FRP composites. **ACI Structural Journal**, **95** (2): 107-115.
- 23.Khalifa, A., Gold, W.J., Nanni, A., and Abdel Aziz, M.I., 1998. Contribution of externally bonded FRP to shear capacity of flexural members. **ASCE Journal of Composites for Construction**, **2** (4): 195-203.
- 24.Li, A., Assih, T., Delmas, Y., 2000. Influence of the adhesive thickness on the behaviour of strengthened concrete beams. **Journal of Adhesion and Science Technology**, **14** (13): 1639-1656.
- 25.Adhikarya, B.B., Mutsuyoshi, H., Sano, M., 2000. Shear strengthening of reinforced concrete beams using steel plates bonded on beam web: experiments and analysis. **Constr. Build. Mater.**, **14** (5), 237-244.
- 26.Barnes, R.A., Baglin, P.S., Mays, G.C. and Subedi, N.K., 2001. External steel systems for the shear strengthening of reinforced concrete beams. **Engineering and Structure**, **23** (2001): 1162-1176.
- 27.Taşdemir, M. A., Özkul M. H., 2002. Betonarme yapılarda onarım ve güçlendirme malzemeleri, s.177-204. *Prof. Dr. Kemal Özden'i Anma Semineri, Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi Alanında Gelişmeler*, 10 Mayıs 2002, İstanbul, İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi,
- 28.Altın, S., Tankut, T., Anıl, Ö., Demirel, Y., 2003. Response of reinforced concrete beams with clamps applied externally: an experimental study. **Engineering and Structure**, **25** (9): 1217-1229.
- 29.Demirci, E.E., Amil, A. P., ve Şahin, R., 2011. Çelik korniyer ve lamalar yapıştırmak suretiyle betonarme kirişlerin eğilmeye karşı güçlendirilmesi. **TÜBAV Bilim**, **4** (2): 103-112.
- 30.Tekeli, H., Esen, B., Övey, H. M., Arapoğlu, M., Pınarlık. M., ve Turgut., R., 2015. Betonarme kirişlerin çelik levhalarla kesmeye karşı güçlendirilmesi, **Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, **4** (1): 13-20.
- 31.Tzoura, E., Triantafillou, T. C., 2014. Shear strengthening of reinforced concrete T-beams under cyclic loading with TRM or FRP jackets. **Springer, Materials and Structures**, **49** (2016): 17–28.

- 32.Özcan, O., Binici, B., and Özcebe, G., 2008. Improving seismic performance of deficient reinforced concrete columns using Carbon Fiber-Reinforced Polymers. **Elsevier, Engineering Structures**, **30** (2008): 1632–1646.
- 33.Özcan, O., Binici, B., and Özcebe, G., 2010. Seismic strengthening of rectangular reinforced concrete columns using Fiber Reinforced Polymers. **Elsevier, Engineering Structures**, **32** (2010): 964-973.
- 34.Valluvan, R., Kreger, M.E., Jirsa, J.O., 1993. Strengthening of column splices for seismic retrofit of nonductile reinforced concrete frames. **ACI Structural Journal**, **90** (4).
- 35.Lynn, A.C., Moehle, J.P., Mahin, S.A., and Holmes, W.T., 1996. Seismic evaluation of existing reinforced concrete building columns. **Earthquake Spectra**, **12** (4): 715-739.
- 36.Yoshimura, K., Kikuchi, K., Kuroki, M., Ozawa, K., and Masuda, Y., 2000. Experimental study on seismic behavior of RC short columns strengthened by carbon fiber sheets, pp. 927-934. *Proceedings of the 6th ASCCS International Conference on Steel-Concrete Composite Structures*, Los Angeles, California, 2000.
- 37.Ye, L., Yue, Q., Zhao, S., and Li, Q., 2002. Shear strength of reinforced concrete columns strengthened with carbon-fiber-reinforced plastic sheet. **ASCE Journal of Structural Engineering**, **128** (12): 1527-1534.
- 38.Furuta, T., Kanakubo, T., and Fukuyama, H., 2003. Evaluation of shear capacity of RC columns strengthened by continuous fiber, pp. 507-516. *6th FRPRCS Conference*, July 8-10, 2003, Singapore.
- 39.Faella, C., Martinelli, E., Nigro, E., 2004. Seismic assessment and retrofitting of RC existing buildings, s. 84. *13th World Conference of Earthquake Engineering*, August 1-6, Vancouver, Canada.
- 40.Kaish, A. B. M. A., Jamil, M., Raman, S. N., Zain, M. F. M., and Alam, M. R., 2016. An approach to improve conventional square ferrocement jacket for strengthening application of short square RC column. **Springer, Materials and Structures**, **49** (2016): 1025–1037.
- 41.Özdemir, A., Ercan E., 2017. Mantolama yöntemiyle güçlendirilmiş betonarme kolonların akustik emisyon yöntemiyle analizi. **Politeknik Dergisi**, **20** (1) : 17-23.

42. Gulkan, P., 1977. The inelastic response of repaired reinforced concrete beam-column connections, pp.2473-2479. 6th World Conference on Earthquake Engineering, Vol.III, New Delhi, India.
43. Hatamoto, H., Bessho, S., Matsuzaki Y., 1991. Reinforced concrete wide-beam-to-column subassemblages subjected to lateral load, design of beam-column joints for seismic resistance, **ACI, Symposium Publication 123**, Detroit, Michigan.
44. Zaaïd, S., Shiohara, H., Otani, S., 1999. Test of a joint reinforcing detail improving joint capacity of R/C interior beam-column joint. *The 1st Japan Korea Seminar on Earthquake Engineering for Building Structures*, Seul National University, October 30-3, 1999, Seul, Korea.
45. Febres, C., Wight, J., 2001. Experimental study of reinforced concrete interior wide beam-column connections subjected to lateral loading, **Structural Journal**, **98** (4): 572-582.
46. Stehle, J., Goldsworthy H., Mendis P., 2001. Reinforced concrete interior wide – beam– column connections subjected to lateral earthquake loading'', **ACI Structural Journal**, **98** (3): 270-279.
47. Ghobarah, A., Said, A., 2002. Shear Strengthening of Beam-Column Joints **Engineering Structures**, **24** (2002): 881-888.
48. Akın, K., 2006. Betonarme Çerçevelerin Çapraz Çubuklar Yardımıyla Güçlendirilmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi Konya, 380s.
49. Büyükkaragöz, A., Arslan, A., 2011. The effect of steel plates with shear studs for weak column– strong beam connections in the reinforced concrete structures under earthquake effect. **Strain**, **47** (2011): 393-411.
50. Gökdemir, H., Tankut, T., Aydın R., 2013. Kiriş-kolon birleşim bölgesinin CFRP rulolarla depreme karşı güçlendirilmesi. **Anadolu Üniversitesi, Bilim Ve Teknoloji Dergisi A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik Dergisi**, **14** (2): 153-164.
51. Yılmaz, O., Bekiroğlu S., 2016. Alın levhalı bulonlu kolon kiriş birleşimlerinde panel bölgesi güçlendirmesinin etkisi. **Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, **31** (2): 241-253.

- 52.Sugano, S., Fujimura, M., 1980. A seismic strengthening of existing reinforced concrete buildings pp.449-456, *Proceeding of the 7th World Conference on Earthquake Engineering*, September 8-13, 1980, Istanbul, Turkey.
- 53.Maheri, M., Akbari, R., 2003. Seismic behavior factor R, for steel X-braced and knee braced RC buildings. **Elsevier, Engineering Structures**, **25** (2003): 1505-1513.
- 54.Korkmaz, K., 2007. Çelik çapraz elemanlarla güçlendirilen betonarme yapıların deprem davranışlarının incelenmesi. **Doğuş Üniversitesi Dergisi**, **8** (2): 191-201.
- 55.Kamanlı, M., Korkmaz, H. H., Balık, S.F., Bahadır, F., 2011. Sünek olmayan B/A çerçevelerin, çelik çaprazlarla, B/A dolgu duvarlarla ve çelik levhalar ile güçlendirilmesi. *1.Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 11-14 Ekim 2011,ODTÜ, Ankara.
- 56.Sivri, M., Çelik, D.İ., Fenkli, M., Kımıllı, N.A., Ay, Z., 2015. Çelik çaprazla güçlendirilmiş dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin doğrusal olmayan davranışı. **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, **19** (1): 63-68.
- 57.İnce, G., Tekeli, H., İnce, H.H., Öcal, M., Mercan, K., Ulutaş, H., 2015. Betonarme çerçevelerin düşey bağ kirişli dış merkez çaprazlarla güçlendirilmesi s.216-226. *International Burdur Earthquake and Environment Symposium*, May 7-9, 2015, Burdur, Türkiye.
- 58.Haroun, M. A., Ghoneam, E. H., and Salama, A. E., 1997. Seismic Strengthening of Masonry Infilled Frames by Fiber Composite, Report Prepared for Hexcel-Fyfe, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Irvine, USA.
- 59.Mertol, H. C., 2002. Carbon Fiber Reinforced Masonry Infilled Reinforced Concrete Frame Behaviour. Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, M.S. Thesis, Ankara, Turkey, pp. 67.
- 60.Erduran, E., 2002. Behaviour of Brick-Infilled Reinforced Concrete Frames Strengthened by FRP Reinforcement: Phase II. Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, M.S. Thesis, Ankara, Turkey, pp. 77.
- 61.Hanoğlu, K. B., 2002. Fiber Reinforced Plastic Overlay Retrofit of Hollow Clay Tile Masonry Infilled Reinforced Concrete Frames. Department of Civil Engineering, Boğaziçi University, Ph.D. Thesis, Istanbul, Turkey, pp129.

- 62.Akgüzel, U., 2003. Seismic Retrofit of Brick Infilled RC Frames with Lap Splice Problem In Columns. Department of Civil Engineering, Boğaziçi University. M.S. Thesis, Istanbul, Turkey, pp. 125.
- 63.Özcebe, G., Ersoy, U., Tankut, T., Erduran, E., Keskin, Mertol H., 2003. Strengthening of Brick Infilled RC Frames with CFRP. Structural Engineering Research Unit, Rep. No. 2003/1, Tubitak, Ankara, Turkey.
- 64.Yüksel, E., İlki, A., Erol, G., Demir, C., and Karadoğan, H.F., 2006. Seismic retrofit of infilled reinforced concrete frames with CFRP composites. Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings, Nato SfP:977231, International Advanced Research Workshop, Istanbul, Turkey.
- 65.Elgaady, M.A., Lestuzzi, P., and Badoux, M., 2007. Static cyclic response of masonry walls retrofitted with Fiber-Reinforced Polymers, **ASCE Journal of Composites for Construction**, 11 (1): 50-61.
- 66.Atmaca, S., 2008. Strengthening Of Brick Infilled RC Frames With Different Aspect Ratios By Means Of CFRP Overlays. Department of Civil Engineering, Boğaziçi University, Ph.D. Thesis, Istanbul, Turkey pp.342.
- 67.Öncü, M. E., Karaşin, A., Yılmaz, S., 2011. CFRP ile güçlendirilmiş kesitlerin aksenal yük altındaki davranışı. **e- Journal of New World Sciences Academy**, Engineering Sciences, 5 (3): 515-525.
- 68.Ökten, M. S., 2013. Lifli Çimento Esaslı Kompozitlerle Güçlendirilmiş Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçevelerin Deneysel İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 222s.
- 69.Malekkianie, B., 2006. Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçevelerde Karbon Lifler Kullanılarak Güçlendirme. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 159 s.
- 70.Higashi, Y., Kokusho, S., 1975. The Strengthening Method of Existing Reinforced Concrete Buildings. US-Japan Cooperative Research Program in Earthquake Engineering, Honolulu HI.
- 71.Hayashi, Y., Niwa, H., Fukuhara, M., 1980. The strengthening of existing R/C buildings, pp. 89- 96. *Proceeding of the 7th World Conference on Earthquake Engineering*, September 8-13, 1980, Istanbul, Turkey.
- 72.Ersoy, U., Özcebe, G., Tankut, T., Türk, M., Sonuvar, O., 1998. Behavior of reinforced concrete infilled frames: An experimental study, pp.292-308. *Second*

Japan- Turkey Workshop on Earthquake Engineering, February 1998, İstanbul, Turkey.

73. Türk, A.M., 1998. Rehabilitation of Reinforced Concrete Frames by Reinforced Concrete Infill Walls. Department of Civil Engineering, Boğaziçi University, Ph.D. Thesis, İstanbul, Turkey pp.212.
74. Sonuvar, M.O., 2001. Hysteretic Response of Reinforced Concrete Frames Repaired by Means of Reinforced Concrete Infills. Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, M.S. Thesis, Ankara, Turkey, pp. 169.
75. Canbay, E., 2001. Contribution of RC Infills to the Seismic Behavior of Structural Systems. Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ph.D. Thesis, Ankara, Turkey, pp. 180.
76. Anıl, Ö., 2002. Betonarme Çerçevelerin Boşluklu Betonarme Dolgu Duvarlar ile Güçlendirilmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya, 261s.
77. Saatçioğlu, M., 2002. Yapıların depreme karşı güçlendirilmesinde yeni yöntemler, s.221-244. *Prof.Dr. Kemal Özden'i Anma Semineri*, 10 Mayıs, 2002 İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
78. Kara, E., 2006, Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerin Betonarme Parçasal Dolgu Duvarlarıyla Güçlendirilmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 219 s.
79. Özdemir, H., 2008. Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Hasır Çelik Donatılı Sıva İle Güçlendirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 192 s.
80. Kılıç, A., 2012. Betonarme Çerçeveli Yapılarda Dolgu Duvarların Güçlendirilmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 127s.
81. Kahn, L.F., Hanson, R., 1979. Infilled walls for earthquake strengthening. **ASCE, Journal of Structural Division**, **105** (2): 283-296.
82. Aoyama, H., Kato, D., Katsumata, H., Hosokawa, Y., 1984. Strength and behavior of postcast shear walls for strengthening of existing R/C buildings, pp.485-492. *8th World Conference on Earthquake Engineering*, July 1984, San Francisco CA.

- 83.Krawinkler, H., Wallace, 1985. "Small-Scale Model Test of a Frame-Shear Wall Structure. **Design of Concrete Structures The Use of Model Analysis**, pp.300-310, 1985, UK.
- 84.Morgan, B.J., Hiraishi, H., Corley, W.G., 1985. Comparisons of tests of medium-scale wall assemblies and a full-scale building, **Design of Concrete Structures The Use of Model Analysis**, 129-137.
- 85.Phan, L.T, Cheok, G.S., Todd, D.R., 1995. Strengthening Methodology for Lightly Reinforced Concrete Frames: Recommended Design Guidelines for Strengthening with Infill Walls, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, NISTIR 5682, July, pp.63.
- 86.Tezcan, S.S, İkizoğulları, S., 1998. Stresses along the periphery of the infilled shear walls in retrofitted frames, pp.199-209. *Repair and Strengthening of Existing Buildings. Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering*, February, 1998, İstanbul, Turkey.
- 87.Youssef, M.A., 1999. Modeling of Existing and Rehabilitated Reinforced Concrete Buildings, Department of Civil Engineering, McMaster University, PhD Thesis, Hamilton, Ontario, Canada, 171s.
- 88.Beyli, E., 2002. Betonarme Binalarda Uygulanan Güçlendirme Yöntemleri ve Perde Yüksekliğinin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 78s.
- 89.Özbalaban, G., 2002. Betonarme Bir Bina'nın Perdelerle Güçlendirilmesinde Karşılaşılan Zorluklar ve Perde Yüksekliğinin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 95s.
- 90.Körlü, S., Deneme, İ. Ö., Yerli H. R., 2004. Betonarme yapıların perde takviyesi ile güçlendirilmesi. **Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, **19** (1): 149-157.
- 91.Yavuz, G., 2005. Kısmi Betonarme Perde Duvar İle Güçlendirilmiş Deprem Davranışı Zayıf Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerin Deprem Davranışı. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya, 389 s.
- 92.Öztürk, T., 2006. Betonarme güçlendirme perdelerinin ön boyutlandırılması için bir yaklaşım s.21-30, *Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu*, 7-8 Aralık, 2016, Pamukkale, Denizli.

- 93.Kaltakçı, M.Y., Yavuz, G., 2006. Kısmi betonarme perde duvar ile güçlendirilmiş sismik detayları yetersiz betonarme çerçevelerin tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisindeki davranışı, s.368-374. *Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu*, 7-8 Aralık, 2016, Pamukkale, Denizli.
- 94.Altın, S., Anil, Ö., Kara, M. E., Kaya, M., 2007. An experimental study on strengthening of masonry infilled RC frames using diagonal CFRP strips”, *Composites: Part B. Elsevier, Engineering Structures*, **39** (2008): 680-693.
- 95.Kaltakçı, M. Y., Arslan, M. H. and Yavuz, G., 2010. Effect of internal and external shear wall location on strengthening weak R/C frames, *Transaction A Civil Engineering*, **17** (4), 312-323.
- 96.Karageyik, C. ve Sucuoğlu, H., 2011. Betonarme binaların perdelerle güçlendirilmesinde şekil değiştirme esaslı yöntemlerin uygulanması. *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 11-14 Ekim 2011. ODTÜ, Ankara.
- 97.Ergün, A., Kürklü, G. ve Başaran, V., 2012. Mevcut betonarme binaların deprem güvenliğinin incelenmesi ve güçlendirilmesi çalışmaları için Afyon Karahisar’ dan bir hastane örneği, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **12** (2012): 1-11.
- 98.Uçar, T., Toumatari, S., G., Ertutar Y., 2014. Çerçeve düzlemi içinde eklenen perdelerin betonarme binaların yapısal özelliklerine etkilerinin incelenmesi. *Düzce Üniversitesi, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, **3** (1): 56-68.
- 99.Tama, Y. S., Yılmaz, S., Kaplan, H. ve Görgülü, T., 2005. Mevcut betonarme yapıların dış çelik perde ile güçlendirilmesi: Uygulama çalışması, s.1194-1197. *4.Uluslar Arası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, 28-30 Eylül, 2005 Konya, Türkiye.
- 100.Kaplan, H., Tama, Y.S., Yılmaz, S., ve Akyol, E., 2005b. Buldan Devlet Hastanesi Depremsellik İnceleme ve Güçlendirme Raporu. Teknik Rapor, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 73 s.
- 101.Kaplan, H., Tama, Y.S. ve Yılmaz, S. 2006c. Dış perde duvar uygulaması ile yapıların güçlendirilmesi: Buldan Devlet Hastanesi örneği, s.406-411. *Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu*, 7-8 Aralık, 2016, Pamukkale, Denizli.
- 102.Kaplan, H., Yılmaz, S., Çetinkaya, N., Nohutçu, H., Atımtay, E. ve Sarışın, A., 2006a. Mevcut betonarme yapıların dış perde duvar uygulaması ile

- güçlendirilmesi: Deneysel çalışma, s.354-360. *Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu*, 7-8 Aralık, 2016, Pamukkale, Denizli.
- 103.Kaplan, H., Yılmaz, S., Tama, Y. S., Görgülü, T., Nohutçu, H. ve Atımtay, E., 2006b. Betonarme yapıların dış çelik perde ile güçlendirilmesi: Deneysel çalışma, s.361-367. *Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu*, 7-8 Aralık, 2016, Pamukkale, Denizli.
- 104.Kaplan, H., Yılmaz, S., Tama, Y. S., Akyol, E. and Özmen, H. B., 2006d. Seismic strengthening of state buildings: Government Office of Datca, Turkey. *1st European Conference on Earthquake Engineering and Sesmology*, September 3-6, 2006, Geneva, Switzerland.
- 105.Kaltakçı, M. Y., Arslan, M. H., ve Yılmaz, Ü. S., 2006. Yatay yük taşıma kapasitesi düşük olan betonarme çerçevelerin dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilmesi. 7. *Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi*, 11-13 Ekim, 2006, İstanbul, Türkiye.
- 106.Kuyucular, A., 2006. Onarım güçlendirme dış perdelerinin temeli olarak havuz dış perde, s. 412-421. *Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu*, 7-8 Aralık, 2016, Pamukkale, Denizli.
- 107.Sucuoglu, H., Jury, R., Ozmen, A., Hopkins, D., Ozcebe, G., Kubin, J., 2006. Developing retrofit solutions for the residential building stocks in İstanbul. *Proceedings of the 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, April 18-22, 2006, San Francisco, California, USA.
- 108.Yılmaz, S., 2007. Betonarme Binaların Yapı Dışarısından Perde Duvarlarla Güçlendirilmesi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Denizli, 165 s.
- 109.Çetinkaya, N., 2007. Prefabrik Betonarme Sanayi Yapılarının Deprem Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 150 s.
- 110.Nohutçu, H., 2007. Prefabrik Betonarme Endüstri Yapılarının Dış Perde Duvar Uygulaması ile Güçlendirilmesi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 216 s.
- 111.Arslan, M.H., 2007. Kolonları Çekme Kırılması Gösteren Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerin Dış Perde Duvar Uygulaması İle Güçlendirilmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya, 405 s.

- 112.Görgülü, T., 2008. Mevcut Yapıların Güçlendirilmesinde Dış Çelik Konstrüksiyon Perde Uygulaması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi, Isparta, 132 s.
- 113.Kaplan, H., Nohutcu, H., Çetinkaya, N., Yılmaz, S., Gönen H. and Atımtay, E., 2009, Seismic strengthening of pin-connected precast concrete structures with external shear walls and diaphragms, **PCI Journal**, **54** (1): 88-99.
- 114.Öztürk, M., 2010. Deprem Dayanımı Yetersiz Betonarme Çerçevelerin Bağ Kirişli Dış Perde Duvar Uygulaması İle Güçlendirilmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya, 342 s.
- 115.Yılmaz, Ü.S., Arslan, M. H., ve Kaltakçı, M. Y., 2010. Betonarme dış perde duvarla güçlendirilmiş çerçevelerin dayanım parametrelerinin deneysel ve analitik yöntemlerle irdelenmesi, **Tubav Bilim Dergisi**, **3** (1): 11-22.
- 116.Çalışkan, Ö., 2010. Mevcut Betonarme Binaların Dış Perde Duvar İle Güçlendirilmesinde Ankraj Uygulamalarının Deneysel Olarak Araştırılması. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Eskişehir.152 s.
- 117.Özdöner, N., 2011. Betonarme Binaların Deprem Güvenliğinin, Bina Dışından Uygulanan Betonarme Prefabrik Paneller İle Artırılması. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya, 200 s.
- 118.Tokgöz, H., Can, Ö., 2011. Dıştan perde duvarla güçlendirmede perde-hatıl birleşim yerlerinde kullanılan blon sayısının araştırılması. **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, **26** (3): 649-656.
- 119.Kaltakci, M. Y., and Ozturk, M., 2012. An experimental study on the strengthening of non-ductile reinforced concrete frames via external shear wall, **European Journal of Environmental and Civil Engineering**, **16** (1): 59-76.
- 120.Ünal, A., 2012. TDY 2007' ye Göre Tasarlanmamış Betonarme Çerçevelerin Düzlem Dışı Perde Duvarla Güçlendirilmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 365 s.
- 121.Solak, A. 2012. Prefabrik Dış Güçlendirme Perdelerinin Bağlantı Detaylarının Deneysel Olarak İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Denizli, 169 s.
- 122.Pillai, G. S., Prabhakaran, J. K., Rajkumar, V., 2013. Parametric study of exterior shear wall floor slab connections. **ASCE, Journal of Performance of Constructed Facilities**, **29** (6): 04014156.

- 123.Çırak, İ. F., Kaplan, H., Yılmaz, S., Değirmenci, Ç. Ö., ve Çetinkaya, N., 2015. A model for shear behavior of anchors in external shear walled frames. **Research on Engineering Structures and Materials**, 1 (2): 53-71.
- 124.AutoCAD 2014. Computer Aided Design Software, Autodesk 2014.
- 125.Özbayrak, A., 2017. Betonarme Yapılardaki Döşeme Süreksizliklerinin Deprem Davranışına Etkisinin İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri, 310 s.
- 126.Harris, H.G., Sabnis, G., 1999. Structural Modeling and Experimental Techniques-2nd edition, CRC Press LLC, Boca Raton Florida, Chapter: 2, Page:37.
- 127.TS500-2000, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Şubat 2000, Ankara.
- 128.TS EN 206:2014, Beton- Özellik, performans, imalat ve uygunluk standardı, Türk Standartları Enstitüsü.
- 129.TS EN 13515:2014, TS EN 206:2014'nın uygulanmasına yönelik tamamlayıcı standart, Türk Standartları Enstitüsü.
- 130.Tosun, K., 2015. Taze ve Sertleşmiş Beton Deneyleri – Kalite Kontrol (Ders Notları). (Web sayfası: <http://kisi.deu.edu.tr/kamile.tosun/anasayfa.html>), (Erişim Tarihi: Mart 2018).
- 131.TS EN 12390-6, Haziran 2010. Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü.
- 132.TS 708, Mart 2016. Çelik- Betonarme için-Donatı Çeliği, Türk Standartları Enstitüsü.
133. TS EN ISO 6892-1, Mart 2011. Metalik Malzemeler-Çekme Deneyi, Bölüm 1: Oda Sıcaklığında Deney Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, 57 s.
- 134.Engin, D., 2014. Sensörler ve Dönüştürücüler (Ders Notları). (Web sayfası: <http://tec.ege.edu.tr/dersler/sensörler.html>), (Erişim Tarihi: Ocak 2018).
- 135.TDG Q-Cable, “Gerinim Pulu İçin Köprü Tamamlama Kablosu Kullanım Kılavuzu”, ODTÜ, Ankara.
- 136.TDG CODA, Veri Toplama Yazılım Paketi, ODTÜ, Ankara.
- 137.TML., 2016. Strain Gauges (Web sayfası: <http://www.tml.jp/e/index.html>), (Erişim tarihi: Ocak 2018).

138.NEL., 2016. TML Strain Gauge (Web sayfası: <http://www.tml.jp/e/index.html>),
(Erişim tarihi: Ocak 2018).



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Hürmet KÜÇÜKGÖNCÜ
Uyruğu: Türkiye (T.C)
Doğum Tarihi ve Yeri: 03.10.1988 - Kayseri
Medeni Durum: Bekar
e-mail: hurmet.kucukgoncu@agu.edu.tr
Yazışma Adresi: Abdullah Gül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Barbaros Mahallesi, Sümer Kampüsü Kocasinan/KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	ERÜ Fen Bilimleri Enstitüsü	2013
Lisans	ERÜ Mühendislik Fakültesi İnşaat Müh. Böl.	2011
Lisans	ERÜ Mühendislik Fakültesi Makine Müh. Böl.	2010
Lise	Nuh Mehmet Baldöktü Anadolu Lisesi, Kayseri	2006

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2018-Halen	AGÜ Mühendislik Fakültesi İnşaat Müh. Böl.	Araştırma Görevlisi
2011-2018	ERÜ Mühendislik Fakültesi İnşaat Müh. Böl.	Araştırma Görevlisi
2011-Görevlendirme	AGÜ Mühendislik Fakültesi İnşaat Müh. Böl.	Araştırma Görevlisi
2010-2011	ERÜ Mühendislik Fakültesi Makine Müh. Böl.	Araştırma Görevlisi

YABANCI DİL

İngilizce, Almanca