



**DELİKLİ ÇELİK LEVHALARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ TUĞLA DOLGU
DUVARLARIN KOLONLARI EKSENEL YÜKLÜ BA ÇERÇEVE
DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

Meryem BÖCEK

**DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AĞUSTOS 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza

Meryem BÖCEK

02/09/2022

DELİKLİ ÇELİK LEVHALARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ TUĞLA DOLGU
DUVARLARIN KOLONLARI EKSENEL YÜKLÜ BA ÇERÇEVE DAVRANIŞI
ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

(Doktora Tezi)

Meryem BÖCEK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2022

ÖZET

Ülkemizde son yıllarda meydana gelen şiddetli depremlerde birçok bina ağır hasar almış veya göçmüş ve büyük çapta can kayıpları yaşanmıştır. Oluşan can kayıplarından bazıları yapıdaki duvarların parçalanarak bina içinde ve çevresinde yaşayan canlıların üzerine düşmesi sonucu oluşmaktadır. Bu can kayıplarını önlemenin yollarından birisi hasar almış, güvensiz yapılardaki taşıyıcı sistemlerin ve/veya elemanların güçlendirilmesidir. Taşıyıcı sistemlerin güçlendirmesi için betonarme çerçeve içerisindeki tuğla duvarın yıkılarak yerine sonradan üretilmiş perde duvar konulması ilk akla gelen yöntemlerdendir. Ancak yöntemin uygulanması sırasında yapının boşaltılması gerekliliği ve özen gerektiren imalat süreci oldukça maliyetli ve zaman alıcı olmaktadır. Bu nedenle güçlendirme yöntemlerinden bir diğeri de betonarme çerçeve içerisindeki dolgu duvarların güçlendirilmesidir. Karbon lifli kumaşlar, polimer malzemeler, beton paneller, çelik donatılı sıva ve çelikten üretilmiş yapı elemanları güçlendirme yöntemleri olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise yerli üretimi olan ucuz ve mekanik özellik açısından çok daha sünek davranışa sahip delikli çelik levhalar kullanılmıştır. Çalışmada, kolonları eksenel yüklü betonarme çerçeve içerisindeki tuğla dolgu duvarların delikli çelik levhalarla güçlendirilmesi ile sistem davranışı üzerindeki etkilerini araştırmak için bir dizi deney yapılmıştır. Deney elemanları ½ ölçekli, tek açıklıklı, tek katlı olup 4'ü referans olmak üzere toplam 16 adet deney elemanı laboratuvarlarda test edilmiştir. Çalışma için üretilen betonarme çerçeveler ve duvarlarda, en sık rastlanan kusurlar olarak düşük beton dayanımı, kolon- kirişlerde seyrek ve/veya eksik etriye ve kontrolsüz yapılan duvar işçiliği hedef alınmıştır. Çalışma kapsamındaki deney elemanları depremi simüle eden yatay yükler altında test edilmiş ve deney sonuçları dayanım, süneklik, rijitlik, görelî kat ötelenme ve dönüştürülebilen enerji kapasitelerine göre değerlendirilmiştir. Güçlendirme yöntemi ile dayanımda önemli bir kayıp olmadan eksenel yük düzeyi düşük elemanlarda %7,5' den büyük ötelenme oranlarına ulaşılırken yüksek elemanlarda ise %6,8'e ulaşılabilmiştir. Benzer şekilde çerçevenin enerji dönüştürme kapasitesi ise yalın duvarlı çerçeveye göre eksenel yük düzeyi düşük elemanlarda 2,1 kattan büyük olurken, yüksek elemanlarda ise 2,9 kat olmuştur. Yapıların bu yöntemle kolaylıkla güçlendirilebileceğini, oluşturduğu sargılama etkisiyle duvar bütünlüğünün korunması sonucunda deprem anındaki olası göçmeleri engelleyebileceği, can ve mal kayıplarının da azaltılabileceği düşünülmektedir.

Bilim Kodu : 91102
Anahtar Kelimeler : Delikli çelik levha, güçlendirilmiş tuğla duvarlar, dolgu duvarlar
Sayfa Adedi : 179
Danışman : Prof. Dr. Sabahattin AYKAÇ
İkinci Danışman : Prof. Dr. Hüsnü CAN

EFFECTS OF BRICK WALLS STRENGTHENED WITH PERFORATED STEEL PLATES ON RC FRAMES WITH AXIAL LOADED COLUMNS

(Ph. D. Thesis)

Meryem BÖCEK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

August 2022

ABSTRACT

In the severe earthquakes that have occurred in our country in recent years, many buildings have been severely damaged or collapsed and many lives have been lost. Some of these casualties occur as a result of the walls in the buildings falling apart and falling on the people/animals inside and around the building. One of the ways to prevent these casualties is to strengthen the structural systems and/or elements in damaged and unsafe structures. The first method that comes to mind for the reinforcement of structural systems is to demolish the brick wall in the reinforced concrete frame and build a shear wall later. However, the necessity of emptying the building during the application of the method and the careful manufacturing process are both very costly and time-consuming. Therefore, another method of strengthening buildings is to strengthen existing infill walls within the reinforced concrete moment frames. Carbon fiber fabrics, polymer materials, concrete panels, steel-reinforced mortar and structural elements made of steel are used as reinforcement methods. In this study, perforated steel plates, which are domestically produced, cheap and which have a much more ductile behaviour than other materials used, were used to strengthen the infill walls. In the study, a series of experiments were carried out to investigate the effects on system behaviour by reinforcing brick infill walls with perforated steel plates in a reinforced concrete frame with axially loaded columns. Test elements are ½ scale, single span, and single storey. 16 test elements were tested in the laboratory and 4 of which were references. Low concrete strength, sparse/incomplete stirrups in columns-beams and poor-quality masonry work were targeted as the most common defects in reinforced concrete frames and walls produced for the study. The test elements within the scope of the study were tested under lateral loads simulating an earthquake and the test results were evaluated according to strength, ductility, stiffness, relative story drift and energy dissipation capacities. With the strengthening method, drift ratios exceeding 7.5% were achieved in the elements with low axial load without any significant loss in strength, while it was possible to reach 6.8% in the elements with high axial load. Similarly, the energy dissipation capacity of the frame was greater than 2.1 times in the elements with low axial load levels, while it was 2.9 times in the high elements compared to the bare-walled frame. With this method, it is thought that the structures can be easily strengthened, that the integrity of the wall can be protected with the confining effect it creates, that possible collapses in the earthquake situation can be prevented, and the loss of lives and property can be reduced.

Science Code : 91102

Key Words : Perforated steel plate, strengthening of brick infill walls, infill walls

Page Number : 179

Supervisor : Prof. Dr. Sabahattin AYKAÇ

Co-Supervisor : Prof. Dr. Hüsnü CAN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım danışmanlarım Prof. Dr. Sabahattin AYKAÇ ve Prof. Dr. Hüsnü CAN' a çok teşekkür ederim. Aynı zamanda çalışmalarım boyunca emekleriyle, manevi destekleriyle beni yalnız bırakmayan Anıl ve Kağan arkadaşlarıma da teşekkürü bir borç bilirim.

Sevgili anneciğim ve babacığım her türlü maddi manevi desteklerinizle her zaman yanımda olup bana destek çıktınız ve hep arkamda oldunuz. Özellikle babacığım bu zamana kadar ki eğitim sürecimde ne kadar zorlandığımı ben ancak tahmin edebilirim. Gerçeği elbette ki en iyi bilen sensin. Sizi çok seviyorum ve çok teşekkür ediyorum.

Ayrıca çalışmada kullanılan delikli saçları titizlikle hazırlayan ve bu konudaki teknik desteklerini esirgemeyen DELSAÇ Delikli Saç San. ve Tic. Ltd. Şti.'ne ve işçilikten malzeme tedarikine kadar gösterdikleri teknik destek için Okur Makina İmalat ve İnşaat San. Tic. A.Ş. 'ye ayrıca teşekkür ederim. Bu araştırma 113M437 kodlu, TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında yapılmıştır. Ülkemizin bilime destek veren saygın kurumu TÜBİTAK'ın 2211-Yurt İçi Doktora Burs Programına da teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. AMAÇ VE KAPSAM.....	5
3. GEÇMİŞTEKİ ÇALIŞMALAR.....	7
3.1. CFRP (Karbon Fiber Lifli Polimer) ile Güçlendirme	7
3.2. Polimer Malzemeler ile Güçlendirme	10
3.3. Beton Paneller ile Güçlendirme	11
3.4. Çelik Donatılı Sıva ile Güçlendirme	12
3.5. Çelikten Üretilmiş Yapı Elemanları ile Güçlendirme.....	13
3.6. Betonarme Çerçevenin İçindeki Mevcut Dolgu Duvarın Yıkılarak Çerçevenin Sonradan Oluşturulmuş Perde Duvar ile Güçlendirilmesi.....	19
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	21
4.1. Genel İlkeler.....	21
4.2. Güçlendirilmemiş/ Güçlendirilmiş Deney Elemanlarının Özellikleri.....	22
4.3. Malzemeler ve Özellikleri.....	25
4.3.1. Beton	25
4.3.2. Donatı çeliği	27
4.3.3. Çelik kablo	28
4.3.4. Tuğlalar	28

	Sayfa
4.3.5. Sıva ve harç	29
4.3.6. Delikli çelik levhalar	30
4.3.7. Gijon ve çelik profiller	31
4.4. Delikli Çelik Levhalarla Güçlendirme Tekniği.....	31
4.5. Deney Elemanlarının Hazırlanması	34
4.5.1. Betonarme çerçeve ve imalatı	36
4.5.2. Tuğla dolgu duvar imalatı ve güçlendirme	39
4.6. Yükleme Düzeneği.....	41
4.7. Ölçüm Düzeni ve Değerlendirmesi.....	44
4.7.1. Net yatay ötelenmenin hesabı	49
4.8. Deney Prosedürleri.....	50
5. DENEYSEL SÜREÇ	53
5.1. R1L Deneyi	53
5.1.1. Yöntemde yapılan güncellemeler.....	54
5.2. R1H Deneyi.....	62
5.3. R2L Deneyi	66
5.4. R2H Deneyi.....	69
5.5. S1LY200 Deneyi.....	73
5.6. S1HY200 Deneyi	77
5.7. S1LY150 Deneyi.....	81
5.8. S1HY150 Deneyi	85
5.9. S1.5LY200 Deneyi.....	88
5.10. S1.5HY200 Deneyi	92
5.11. S1.5LY150 Deneyi.....	96
5.12. S1.5HY150 Deneyi	100
5.13. S2LY200 Deneyi.....	104

	Sayfa
5.14. S2HY200 Deneyi	108
5.15. S2LY150 Deneyi.....	112
5.16. S2HY150 Deneyi	116
5.17. DeneySEL SÜREÇ ÖZETİ	120
6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	121
6.1. Genel	121
6.2. Temel Kriterlere Göre Değerlendirmeler.....	125
6.2.1. Dayanım	125
6.2.2. Süneklik.....	130
6.2.3. Ötelenme oranı	135
6.2.4. Rijitlik.....	148
6.2.5. Enerji dönüşümü	152
6.3. Güçlendirilmiş Deney Elemanları Arasında Karşılaştırma.....	155
6.3.1. Delikli çelik levha kalınlıklarına göre karşılaştırma	155
6.3.2. Delikli çelik levhaları bulonlama aralığına göre karşılaştırma	158
6.3.3. Delikli çelik levhaları eksenel yük düzeyine göre karşılaştırma.....	161
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	167
7.1. Sonuçlar.....	167
7.2. Öneriler	170
KAYNAKLAR	173
ÖZGEÇMİŞ	177

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Deney elemanlarına ait özellikler	22
Çizelge 4.2. İlave güçlendirme teknikleri	25
Çizelge 4.3. Beton karışım oranları	26
Çizelge 4.4. Ortalama beton basınç dayanımları	27
Çizelge 4.5. Donatı çekme dayanımları (Özbek, 2015).....	28
Çizelge 4.6. Tuğla dayanımları (Özbek, 2015)	29
Çizelge 4.7. Sıva harcı hacimsel karışım oranları (Özbek, 2015)	29
Çizelge 4.8. Sıva ve derz harçların basınç dayanımlarının aritmetik ortalamaları	30
Çizelge 6.1. Kolon eksenel yük düzeyi düşük deney elemanlarının dayanım değerleri	126
Çizelge 6.2. Kolon eksenel yük düzeyi yüksek deney elemanlarının dayanım değerleri	127
Çizelge 6.3. Kolon eksenel yükü düşük ve yüksek deney elemanlarının duvarlı referans elemanlara göre dayanım değerleri	128
Çizelge 6.4. Eksenel yük düzeyi düşük (75 kN/kolon) elemanların süneklik terimleri ve oranları.....	132
Çizelge 6.5. Eksenel yük düzeyi yüksek (150 kN/kolon) elemanların süneklik terimleri ve oranları.....	133
Çizelge 6.6. Eksenel yük düzeyi düşük (75 kN/kolon) elemanların en yüksek ötelenme oranları.....	143
Çizelge 6.7. Eksenel yük düzeyi yüksek (150 kN/kolon) elemanların en yüksek ötelenme oranları.....	144
Çizelge 6.8. Güçlendirilen bölme duvarlar için performans sınırlarını tanımlayan kayma açıları (DBYBHY, 2018: 317)	147
Çizelge 6.9. Deney elemanlarının rijitlik değerleri.....	150
Çizelge 6.10. Eksenel yük düzeyi düşük (75 kN/kolon) elemanların ortalama rijitlik değerleri ve R2L'ye göre oranları.....	150
Çizelge 6.11. Eksenel yük düzeyi yüksek (150 kN/kolon) elemanların ortalama rijitlik değerleri ve R2H'ye göre oranları	151
Çizelge 6.12. Deney elemanlarının ortalama beton basınç dayanımları.....	151

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.13. Dönüştürülen toplam enerji miktarları ve kümülatif plastik deformasyonlar	154
Çizelge 6.14. Dönüştürülen toplam enerji miktarları ve kümülatif plastik deformasyonlar	154
Çizelge 6.15. Güçlendirilmiş elemanların levha kalınlıklarına göre performans özetleri	157
Çizelge 6.16. Güçlendirilmiş elemanların bulon aralığına göre performans özetleri	159
Çizelge 6.17. Güçlendirilmiş elemanların eksenel yük düzeyine göre performans özetleri	163
Çizelge 6.18. Özbek'in (2015) çalışması ile bu çalışmadaki güçlendirilmiş elemanların eksenel yük düzeyine göre gruplandırılmış performans özetleri	164

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Erdem ve diğerlerine (2006) ait deneysel çalışmadaki S1 ve S2 elemanlarına ait yük-yatay ötelenme oranı zarf eğrileri.....	8
Şekil 3.2. Yüksel ve diğerlerine (2010) ait deneysel çalışmadaki güçlendirilmiş elemanlara ait yük-yatay deplasman-ötelenme oranı zarf eğrileri	9
Şekil 3.3. Özdemir ve Eren'e (2009) ait çalışmanın deney sistemi	12
Şekil 3.4. Babayani' ye (2012) ait çalışmanın deney sistemi	15
Şekil 3.5. Seydanlıoğlu' nun (2013) çalışmasına ait yükleme sistemi ve S1.0-200 deney elemanının deney sonu hasar durumu	16
Şekil 3.6. Monolitik ve sonradan oluşturulmuş perde yük-ötelenme oranı eğrileri (Anil ve Altın, 2007).....	20
Şekil 4.1. Delikli çelik levha geometrisi (Babayani, 2012; Özbek, 2015; Seydanlıoğlu, 2013)	31
Şekil 4.2. Delikli levhalarla güçlendirme detayı.....	34
Şekil 4.3. Deney elemanlarının boyutları	35
Şekil 4.4. Betonarme çerçevenin donatı detayı.....	37
Şekil 4.5. Deney ölçüm düzeni (Özbek, 2015)	45
Şekil 4.6. Kayma deformasyonları (Özbek, 2015)	48
Şekil 5.1. Eksenel yüklü elemanlarda kolon mantolama detayı	56
Şekil 5.2. Kirişte çelik kablo ile güçlendirme detayı.....	58
Şekil 5.3. R1L deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi	61
Şekil 5.4. R1L deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi	62
Şekil 5.5. R1H deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi.....	65
Şekil 5.6. R1H deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi.....	65
Şekil 5.7. R2L deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi	68
Şekil 5.8. R2L deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi	68
Şekil 5.9. R2H deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi.....	72
Şekil 5.10. R2H deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi.....	72

Şekil	Sayfa
Şekil 5.11. S1LY200 deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi.....	76
Şekil 5.12. S1HY200 deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi	80
Şekil 5.13. S1HY200 deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi	80
Şekil 5.14. S1LY150 deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi.....	84
Şekil 5.15. S1LY150 deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi.....	84
Şekil 5.16. S1HY150 deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi	87
Şekil 5.17. S1HY150 deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi	88
Şekil 5.18. S1.5LY200 deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi.....	91
Şekil 5.19. S1.5LY200 deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi.....	92
Şekil 5.20. S1.5LY200 deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi.....	95
Şekil 5.21. S1.5HY200 deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi	95
Şekil 5.22. S1.5LY150 deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi.....	99
Şekil 5.23. S1.5LY200 deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi.....	99
Şekil 5.24. S1.5HY150 deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi	103
Şekil 5.25. S1.5HY150 deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi	103
Şekil 5.26. S2LY200 deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi.....	107
Şekil 5.27. S2LY200 deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi.....	107
Şekil 5.28. S2HY200 deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi	111
Şekil 5.29. S2HY200 deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi	111
Şekil 5.30. S2LY150 deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi.....	115
Şekil 5.31. S2LY150 deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi.....	115
Şekil 5.32. S2HY150 deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi	119
Şekil 5.33. S2HY150 deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi	119
Şekil 6.1. Eksenel yükü düşük (75 kN/kolon) güçlendirilmiş elemanların, eksenel yükü düşük R2L duvarlı referans eleman ile karşılaştırmalı yük- yatay deplasman zarf eğrileri	122

Şekil	Sayfa
Şekil 6.2. Eksenel yükü yüksek (150 kN/kolon) güçlendirilmiş elemanların eksenel yükü yüksek R2H duvarlı referans eleman ile karşılaştırmalı yük- yatay deplasman zarf eğrileri	123
Şekil 6.3. Eksenel yükü düşük (75 kN/kolon) R1L duvarsız referans eleman ile R2L duvarlı referans elemanların karşılaştırmalı yük- yatay deplasman zarf eğrileri	124
Şekil 6.4. Eksenel yükü yüksek (150 kN/kolon) R1H duvarsız referans eleman ile R2H duvarlı referans elemanların karşılaştırmalı yük- yatay deplasman zarf eğrileri	124
Şekil 6.5. R2L deney elemanında dayanımın bulunuşu.....	126
Şekil 6.6. S1.5LY150’de akma ve süneklik deformasyonları analizi.....	132
Şekil 6.7. R1L ve R2L elemanlarının yük-ötenme oranı zarf eğrileri	136
Şekil 6.8. R1H ve R2H elemanlarının yük-ötenme oranı zarf eğrileri	136
Şekil 6.9. S1LY200 ve R2L elemanlarının yük-ötenme oranı zarf eğrileri.....	137
Şekil 6.10. S1HY200 ve R2H elemanlarının yük-ötenme oranı zarf eğrileri.....	137
Şekil 6.11. S1LY150 ve R2L elemanlarının yük-ötenme oranı zarf eğrileri.....	138
Şekil 6.12. S1HY150 ve R2H elemanlarının yük-ötenme oranı zarf eğrileri.....	138
Şekil 6.13. S1.5LY200 ve R2L elemanlarının yük-ötenme oranı zarf eğrileri.....	139
Şekil 6.14. S1.5HY200 ve R2H elemanlarının yük-ötenme oranı zarf eğrileri.....	139
Şekil 6.15. S1.5LY150 ve R2L elemanlarının yük-ötenme oranı zarf eğrileri.....	140
Şekil 6.16. S1.5HY150 ve R2H elemanlarının yük-ötenme oranı zarf eğrileri.....	140
Şekil 6.17. S2LY200 ve R2L elemanlarının yük-ötenme oranı zarf eğrileri.....	141
Şekil 6.18. S2HY200 ve R2H elemanlarının yük-ötenme oranı zarf eğrileri.....	141
Şekil 6.19. S2LY150 ve R2L elemanlarının yük-ötenme oranı zarf eğrileri.....	142
Şekil 6.20. S2HY150 ve R2H elemanlarının yük-ötenme oranı zarf eğrileri.....	142
Şekil 6.21. S1.5LY150’de en yüksek ötenme oranı analizi	143
Şekil 6.22. Kesit hasar bölgeleri (DBYBHY, 2018: 312).....	146
Şekil 6.23. S1.5LY150 elemanı yük-yatay deplasmanı üzerinde rijitlik analizi ($K_{0,01}$ ve K_{Pu})	149

Şekil	Sayfa
Şekil 6.24. S1.5LY150 elemanına ait bir çevrimde enerji dönüştürme analizi yöntemi.....	153
Şekil 6.25. Eksenel yük düzeyi düşük (75 kN/kolon) elemanların levha kalınlıklarına göre karşılaştırılması	156
Şekil 6.26. Eksenel yük düzeyi yüksek (150 kN/kolon) elemanların levha kalınlıklarına göre karşılaştırılması	156
Şekil 6.27. Güçlendirilmiş eksenel yüklü elemanların bulon aralığına göre karşılaştırılması	160
Şekil 6.28. Güçlendirilmiş elemanların eksenel yük düzeyine göre karşılaştırılması .	162
Şekil 6.29. Özbek'in (2015) çalışması ile bu çalışmadaki güçlendirilmiş elemanların eksenel yük düzeyine göre karşılaştırılması	165

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Özbek'in (2015) çalışmasına ait S1.5ZY150 deney elemanının deney sonu hasar durumu.....	18
Resim 4.1. Yatay delikli tuğlanın en/boy/yükseklik boyutları	28
Resim 4.2. Delikli levhaların duvara bağlantısında kullanılan gijon.....	32
Resim 4.3. Köşe bölgelerde ezilmeye karşı önlem ve kolon-duvar bağlantısı	33
Resim 4.4. Betonarme çerçeve için çelik kalıp ve beton dökümü	38
Resim 4.5. Tuğla dolgu duvar imalatı	39
Resim 4.6. Sıvası tamamlanmış tuğla dolgu duvar	40
Resim 4.7. Güçlendirilmiş deney elemanı	40
Resim 4.8. Yükleme düzeneği	43
Resim 4.9. Düzlem dışı hareketi kısıtlayan düzenek (Özbek, 2015).....	44
Resim 4.10. Sağ kolon alt uç eğrilik ölçümü	46
Resim 4.11. Kayma deformasyonu için ölçümü alınan deplasman ölçerlerin yerleşimi	47
Resim 4.12. Temel-kolon arayüzündeki rölatif yatay ötelenme kontrolü (Özbek, 2015).....	49
Resim 5.1. R1L deney elemanı	54
Resim 5.2. Kolon etriye detayı	55
Resim 5.3. Kolon mantolamasında çelik mantoya yük aktaran sistem.....	55
Resim 5.4. Üretilmiş betonarme çerçeveler	57
Resim 5.5. Kirişin çelik kablo ile sargılanması	58
Resim 5.6. Kolon üst ucu güçlendirme	59
Resim 5.7. Kiriş ucu güçlendirme.....	60
Resim 5.8. R1L deney elemanı göçme modu	60
Resim 5.9. R1H deney elemanı.....	63
Resim 5.10. R1H deney elemanı göçme modu	64

Resim	Sayfa
Resim 5.11. R2L deney elemanı	66
Resim 5.12. R2L deney elemanı göçme modu	67
Resim 5.13. R2H deney elemanı.....	70
Resim 5.14. R2H deney elemanı göçme modu.....	71
Resim 5.15. S1LY200 deney elemanı.....	74
Resim 5.16. S1LY200 deney elemanı göçme modu.....	75
Resim 5.17. S1HY200 deney elemanı	78
Resim 5.18. S1HY200 deney elemanı göçme modu	79
Resim 5.19. S1LY150 deney elemanı.....	82
Resim 5.20. S1LY150 deney elemanı göçme modu.....	83
Resim 5.21. S1HY150 deney elemanı	85
Resim 5.22. S1HY150 deney elemanı göçme modu	86
Resim 5.23. S1.5LY200 deney elemanı.....	89
Resim 5.24. S1.5LY200 deney elemanı göçme modu.....	90
Resim 5.25. S1.5HY200 deney elemanı	93
Resim 5.26. S1.5HY200 deney elemanı göçme modu	94
Resim 5.27. S1.5LY150 deney elemanı.....	97
Resim 5.28. S1.5LY150 deney elemanı göçme modu.....	98
Resim 5.29. S1.5HY150 deney elemanı	100
Resim 5.30. S1.5HY150 deney elemanı göçme modu	102
Resim 5.31. S2LY200 deney elemanı.....	105
Resim 5.32. S2LY200 deney elemanı göçme modu.....	106
Resim 5.33. S2HY200 deney elemanı	108
Resim 5.34. S2HY200 deney elemanı göçme modu	110
Resim 5.35. S2LY150 deney elemanı.....	113
Resim 5.36. S2LY150 deney elemanı göçme modu.....	114

Resim	Sayfa
Resim 5.37. S2HY150 deney elemanı	116
Resim 5.38. S2HY150 deney elemanı göçme modu	118



SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
a	Eğrilik hesabında kullanılan LVDT'ler arası mesafe
a_{dolgu}	Eşdeğer basınç çubuğu genişliği
b	LVDT'lerin temel üst yüzeyine mesafesi
d	Kesit faydalı yüksekliği
d_{0,85}	Süneklik deformasyon değeri
d_i	d _i nolu LVDT ölçüm değeri
d_{ix}	d _i nolu LVDT ölçüm değerinin yatayda iz düşümü
d_x	Ortalama yatay kayma deformasyonu
d_y	Akma deformasyonu
f_c	Beton basınç dayanımı
f_{ck}	Karakteristik beton basınç dayanımı
f_y	Çeliğin akma dayanımı
f_u	Çeliğin kopma dayanımı
k_i	Eğrilik
K_{0.003}	%0,3 ötelenmede sekant rijitliği
K_{0.005}	%0,5 ötelenmede sekant rijitliği
K_{0.01}	%1,0 ötelenmede sekant rijitliği
K_{Pu}	En büyük yükte sekant rijitliği
P_u	Maksimum dayanım
P_{uort}	Ortalama maksimum dayanım
α	Kayma deformasyonu ölçen LVDT'nin yatayla açısı
γ_i	D _i ölçüm değerinden hesaplanan kayma açısı
γ	Ortalama kayma açısı

Kısaltmalar	Açıklamalar
ACI	Amerikan Beton Enstitüsü
CFRP	Karbon lifli kumaş
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
ECC	Çimento esaslı kompozit malzeme
FEMA	Federal Acil Durum Yönetim Kurumu
GÖ	Göçme öncesi hasar
KH	Kontrollü hasar
LVDT	Elektronik deplasman ölçer
RC	Betonarme
SH	Sınırlı hasar
TRM	Tekstil katkılı sıva harcı
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UPS	Kesintisiz güç kaynağı

1. GİRİŞ

Ülkemizin yüzölçümünün %42'sinin birinci derece deprem bölgesinde olduğu bilinmektedir. Son yıllarda meydana gelen şiddetli depremlerde birçok bina ağır hasar almış veya göçmüş; bu nedenle büyük çapta can kayıpları yaşanmıştır. Oluşan can kayıplarından bazıları deprem afetinin yaşandığı sırada yapıdaki duvarların maruz kaldığı yatay yük ile parçalanarak dağıldığı, bina içinde ve çevresindeki yaşayan canlıların üzerine bu parçaların düşmesi sonucu oluşmaktadır. Bu can kayıplarını önlemenin yollarından birisi ise, hali hazırda depremli durum için güvensiz bulunan bu yapılardaki taşıyıcı sistemlerin ve/veya elemanların güçlendirilmesi gerekmektedir.

Taşıyıcı sistemlerin güçlendirmesi için uygulanabilecek en belirgin yöntemin betonarme çerçeve içerisindeki tuğla duvarın yıkılarak yerine sonradan üretilmiş perde duvar konulması şeklinde düşünülmüş ve geçmişte pek çok çalışmada araştırma konusu olmuştur (Anil ve Altın, 2007; Strepelias, Palios, Bousias, ve Fardis, 2014). Bu yöntem için çalışmalardan elde edilen sonuçların oldukça başarılı olduğu görülmüş ve yapılarda da uygulaması yapılan bir yöntemdir. Ancak bu yöntemin uygulamasında bazı uygulama sıkıntıları bulunmaktadır. Yöntemin uygulanması sırasında yapının boşaltılması, özen gerektiren imalat süreci oldukça maliyetli ve zaman alıcı olmaktadır. Bu nedenle araştırmacılar betonarme çerçeve içindeki dolgu duvarlara yönelerek bu doğrultuda araştırmalar yapmaya başlamışlardır.

Bilindiği gibi mimari nedenlerden dolayı yapı içerisinde yaşam alanları oluşturulurken bölme duvarlardan yararlanılmaktadır. Ancak yapılan modelleme ve analiz hesaplarında bu duvarlar dikkate alınmazken, betonarme çerçeve içerisinde kalan dolgu duvarların davranışını araştıran çalışmalar, depremli durumda boş (duvarsız) çerçeveye oranla dolgu duvarlı çerçevelerin sistem dayanımının ve rijitliğinin arttığını göstermiştir (Hashemi ve Mosalam, 2006; Marjani ve Ersoy, 2002; Sevil, Baran ve Canbay, 2010).

Betonarme çerçeveler içerisindeki tuğla duvarların depremli durumdaki yapıya katkılarının anlaşılmasıyla sistem ya da eleman iyileştirmesi olarak dolgu duvarlar üzerinde çeşitli güçlendirme yöntemleri üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Bu duvar güçlendirme yöntemlerinin perde duvar oluşturulması yöntemine göre en avantajlı durumu yapının içinde yaşayanlar tarafından boşaltılmasına gerek duyulmamasıdır.

Dolgu duvar güçlendirme yöntemleriyle ilgili geçmişte yapılan çalışmalardaki önerilen güçlendirme yöntemleri incelendiğinde hiçbirinde yeterli süneklik, kolay uygulanabilirlik ve düşük maliyet ölçütlerinin bir arada olmadığı görülmüştür. Çalışmada önerilen delikli çelik levhalar kullanılarak yapılan güçlendirme yöntemi ile istenen ölçütlerin bir arada olması ya da en azından yapı içi can güvenliğinin sağlanabilmesi düşünülmüştür (Babayani, 2012).

Kullanılması düşünülen bu malzeme ile ilgili “Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarı” nda eğilmeye karşı kirişlerin güçlendirilmesinde güçlendirme malzemesi olarak araştırma yapılmış ve malzeme yeteneği sayesinde olumlu sonuçların aldığı belirtilmiştir (S. Aykaç, B. Aykaç, Kalkan ve Özbek, 2012). Aynı malzemenin aynı laboratuvarda tuğla dolgu duvarlar üzerinde sağladığı etkiyi araştırmak (mafsallı çelik çerçeve içinde testleri yapılan) adına 2 tane yüksek lisans (Babayani, 2012; Seydanlıoğlu, 2013), betonarme çerçeve içindeki davranışı araştırmak için de 1 tane doktora tez (Özbek, 2015) çalışması yapılmış ve tümünden olumlu sonuçlar alınmıştır. Delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş yalın tuğla dolgu duvarlar ile ilgili laboratuvar ortamında yapılan sınırlı deneysel çalışmada duvarların mafsallı çelik çerçeve içinde monotonik ve depremi simüle eden tersinir-tekrarlanır yatay yükler etkisinde göstermiş olduğu davranışlar incelendiğinde levha sayesinde yaklaşık 2,5 kat duvar dayanımının, enerji dönüştürme kapasitesinin de 10 kat arttığı görülmüştür. Gevrek davranışa sahip olan tuğla duvarların delikli levha ile güçlendirilmesi sonucunda oldukça sünek davrandığı görülmüştür (Babayani, 2012; Seydanlıoğlu, 2013). Betonarme çerçeve içindeki dolgu duvarların delikli levhalarla güçlendirilmesi yönteminin araştırıldığı deneysel çalışmada, depremi simüle eden tersinir-tekrarlanır yatay yükler etkisinde elde edilen sonuçlar incelenmiş ve levha sayesinde çerçeve dayanımının yaklaşık 2,0 kat, enerji dönüştürme kapasitesinin de en az 4,7 kat arttığı görülmüştür (Özbek, 2015).

Bu tez delikli çelik levhalar ile yapılmış araştırmaların bir üst basamağı niteliğinde bir çalışma olup gerçekteki bir yapı düşünülerek delikli çelik levhalar ile güçlendirilmiş tuğla dolgu duvarların, eksenel yük etkisindeki çerçevenin depremli durumdaki davranışı araştırılmıştır.

Bu tez kapsamında; kolonları eksenel yüklü betonarme çerçeve içerisindeki tuğla dolgu duvarların delikli çelik levhalarla güçlendirilmesi ile sistem davranışı üzerindeki etkilerini araştırmak için bir dizi deney yapılmıştır. Çalışmada laboratuvar şartları göz önüne alınarak üretilen elemanlar ½ ölçekli, tek açıklıklı, tek katlı olup 4’ü referans olmak üzere 16 adet

deney elemanı laboratuvarında test edilmiştir. Hazırlanan deney elemanları kolon-kiriş ve rijit temelden oluşan betonarme çerçevenin içerisine tuğla dolgu duvar örülmesiyle elde edilmiştir. Çalışma için üretilen betonarme çerçeveler ve duvarlarda güçlendirme için gerçek bir durumda karşılaşılabilecek en olumsuz durum yansıtılmaya çalışılmıştır. Bunun için eleman üretiminde, sıkça rastlanan kusurların başında gelen düşük beton dayanımı, kolon ve kirişlerde seyrek ve/veya eksik etriye ve duvarlarda da kontrolü yapılmayan duvar işçiliği hedef alınmıştır.

Betonarme çerçeve içerisindeki dolgu duvarla oluşan elemanlar delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş ve depremi simüle eden yatay yükler altında testleri yapılmıştır. Test edilen referans ve güçlendirilmiş elemanların deney sonuçları analiz edilmiş ve analiz sonuçları dayanım, süneklik, rijitlik, görelî kat ötelenme ve dönüştürülebilen enerji kapasitelerine göre değerlendirilmiş, birbirleriyle ve eksenel yük açısından kolonlarında eksenel yük bulunmayan Özbek'e (2015) ait çalışmadaki sonuçlarla da karşılaştırılmıştır.

Tuğla dolgu duvarlara uygulanan güçlendirme yöntemi ile binaların depreme karşı güçlendirilmesi için ucuz ve kolay uygulanabilir alternatif bir yöntem konusunda umut verici sonuçlara ulaşılmıştır. Ortaya çıkan başarılı ve umut veren sonuçlar, ülkemiz için her zaman gündemde olan büyük deprem senaryoları gerçekleşmeden, binalarda can güvenliği (dolayısıyla bina içi mal güvenliği) performans düzeyinin rahatlıkla sağlanabileceği, çok hızlı bir şekilde yapıların güçlendirilebileceğini göstermiştir. Böylece hem can hem de mal kayıpları en az düzeye indirilebilecek, toplum psikolojisi düzelecek, devletinde muhtemel maddî kaybı ciddi oranda azalmış olacaktır.

Tuğla dolgu duvarlara uygulanan güçlendirme yöntemi ile betonarme yapıların depreme karşı kolaylıkla güçlendirilebileceğini, oluşturduğu sargılama etkisiyle ile duvar bütünlüğünün korunması sonucunda depremlî durumda yaşanacak olası göçmelerin önüne geçebileceği, yaşanacak can ve mal ile ilgili kayıplarında azaltılabileceği düşünülmektedir.

2. AMAÇ VE KAPSAM

Çalışma kapsamında yapı mekaniği laboratuvarının mevcut şartları göz önüne alınarak 4'ü referans olmak üzere toplam 16 adet deney elemanı laboratuvarında test edilmiştir. Hazırlanan deney elemanları ½ ölçekli olup, kolon-kiriş ve rijit temelden oluşan betonarme çerçevenin içerisine tuğla dolgu duvar örülmesiyle elde edilmiştir. Kolonları eksenel yüklü betonarme çerçeve ve tuğla duvardan oluşan elemanlar, duvarları delikli çelik levhalarla güçlendirilerek depremi simüle eden yatay yükler etkisinde test edilmiştir.

Tez kapsamında;

- a) güçlendirme malzemesi olan delikli çelik levha kalınlığı,
 - b) betonarme çerçevenin kolonlarına verilen eksenel yükün düzeyi ve
 - c) her iki yüzden uygulanan levhaların bulonlamasında kullanılan aralıklar
- parametre olarak ele alınmış ve güçlendirilmiş elemanların her birinde parametreler sistematik değiştirilerek elemanlar test edilmiştir. Referans elemanlarda yalnızca betonarme çerçevenin kolon eksenel yükü değişken olarak alınmıştır.

Bunların haricinde deney elemanlarının testlerinin yapıldığı anlarda betonarme çerçevede beklenmeyen hasarlar oluşmuş ve duvarlara yapılan güçlendirmenin davranışa katkısını anlayabilmek için çerçevede ilave değişiklikler yapılmıştır. Yapılan değişikliklerden aşağıdaki (d) maddesi, çalışma içerisinde yeni araştırma konularının yolunu açmıştır.

Deney elemanlarında yapılan ilave değişkenler;

- a) kolonların çelik profil ve lamalarla mantolanması,
- b) kolon-kiriş birleşim bölgesinin çelik plakalarla baskılanması,
- c) her iki yüzden “L” şeklinde oluşturulan çelik lamaların duvar köşelerine bulonlanması ve delikli çelik levhaların kolona uygulanan mantoya yatayda lamalarla kaynaklanması
- d) kirişe çelik kablo sarılması olarak sonradan tasarlanmıştır.

Çalışma için seçilen bu parametrelerin etkilerinin değerlendirmesi yapılırken deney elemanlarının birbirlerine ve referans grubuna göre davranışlarının nasıl değiştiği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar tartışılarak güçlendirme için en ideal yöntem önerilerle sunulmuştur.

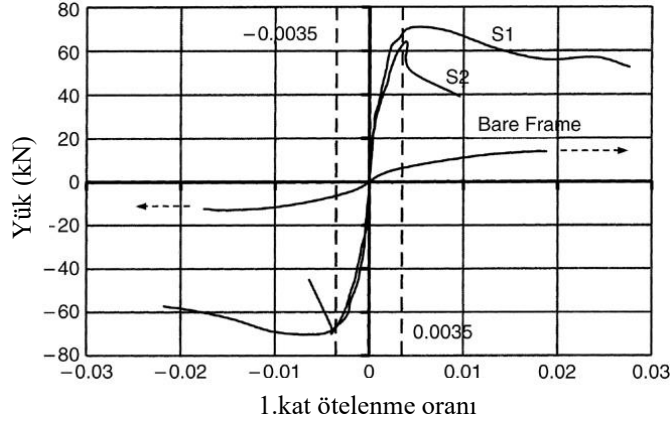


3. GEÇMİŞTEKİ ÇALIŞMALAR

Tuğla dolgu duvarların güçlendirilmesine yönelik geçmişte yapılan araştırmalarda birçok uygulama yöntemi ve malzeme önerilmektedir. Yapılan çalışmaların bir kısmında mevcut tuğla duvarın yıkılarak yerine perde duvar üretilmesi araştırılırken diğer kısımda ise mevcut tuğla duvarın yıkılmadan duvar yüzeyine uygulanan malzeme ile güçlendirme yöntemleri araştırma konusu olmuştur. Bu yöntemler arasında karbon lifli kumaşlar, polimer malzemeler, beton paneller, çelik donatılı sıva ve çelikten üretilmiş yapı elemanları bulunmaktadır. Çalışmalarda güçlendirme yöntemi olarak seçilen kompozit malzemelerin kullanılma nedenleri arasında öncelikli olarak malzemelerin kolay uygulanabilir olması, hafifliği ve korozyon direnci yer almaktadır. Tuğla dolgu duvarlar ile ilgili geçmişte yapılan bu çalışmalarda uygulanan güçlendirme yöntemlerini kullanılan malzeme ve/veya yöntemine göre aşağıdaki gibi başlıklar altında toplayabiliriz. Bu başlıklar:

3.1. CFRP (Karbon Fiber Lifli Polimer) ile Güçlendirme

Erdem, Akyüz, Ersoy ve Özcebe (2006) tarafından yapılan çalışmada üç açıklıklı, iki katlı ve 1/3 ölçekli, 2 adet kusurlu yapıyı temsil edecek şekilde betonarme çerçeve üretilmiştir. Üretilen bu çerçevelerden birinci elemandaki açıklıklara betonarme dolgu duvar (S1) yerleştirilmiş ikinci çerçevedeki açıklıklara ise tuğla dolgu duvar örülüp duvar yüzeyine CFRP karbon lifli kumaş takviyesi (S2) yapılmıştır. Deney elemanları depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır (quasi-static) yükler etkisinde testleri yapılmış ve elemanlar rijitlikleri, dayanımları, kat ötelenmelerine göre karşılaştırmaları yapılmıştır. Erdem ve diğerlerinin (2006) yaptığı deneylerden elde ettikleri sonuçlara göre rijitlik ve dayanım da her iki elemanın aynı davranışı sergilediğini ancak betonarme dolgulu elemanın dayanımda önemli (%15) kayıp olmadan ulaşılan sistem yatay ötelenme oranlarında diğer elemana göre oldukça iyi olduğu görülmüştür. Betonarme dolgulu (S1) ile karbon kumaş ile güçlendirilmiş (S2) elemanlarına ait yük-yatay ötelenme zarf eğrileri Şekil 3.1’de verilmiştir.

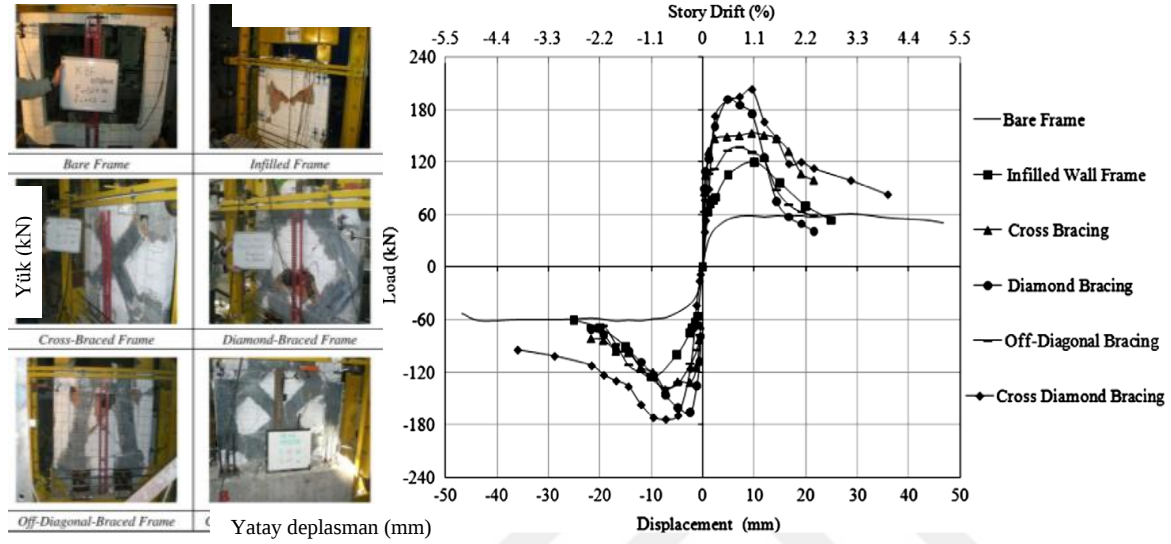


Şekil 3.1. Erdem ve diğerlerine (2006) ait deneysel çalışmadaki S1 ve S2 elemanlarına ait yük-yatay ötelenme oranı zarf eğrileri

Altın, Anil, Kara ve Kaya (2008) tarafından yapılan deneysel çalışmada betonarme çerçevelerin içerisindeki tuğla dolgu duvarların CFRP (karbon lifli kumaş) kullanılarak güçlendirilmesi ve tersinir-tekrarlanır (quasi-static) yatay yükler etkisinde sistem davranışı araştırılmıştır. Çalışma kapsamında tek açıklıklı, tek katlı, 1/3 ölçekli 10 adet betonarme çerçeve üretilerek çerçeve içi boşluğa tuğla dolgu duvar örülmüştür. Betonarme çerçevenin kolonlarına ard-germe halatları ile taşıma kapasitelerinin %10'u civarında eksenel yük deney süresince uygulanmıştır. Dolgu duvarların yüzeylerine uygulanan karbon lifli kumaşın uygulama boyutu ile kullanım şekli parametre olarak seçilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlarda, deney elemanlarına ait yanal ötelenme, rijitlik ve dayanım kapasiteleri kıyaslanmış ve karbon kumaşın elemanlara ait rijitlik ve dayanımı önemli miktarda arttırdığı görülmüştür. Yatay ötelenme oranı %0,5- %1 arasında olan elemanların duvarlarına uygulanan karbon kumaşlarda kopma veya sıyrılma meydana geldiği görülmüştür. Altın ve diğerleri (2008) güçlendirilen elemanlardan duvarının her iki yüzeyine eşit miktarda karbon kumaş uygulanan elemanın, referans elemana göre başlangıç rijitliğinde 6,4 kat, dayanımında ise 2,6 kat artış olduğu ancak elemanın ulaştığı nihai dayanımdan (%15) önemli kayıp oluşmadan ulaşılan deformasyona karşılık gelen ötelenme oranının %0,8 olduğunu belirtmişlerdir.

Yüksel, Özkaynak, Büyüköztürk, Yalçın, Dindar, Sürmeli ve Tastan (2010) tarafından yapılan çalışmada çeşitli yapıştırma teknikleri kullanılarak tuğla dolgu duvarı karbon kumaşlarla güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin davranışı incelenmiştir. Çalışma kapsamında 1/3 ölçekli 6 adet tek katlı ve tek açıklı deney elemanı üretilmiştir. Bu elemanların 4'ü farklı desenlerde karbon kumaşlarla güçlendirilmiş ve elemanların kolonları

eksenel yüklü olarak tersinir tekrarlanır (quasi-static) yatay yükler altında test edilmiştir. Yüksel ve diğerleri (2010) deneylerden elde ettikleri sonuçlara göre göreceli kat ötelemelerinde azalma, çerçevenin akma ile nihai dayanımında ve enerji dönüştürme kapasitelerinde artış gözlemlendiğini belirtmişlerdir. Deneysel çalışmadaki güçlendirilmiş elemanlara ait yük-yatay deplasman-ötelenme oranı zarf eğrileri Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Yüksel ve diğerlerine (2010) ait deneysel çalışmadaki güçlendirilmiş elemanlara ait yük-yatay deplasman-ötelenme oranı zarf eğrileri

Akın (2011) çalışmasında, CFRP (karbon fiber lifli polimer) kullanılmasıyla tuğla dolgu duvarları güçlendirmeyi ve yanal taşıyıcı olan yeni bir deney sistemi oluşturarak uygulanan yöntemin mevcut yapıyla beraber çalışmasını araştırmıştır. Çalışma kapsamında yapılan güçlendirmenin, deney elemanlarının ölçeği ve dolgu duvarların yükseklik-genişlik oranının değişimi ile genel davranış üzerindeki etkileri incelemiştir. Çalışma deneysel ve analitik iki kısımdan oluşurken deneysel kısım iki aşamadan oluşmaktadır. Deneysel kısmın ilk aşamasında, diyagonal deprem yükleri altında güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş dolgu duvarların davranışının anlaşılması için bağımsız 10 adet panelin testi yapılmıştır. İkinci aşamasında ise, tasarım detaylarının belirlenebilmesi için 8 tane 1/3, 4 tane de 1/2 ölçekli tek açıklıklı, iki katlı ve iki farklı en-boy oranına sahip tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlarda, deney elemanlarına ait dayanım, enerji dönüştürme kapasiteleri ile yanal rijitlik ve ötelenme üzerine açıklamalar yapılmıştır. Çalışmanın analitik kısmında ise, güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş betonarme çerçeve içerisinde dolgu duvarların modellenmesinde eşdeğer gergi yaklaşımından faydalanılmıştır. Modellenen sistemin statik itme analiz sonuçları,

deneyselden elde edilen sonuçlar ile kıyaslaması yapılmış ve uygulanan bu güçlendirme yönteminin gerekli tasarım detayları belirlenmiştir (Akın, 2011).

3.2. Polimer Malzemeler ile Güçlendirme

Koutromanos, Kyriakides, Stavridis, Billington ve Shing (2013) tarafından yapılan çalışmada dolgu duvarlı sünek olmayan betonarme çerçevelerin deprem yükleri altında performansını artırmak için tuğla dolgu duvarların kompozit malzemelerle güçlendirilmesi yöntemi araştırılmıştır. Araştırmanın ilk bölümünde 2/3 ölçekli, 2 açıklıklı ve 3 katlı betonarme çerçeve hazırlanmış, çerçevenin ilk katında kapı diğer katlarda pencere boşluğu bırakılacak şekilde tuğla dolgu duvar imalatı yapılmıştır. İlk kattaki boşluksuz dolgu duvarın çimento bazlı kompozit malzemeyle yüzey kaplaması yapılarak sarsma tablasında çerçeve test edilmiştir. Deney sırasında ikinci kattaki duvarlarda hasar oluşması üzerine deney durdurulmuş duvardaki oluşan çatlaklara epoksi enjekte edilmiş ve cam elyaf polimer malzeme ile duvar güçlendirilmiştir. Deneysel çalışma ile sonlu eleman analizlerinden elde edilen sonuçlarla güçlendirme yöntemi incelenmiştir. Koutromanos ve diğerlerinin (2013) çalışmasında uygulanan iki yöntemde de çerçeve kolonlarında kesme kırılmasının oluşması engellenmekte ve sistemin deprem performansının arttığı görülmektedir.

Kyriakides ve Billington'a (2014) ait çalışmada sünek olmayan betonarme çerçeve içerisindeki dolgu duvarların depreme karşı yeni bir teknik kullanılarak güçlendirmesi araştırılmıştır. Çalışmanın amacı, depremlili durumda sünek olmayan, kat ötelemesi sınırlı olan, çerçevenin hem kolonlarındaki kesme kırılmasını hem de dolgu duvarın dağılmasını önleyerek bununla beraber çerçevenin sünekliğini artıracak dolgu duvarlar için hafif ve uygulaması kolay bir güçlendirme tekniğinin geliştirilmesidir. Kısa, rastgele dağıtılmış polimerik liflerle güçlendirilmiş, mikromekanik olarak tasarlanmış çimento bazlı bir malzeme olan püskürtülebilir mühendislik çimentolu kompozitlerin (ECC'ler) kullanıldığı çalışmada, tuğlalar arasındaki derzleri güçlendirmek için duvar yüzeyine bant yapıştırılmaktadır. Daha sonra duvara ve çerçeveye gelecek şekilde hasır çelik yerleştirilmiş ve bazı elemanlarda temel ve kirişte kesme kapasitesini artırmak için epoksi ile kısa çelik çiviler ankrajlanmıştır. En son ECC malzemesi yüzeye püskürtme ile uygulanarak güçlendirme yöntemi tamamlanmıştır. Çalışma kapsamında küçük ölçekli, tek açıklıklı ve tek katlı 1 adet referans ve 3 adet güçlendirilmiş eleman olmak üzere toplam 4 adet eleman hazırlanmış ve tersinir tekrarlanır (quasi-static) yükler altında test edilmişlerdir. Kyriakides

ve Billington'a (2014) ait çalışmadan elde edilen sonuçlara göre depremli durumda ECC ile güçlendirme yönteminde kiriş-temele uygulanan ankraj çivileri sistemin sünekliğinin artmasında etkili olmuşlardır.

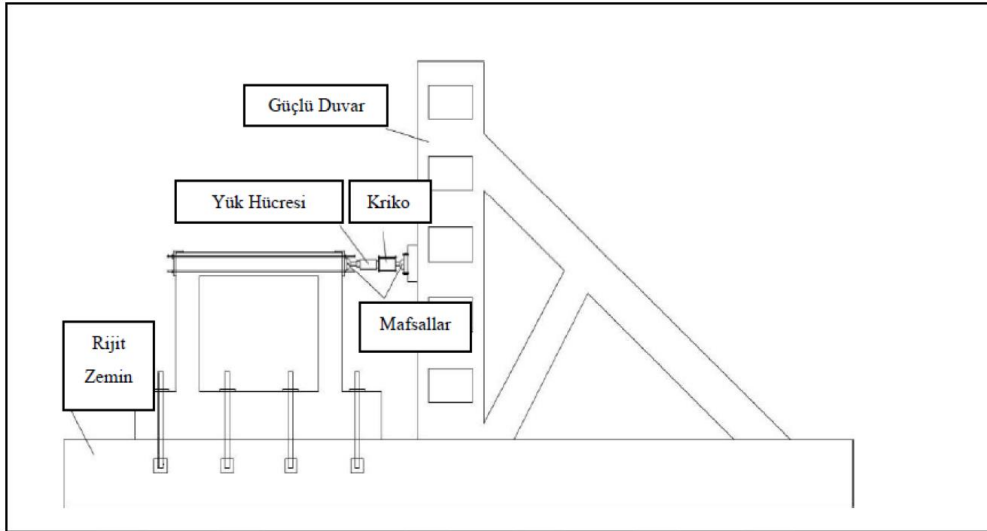
3.3. Beton Paneller ile Güçlendirme

Aktaş (2017) tarafından yapılan tez çalışmasında, yapıda mevcut halde bulunan sıvalı tuğla dolgu duvarların yüzeyine şerit ya da panel haldeki beton/betonarme plakaların yapıştırılıp duvarın güçlendirilerek betonarme dolgu duvara dönüştürülmesi yöntemi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında $\frac{1}{2}$ ölçekli 1 adet referans olmak üzere toplamda 13 adet sıvanmış tuğla dolgu duvar elemanların çelik profillerden yapılan köşeleri mafsallı çerçeve içerisinde quasi-static (tersinir tekrarlanır) yatay yükler etkisinde deneyleri yapılmıştır. Güçlendirilen 12 adet deney elemanından 4 tanesine dikdörtgen şeklindeki beton plakalar yapıştırılırken geriye kalan 8 tanesine şerit haldeki beton/betonarme plakalar yapıştırılmıştır. Aktaş'a (2017) ait çalışmadan elde edilen sonuçlar göre beton/betonarme plaka yapıştırma yöntemi ile güçlendirilmiş elemanların yatay yük taşıma kapasiteleri artmış, ancak nihai yüklere ulaşıldıktan sonra yüklerde yaşanan ani düşmeler sonucu duvarların sünekliği sınırlı kalmıştır.

Aksoylu ve Kara' ya (2019) ait çalışmada mevcut yapılardaki kusurlara sahip, depremli durumda oluşacak kuvvetler için yetersiz, iki katlı, tek açıklıklı ve $\frac{1}{3}$ ölçekli olacak şekilde güçlendirilmemiş tuğla dolgu duvarlı iki adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Üretilen çerçevelerden birincisi güçlendirilmemiş tuğla dolgu duvarlı referans eleman olup ikinci çerçevedeki duvarların yüzeyine ön üretimli çapraz şekilde yüksek dayanımlı beton paneller yapıştırılarak güçlendirilmiştir. Deney elemanları deprem etkisini benzeştiren tersinir tekrarlanır (quasi-static) yatay yükler etkisinde test edilmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar analitik çalışma için kullanılan SAP2000 programından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Aksoylu ve Kara' ya (2019) ait çalışmadan elde edilen sonuçlara göre uygulanan bu güçlendirme yöntemi ile deney elemanlarının enerji dönüştürme yeteneklerinin arttığı ve depremli durumda çerçeve davranışını iyileştirdiği görülmüştür.

3.4. Çelik Donatılı Sıva ile Güçlendirme

Özdemir ve Eren'e (2009) ait deneysel çalışmada kusurlu olduğu düşünülen mevcut yapılarıdaki betonarme çerçevelerin içerisindeki tuğla dolgu duvarların hasır donatı ve sıva ile güçlendirilmesi yöntemi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında $\frac{1}{2}$ ölçekli 3 adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Ankastre mesnetin sağlanması için rijit bir temel, bu temel üstüne kusurlu yapıyı temsil edecek basınç dayanımı düşük beton kullanılan tek katlı, tek açıklıklı zayıf kolon ve güçlü kirişi temsil edecek şekilde betonarme çerçeveler üretilmiştir. Üretilen çerçevelerden birinci eleman duvarsız betonarme çerçeve, ikinci elemanda güçlendirilmemiş duvarlı çerçeve ve üçüncü elemanda ise çerçeve içerisine duvar örülerek duvar yüzeyine hasır donatı ile sıva uygulanmış, "2007 Türkiye Deprem Yönetmeliği" nde belirtilen parametreleri dikkate alarak güçlendirilen elemanlar test edilmiştir. Deney elemanları tersinir tekrarlanır (quasi-static) yatay yükler etkisinde test edilmişlerdir. Çalışma kapsamında kullanılan deney sisteminin basit bir görseli Şekil 3.3.'de verilmiştir. Özdemir ve Eren'e (2009) ait deneysel çalışmada elemanların rijitliklerindeki, yatay yük taşıma ve enerji dönüştürme kapasitelerindeki değişimler araştırılmış ve yapılan güçlendirme ile bu değerlerde büyük oranda artış olduğu görülmüştür.



Şekil 3.3. Özdemir ve Eren'e (2009) ait çalışmanın deney sistemi

Altın, Anıl, Koprman, ve Belgin'e (2010) ait deneysel çalışmada güçlendirme yöntemi olarak betonarme çerçeve içerisindeki tuğla dolgu duvarların yalnızca bir yüzeyine hasır çelik donatılı sıva uygulaması araştırılmıştır. Çalışma kapsamında tek katlı, tek açıklıklı, $\frac{1}{3}$ ölçekli olacak şekilde 5 tane deney elemanı üretilmiş ve quasi-static (tersinir tekrarlanır)

yatay yükler etkisinde deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre betonarme çerçeveye hasır donatı doğrudan ankrajlandığında dayanımın artmakta olup kaplama için kullanılan sıvanın dayanımının artmasıyla da bu dayanım değerinin artış gösterdiğini ve bu artışın referans elemana göre de 2,5 kat olduğunu belirtmişlerdir (Altın ve diğerleri, 2010).

Tekeli ve diğerleri (2014) tarafından yapılan deneysel çalışmada güçlendirme yöntemi olarak tuğla dolgu duvarların yüzeyine hasır çelik donatı ile hazırlanmış sıva uygulamasının etkileri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında yapısal olarak birbirinin aynı olan dört betonarme çerçeve üretilmiş ve üretilen çerçevelerden üç tanesine duvar örülürken bir tanesi yalın boş çerçeve olarak bırakılmıştır. Duvar örülen çerçevelerden iki tanesinin sadece bir yüzeyine güçlendirme yöntemi olarak hasır donatılı sıva uygulanmıştır. Güçlendirilen bu iki elemanda ankraj aralığı (seyrek/sık) ve işçiliği (iyi/kötü) değişken olarak alınmış ve elemanlar test edilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre bu güçlendirme yöntemi ile elemanların yük taşıma ve enerji kapasitelerinde artışın görüldüğü belirtilmiştir. Tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeve sisteminin yanal yük taşıma kapasitesi duvarsız numune referans alınarak incelendiğinde; güçlendirilmemiş duvarlı numunede %120, seyrek ankraj ile güçlendirilen numunede %160 ve sık ankraj yapılan numunede %180 oranında artış sağlandığı görülmüştür. Ankraj işçiliğinin kötü yapıldığı duvarda deney sırasında sıvanın yüzeyden ayrıldığı ve güçlendirmenin tek yüzeye uygulanmasından dolayı duvarın arka yüzeyinde X görünümlü hasar oluştuğu görülmüştür. Tekeli ve diğerlerinin (2014) çalışmasındaki güçlendirme yönteminde hasır çelik donatılı sıvanın duvarın her iki yüzeyine uygulanmasının daha iyi olacağını belirtmişler.

3.5. Çelikten Üretilmiş Yapı Elemanları ile Güçlendirme

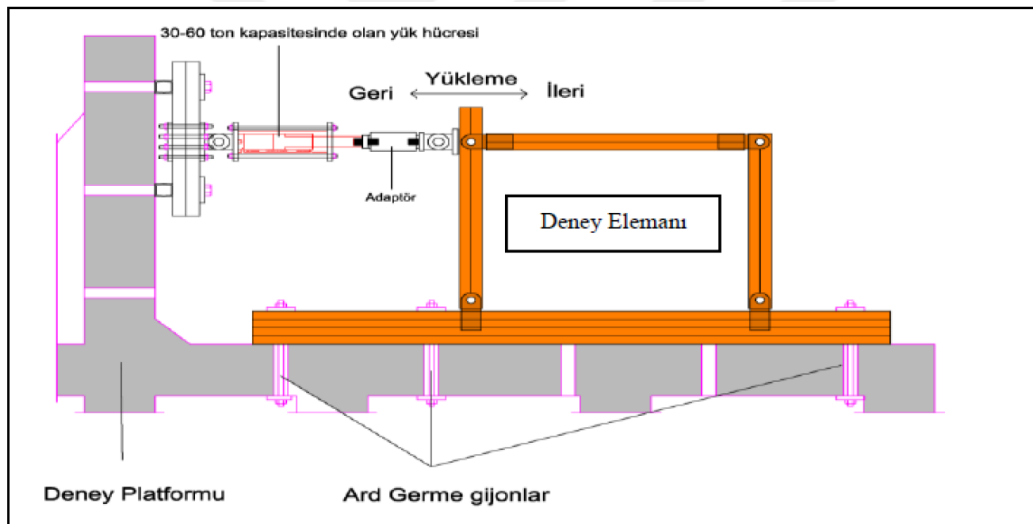
Choi ve Park' a (2011) ait deneysel çalışmada dolgu duvarlar yerine yerleştirilen ince çelik levhanın betonarme çerçeveye tutturulması ile oluşan yeni sistemin davranışları araştırılmıştır. Çalışma kapsamında deney elemanları 1/3 ölçekli, tek açıklıklı, üç katlı 5 adet üretilen betonarme çerçevenin kolonları eksenel yüksüz şekilde elemanlar tersinir tekrarlanır (quasi-static) yatay yükler etkisinde test edilmiştir. Deney elemanlarında çerçeve içerisindeki ince levhada bırakılan boşluklar ve betonarme çerçeve kolonlarındaki boyuna donatı oranı parametre olarak seçilmiştir. Ayrıca güçlendirilen elemanların dışında kalan 2 adet betonarme çerçeveden biri boş çerçeveyi (RCF) temsil ederken diğerine ise perde duvar

yerleştirilmiş (RCIW) ve kıyaslama elemanları olarak kullanılmıştır. İnce levhalar ile güçlendirilen elemanların (SPIW 1, 2 ve 3) analitik hesapla elde edilen dayanımları, betonarme perde duvarın dayanımına yaklaşık eşit olacak şekilde tasarımı yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlarda güçlendirilmiş elemanların dayanımlarının perde duvar ile yaklaşık aynı dayanımları gösterdiği görülmüştür. Ancak çelik levhalarla güçlendirilmiş elemanların dayanım kapasitesinin ve deformasyon yeteneğinin arttığı görülmüştür. Deney elemanlarının yük-yatay ötelenme oranı zarf eğrileri incelendiğinde dayanımında önemli (%15) kayıplar olmadan betonarme perde duvarın ulaştığı yatay ötelenme oranı yaklaşık %1,5 olurken bu oran güçlendirilmiş elemanlarda %4'e kadar çıkmıştır (Choi ve Park, 2011).

Özbek ve Can' a (2012) ait deneysel çalışmada depremli durumda tuğla dolgu duvar köşelerinde oluşan ezilmeyi önleyecek güçlendirme yönteminin dolgu duvar davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada güçlendirme için kullanılacak yöntemin pratik ve ekonomik olmasının yanı sıra tuğla dolgu duvarların rijitlik ve dayanımlarının artırılması hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında $\frac{1}{2}$ ölçekli 6 adet sıvalı tuğla dolgu duvar üretilmiş ve bunlardan bir tanesi referans eleman olup kalan beş tanesi güçlendirilmiştir. Duvarların köşe bölgelerine ikizkenar dik üçgen şeklinde sac levhalar bir ya da iki yüzden uygulanarak bulonla duvara sabitlenmiştir. Ek olarak duvarın ön yüzünde çelik profil diyagonal doğrultuda köşeden köşeye gelecek şekilde duvara bulonlanırken, arka yüzde de ters diyagonale gelecek şekilde ikinci çelik profil duvara ve köşe levhalarına bulonlarla sabitlenmiştir. Deney elemanları güçlendirilirken kullanılan sac levhanın, kenar ölçüleri ile duvarda uygulandığı yüzeyler değişken olarak seçilmiş ve elemanların çelikten profillerden üretilmiş köşeleri mafsallı, çerçeve içerisinde yatayda uygulanan quasi-static (tersinir tekrarlanır) yükler etkisinde deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre köşelere bağlanan levhalar ezilmeyi engellenmiş ayrıca sargılama basıncını da arttırdığı görülmüştür. Özbek ve Can'ın (2012) çalışmasındaki güçlendirme yönteminde kullanılan levhaların uygulama yüzeylerin sayısı ve yüzey alanı arttıkça elemanların dayanımının arttığı ve bu artış rijitlik için 3 kat olurken dayanımda 3,5 kat olarak görülmüştür.

Babayani' ye (2012) ait deneysel çalışmada tuğla dolgu duvarların yüzeyine delikli sac levha uygulama tekniği ile dolgu duvar güçlendirme yöntemi araştırılmıştır. Söz konusu araştırma, bu tez kapsamındaki çalışmanın öncüsü olma niteliğindedir. Çalışma kapsamında $\frac{1}{2}$ ölçekli, 13 adet sıvalı tuğla duvar üretilmiş ve 12 tanesi her iki yüzünden delikli sac levha ile

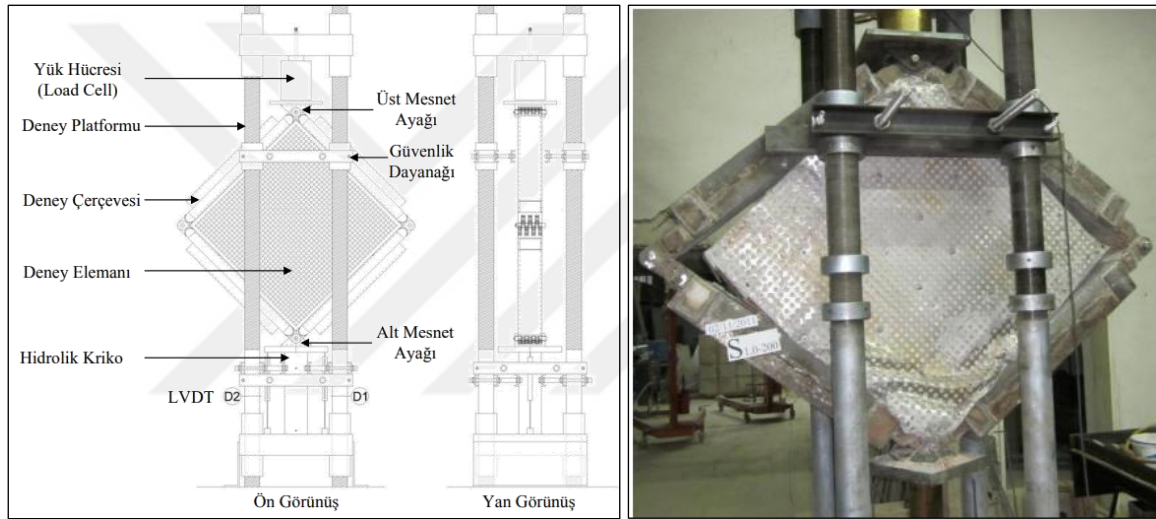
güçlendirilmiştir. Deney elemanlarının çelikten profillerden üretilmiş köşeleri mafsallı, çerçeve içerisinde yatayda uygulanan quasi-static (tersinir tekrarlanır) yükler etkisinde deneyleri yapılmıştır (Şekil 3.4). Güçlendirme malzemesi olarak kullanılan delikli sac levha duvarın her iki yüzünden yerleştirilip duvar içerisinden geçen bulonlar ile duvara sabitlenmiştir. Güçlendirme yönteminde delikli levha kalınlığı (0,3;0,5;1,0 mm), bulon aralığı, levhanın standart ölçüde olmasından dolayı duvar yüzeyinde bindirmeli ekin olup olmaması ve köşelerde oluşan ezilmeyi önleme türü değişken olarak seçilmiştir. Elemanların deneyleri esnasında duvar köşelerinde oluşan erken ezilmeye yönelik çalışma içerisinde duvar köşeleri için 3 farklı teknik de uygulanmıştır. Babayani' ye (2012) ait deneysel çalışmada elemanların süneklik, rijitlik, yatay yük taşıma ve enerji dönüştürme kapasitelerindeki değişimler araştırılmış ve yapılan güçlendirme yönteminin duvarların depremli durumdaki performansını arttırdığı görülmüştür.



Şekil 3.4. Babayani' ye (2012) ait çalışmanın deney sistemi

Seydanlıoğlu' na (2013) ait tez çalışmasında tuğla dolgu duvarların yüzeyine delikli sac levha uygulanması ile oluşturulan güçlendirme yönteminin elemanların davranışlarına olan etkileri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında 13 adet sıvalı tuğla dolgu duvar üretilmiş ve duvarlardan bir tanesi referans olmak üzere geriye kalan 12 tanesi her iki yüzünden delikli sac levha ile güçlendirilmiştir. Bu çalışmada Babayani' nin (2012) çalışmasından farklı olarak değişkenler seçilirken sac levha kalınlıkları (0,5;1,0;1,5;2,0 mm) olarak artırılmış, bulon aralıkları aynı kullanılmıştır. Yükleme sistemi değiştirilmiş ve duvarlar dört köşesinde mafsallar bulunan çelik çerçeve içerisinde diyagonal doğrultuda tek düze (monolitik) düşey yükler ile test edilmiştir (Şekil 3.5). Deneyler sonucunda duvarların dayanım ve

sünekliklerinde levha kalınlığının değişimine kıyasla bulon aralığının da büyük etkisi olduğu görülmüştür. Bulonların aralıkları sıklaştıkça, elemanlara ait yük-deplasman eğrisindeki elastik olan ve olmayan bölgelerde levhadaki dalgalanmanın daha sınırlı olduğu görülmüştür. Aynı zamanda delikli levhaların kalınlığı arttıkça, elemanın dönüştürdüğü enerjinin arttığı görülmüştür. Seydanlıoğlu (2013) yaptığı deneysel çalışmadaki güçlendirme yönteminin kullanılan malzeme kalitesinden, uygulama işçiliğinden ve üretim hatalarından ciddi anlamda etkilendiğini belirtmiştir. Seydanlıoğlu' nun (2013) çalışmasına ait yükleme sistemi ve deney elemanlarından bir tanesinin deney sonu hasar görseli Şekil 3.5' de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Seydanlıoğlu' nun (2013) çalışmasına ait yükleme sistemi ve S1.0-200 deney elemanının deney sonu hasar durumu

Cumhur, Altundal, Kalkan ve Aykaç'a (2015) ait deneysel çalışmada tuğla dolgu duvarların yüzeyine güçlendirme malzemesi olarak genişletilmiş çelik levha uygulamasının etkileri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında 11 adet deney elemanından biri referans olmak üzere 10 adet güçlendirilmiş duvar bulunmaktadır. Tam ölçekli (1m x1m) hazırlanan deney elemanları dört köşesinde mafsallar bulunan çelik çerçeve içerisinde diyagonal doğrultuda tek düze (monolitik) düşey yükler ile test edilmiştir. Duvarın her iki yüzeyine yerleştirilen genişletilmiş levhaların, duvarda açılan deliklerden geçirilen bulonlarla duvara ve birbirlerine bağlantısı yapılarak sabitlenmesiyle güçlendirme işlemi yapılmıştır. Çalışmada levhaları bağlayan bulonların aralıkları ve genişletilmiş çelik levhanın kalınlığı değişken olarak seçilmiştir. Deneysel çalışmanın sonuçları incelendiğinde duvarda oluşan çekme gerilmelerinin büyük bir kısmı kullanılan genişletilmiş levha ile karşılanmıştır. Duvarın iki

yüzünden bağlanan levhalar, yükleme sırasında duvarda üç eksenli sayılabilecek bir sargılama basıncı oluşturmakta ve bulonlarda akma oluşana kadar güçlendirilmiş duvar kompozit bir eleman gibi davranmıştır. Güçlendirilmiş elemanların deneyleri sırasında dayanımlarında ani yük kaybı görülmemiş ve deney sonuna kadar duvarın bütünlüğü korunmuştur. Cumhur ve diğerleri (2015) tarafından yapılan deneysel çalışmada önerilen güçlendirme yöntemi ile elemanların süneklik, rijitlik, dayanım ve enerji dönüştürme kapasitelerinde artış olduğu ve söz konusu güçlendirmenin dolgu duvarların davranışını iyileştirdiği belirtilmiştir.

Özbek'e (2015) ait doktora tez çalışması, bu doktora tezi kapsamındaki deneysel çalışmanın birinci aşaması olup kolonlarında eksenel yük olmayan delikli çelik levhalar ile güçlendirilen tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeveler depremi benzeten tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir. Deneysel çalışmada boş yalın çerçeve ile içerisinde tuğla dolgu duvar bulunan 2 adet referans elemanları ile dolgu duvarları delikli levhalarla güçlendirilmiş 12 adet elemanla birlikte toplamda 14 tane $\frac{1}{2}$ ölçekli eleman tersinir-tekrarlanır yatay yükler ile test edilmiştir. Rijit temel, kiriş ve kolonlardan oluşan betonarme çerçeve içerisine tuğla dolgu duvar örülmesiyle güçlendirilmemiş elemanlar oluşturulmuştur. Çalışmada levha kalınlığı bulon aralığı, levhanın kolonlara bağlantısının olup olmadığı değişken olarak belirlenmiştir. Ayrıca elemanlara ait isimlendirmede eksenel yükün sıfır olduğunu temsil eden Z (zero) harf olarak eleman kodlamasında yer almıştır ancak bu çalışmada değişken olmamıştır. Deneyler sırasında güçlendirilmiş duvar karşısında zayıf düşen çerçevede yaşanan kapasite sorunları nedeniyle ilave önlemler (kolon mantolaması, kiriş-kolon birleşim bölgesi baskılanması) alınmıştır. Deneysel çalışmada güçlendirilmiş elemanlara ait süneklik, rijitlik, dayanım ve enerji dönüştürme kapasitelerindeki değişimler araştırılmıştır. Deneyleri yapılan elemanların sonuçları incelendiğinde betonarme çerçevedeki kolonların boy demirlerinde kopma olmadığı sürece, elemanların dayanımlarında önemli kayıpların (%15) olmadığı deformasyon değerlerine karşılık gelen ötelenme oranı %7,5'in üstüne çıkmıştır. Rijitlik bakımından incelendiğinde 1,5 mm levha kalınlığına sahip elemanlarda en yüksek değerler görülmüştür. Kolon duvar bağlantısı olan elemanlarda duvar-kolon teması yitirilmemiş, ayrılma sınırlı kalmıştır ve 1,5 mm kalınlıktaki levha ile güçlendirilmiş elemanlar en iyi davranışı sergilemiştir. Sonuç olarak tuğla dolgu duvarların delikli sac levhalar kullanılarak güçlendirilmesi oldukça iyi sonuçlar vermiştir. Özbek (2015) çalışmasında kullandığı delikli sac levhanın uygulama açısından bazı dezavantajlarının (mimari problemler, levha

yüzeyinin sıva uygulamasında aderans sağlamaması) olduğunu belirtmiş ve araştırmacıları hızlı uygulanabilen, hafif ve çok daha düşük maliyetli malzemelerin arayışına yönlendirdiğini söylemiştir. Özbek'in (2015) çalışmasına ait deney elemanlarından bir tanesinin duvar bütünlüğünü koruduğunu gösteren deney sonu hasar görseli Resim 3.1'de gösterilmiştir.



Resim 3.1. Özbek'in (2015) çalışmasına ait S1.5ZY150 deney elemanının deney sonu hasar durumu

Pul ve Arslan' a (2019) ait “Farklı tipte içi boş tuğla dolgu duvarlarının döngüsel davranışları: Mafsallı rijit çerçeve yaklaşımı” adlı çalışmada, betonarme çerçeveden bağımsız dolgu duvar (yatay delikli tuğla) ve yığma duvarların (düşey delikli tuğla), yatay doğrultudaki çevrimsel yükler etkisindeki davranışları incelenmiştir. Bu doğrultuda sıvasız, iki yüzü sıvalı, iki yüzü sıvalı ve çinko kaplamalı çelik tel örgü ile yatay ve düşey delikli tuğlalardan elde edilen güçlendirilmemiş/güçlendirilmiş duvarların deneyleri, yatay doğrultudaki çevrimsel yük altında rijit mafsallı çelik çerçevede testleri yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar süneklik, yük taşıma ve enerji dönüştürme kapasiteleri bakımından değerlendirilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre, kullanılan tel örgünün eleman sünekliğini ve enerji dönüştürme kapasitesini arttırdığı, bununla beraber duvar bütünlüğünü koruduğu görülmüştür. Çalışmada, tel örgülü elemanların taşıma gücü ve enerji dönüştürme kapasiteleri referans duvarların yaklaşık beş katı olduğu görülmüştür.

Pul ve Arslan'a (2019) ait deneysel çalışmada tel örgü ile uygulanan yöntemin güçlendirme amaçlı olmayıp eleman davranışını belirlemeye yönelik olduğu belirtilmiştir.

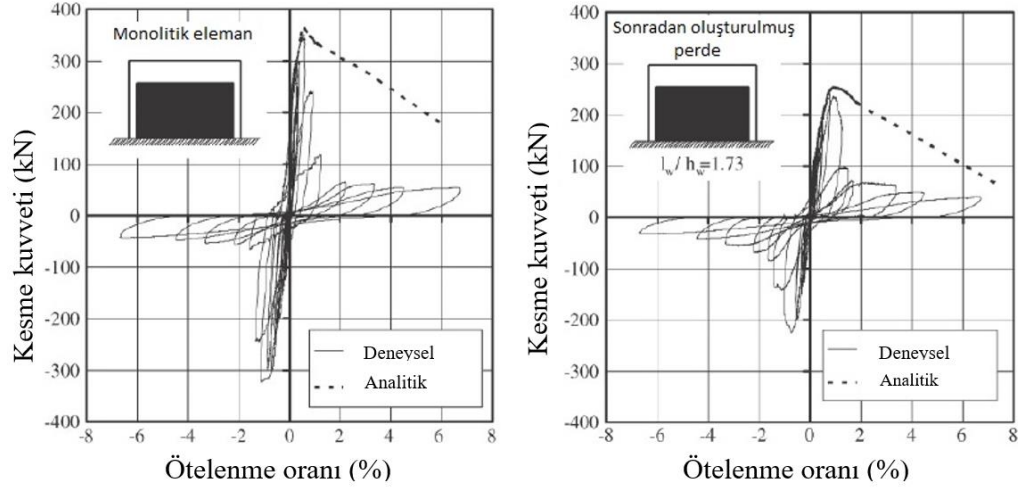
Akkurt'a (2020) ait deneysel çalışmada, geçmişte yapılan güçlendirme yöntemlerine alternatif bir malzeme olarak tel örgüler önerilmiş ve depremli durumda kapasitenin artırılması amacıyla bir dizi tuğla duvarlar üzerinde testleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında ½ ölçekli üretilen 9 adet deney elemanından 3 tanesi referans diğer 6'sı güçlendirilmiş olup deney elemanlarının depremi simüle eden (quasi-static) yatay yükler etkisinde deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tel örgülerle yapılan güçlendirme sonucu duvarların rijitlik, dayanım ve enerji dönüşüm kapasitelerinde artışların olduğu görülmüştür. Ayrıca tel örgü kullanımı sonucu tuğla duvarın gevrek kırılarak dağılması önlenmiş ve tel örgünün duvar bütünlüğünü koruduğu görülmüştür. Akkurt'a (2020) ait çalışmada bu yöntem ile depremli durumda oluşması muhtemel göçmeler için önlem alınabileceği bununla beraber olası bina içi/dışı can ve mal kayıplarının azalacağı kanaatinin oluştuğu belirtilmiştir.

3.6. Betonarme Çerçevenin İçindeki Mevcut Dolgu Duvarın Yıkılarak Çerçevenin Sonradan Oluşturulmuş Perde Duvar ile Güçlendirilmesi

Anıl ve Altın'a (2007) ait deneysel çalışmada depreme karşı güçlendirilmesi amacıyla betonarme çerçevedeki dolgu duvarın yıkılarak yerine sonradan oluşturulmuş boşluklu betonarme perde duvarın yapılması araştırılmıştır. Yapılan çalışmada mimari nedenlerden dolayı mevcut yapılardaki tuğla duvarların içinde yer alan kapı ve pencere boşlukları düşünülmüş, yeniden yapılacak betonarme perde de bu boşluklar bırakılmıştır. Perde de yer alan bu boşlukların çerçevenin davranışını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda 1/3 ölçekli, tek açıklıklı ve tek katlı dokuz adet deney elemanı üretilmiş ve elemanların depremi simüle eden (quasi-static) yatay yükler altında deneyleri yapılmıştır. Sonradan oluşturulan betonarme perde duvarın en-boy oranı ve perde de boşluğun bırakıldığı yerler deney parametreleri olarak seçilmiştir (Anıl ve Altın, 2007).

Çalışmadan elde edilen deney sonuçları incelendiğinde, dolgu betonarme perde duvarın en boy oranının artmasıyla dayanım ve rijitliğin de arttığı görülmüştür. Ayrıca betonarme perde duvarın kolon ve kirişe bağlandığı elemanların deprem davranışında en başarılı sonuçları sergilediği görülmüştür. Anıl ve Altın'a (2007) ait çalışmadaki deneylerde, bir döküm (monolitik) olan betonarme çerçeve ile betonarme duvarın beraber döküldüğü elemanların

dayanımı, çerçeve içindeki dolgu duvarın yıkılarak sonradan oluşturulmuş betonarme perde duvarlı eleman dayanımından 1,5 kat fazla çıktığı belirtilmiştir. Çalışmaya ait kesme kuvveti ötelenme oranı grafikleri Şekil 3.4'te sunulmuştur (Anil ve Altın, 2007).



Şekil 3.6. Monolitik ve sonradan oluşturulmuş perde yük-ötelenme oranı eğrileri (Anil ve Altın, 2007)

Strepelias, Palios, Bousias ve Fardis'in (2014) yaptığı çalışmada betonarme çerçeve içindeki dolgu duvarın yıkılarak yerine sonradan oluşturulmuş perde duvarların davranışları araştırılmıştır. Çalışma kapsamında 3 adet dört katlı deney elemanları $\frac{3}{4}$ ölçekli üretilmiş ve dinamik yüklemeyi benzeştiren yükler altında test edilmiştir. Geçmişte yapılan benzer çalışmalardan fark oluşturması için deney elemanlarındaki sonradan oluşturulan betonarme duvarın eni çerçeve elemanların eninden daha az kalınlıkta olmayacak şekilde üretildiği belirtilmiştir. Sonradan oluşturulan betonarme perde duvarın çerçeveye bağlantısında iki farklı yöntem uygulanmış ve bu yöntemlerden birinin daha az işçilik ile yapıldığı belirtilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde sistem davranışının eğilme yönünde olduğu görülmüştür. Kolonların temelle birleştiği yerlere uygulanan CFRP manto yönteminin etkili çalıştığı, ayrıca perde duvar çerçeve bağlantılarında uygulanan yöntemlerin de yük aktarımında etkili olduğu belirtilmiştir. Deney elemanları yapısal olarak incelendiğinde plastik mafsalların betonarme çerçevenin farklı yerlerinde oluştuğunu ancak genel davranış olarak sistemin enerji dönüştürme ve deformasyon kapasitesini bu durumun olumsuz etkilemediği belirtilmiştir. Strepelias ve diğerlerinin (2014) yaptığı çalışmadan elde edilen sonuçlar uluslararası yönetmeliklerde monolitik eleman davranışı için öngörülen rijitlik ve akma momentine ait denklemler ile hesaplanmış, çıkan sonuçların seçilen geometri ile uyumlu olduğu belirtilmiştir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Genel İlkeler

Bu çalışmanın amacı duvarlar üzerinde güçlendirme yaparken, kolay uygulanabilen, maliyet açısından düşük olan ayrıca yerli üretilen bir malzeme kullanarak alternatif bir güçlendirme yöntemi geliştirmektir. Bu amaç doğrultusunda kullanılan delikli çelik levhalar oldukça sünek davranış gösteren bir malzemedir. Levhaya eksenel çekme kuvvetleri uygulanarak test edildiğinde levha üzerindeki deliklerin ovalleşmesi ile ileri deformasyonlara izin vermektedir (Babayani, 2012). Ayrıca delikli sac levhalar bire bir ölçülerdeki düz sac levhaya oranla %50 daha hafiftir. Delikli sac levha kullanılması durumunda yapılması düşünülen güçlendirme çalışmalarında yapıların diğer güçlendirme malzemelerine kıyasla çok fazla ağırlaştırılmayacağı düşünülmüştür. Kullanılan malzeme yerli üretilmekte olup ülkemizde de malzemenin imalatını yapan birçok firma bulunmaktadır. Sac kalınlığı, deliklerin birbirlerine olan aks mesafeleri, delik çapları, deliklerin yerleşme düzeni gibi istenilen bilgiler kullanılarak perfore baskı makinaları ile düz saclar üzerinde düzenli delikler açılmasıyla delikli sac levhalar elde edilir. Deliklerin açılması sırasında levhalara ısı bir işlem uygulanmamaktadır. Delikli levhaların günümüzdeki fiyatları nerdeyse deliksiz düz çelik levha fiyatları ile aynıdır. Levhaların düzenli delik aralıklarına sahip olması ile levhalar somun ve gijonlarla karşılıklı olarak tuğla duvar yüzeyinden kolayca çift yüzden uygulanabilmektedir (Babayani, 2012; Seydanlıoğlu, 2013)

Bu çalışmada ise betonarme çerçeve içerisindeki tuğla dolgu duvarın her iki yüzeyine farklı kalınlıklarda delikli çelik levhalar yerleştirilmiş ve levhalar seçilen aralıklardaki bulonlarla birbirlerine bağlanmıştır. Bu sayede mevcut tuğla dolgu duvar üzerinde sargılama basıncının oluşması ve bununla beraber sistem dayanımının da artması beklenmiştir. Oluşturulan sargılama yöntemi ile deprem kuvvetleri altında dolgu duvarların ezilip dökülmesini, devrilmesini engelleyerek bütünlüğünün korunması ve sünekliğinin artabileceği öngörülmüştür. Çalışma için üretilen betonarme çerçeveler ve duvarlarda güçlendirme için gerçek bir durumda karşılaşılabilecek en olumsuz durum yansıtılmaya çalışılmıştır. Bunun için eleman üretiminde, sıkça rastlanan kusurların başında gelen beton dayanımının düşük olması, kolon ve kirişlerde seyrek ve/veya eksik etriye ve duvarlarda da kontrolsüz yapılan duvar işçiliği uygulanmıştır. Çalışma kapsamında laboratuvar şartları göz önüne alınarak üretilen elemanlar ½ ölçekli, tek açıklıklı, tek katlı olup 4'ü referans olmak üzere toplam 16

adet deney elemanı laboratuvarında test edilmiştir. Hazırlanan deney elemanları kolon-kiriş ve rijit temelden oluşan betonarme çerçevenin içerisine tuğla dolgu duvar örülmesiyle elde edilmiştir

4.2. Güçlendirilmemiş/ Güçlendirilmiş Deney Elemanlarının Özellikleri

Standart özelliklere sahip dolgu duvarlı betonarme çerçeveler hazırlandıktan sonra çalışma kapsamındaki parametrelerden levha kalınlığı ve bulon aralıklarına göre delikli çelik levhalarla güçlendirilmiştir. Dört (4) adet referans elemanı olmak üzere toplamda 16 deney elemanı hazırlanmış ve deneyleri yapılmıştır. Birinci referans elemanlarının bulunduğu (R1L ve R1H) yalnızca betonarme çerçeveden, ikinci referans elemanlar ise (R2L ve R2H) betonarme çerçeve içi boşluğa tuğla dolgu duvarla örülmesiyle oluşturulmuştur. Geriye kalan 12 eleman için güçlendirme malzemesi olan delikli levha kalınlıkları (1,0; 1,5 ve 2,0 mm), levhaların bulonlarla bağlanmasında seçilen aralıklar (150 ve 200 mm), ve çerçevenin kolonlarına uygulanacak eksenel yük (75 kN ve 150 kN) sistemin değişkenlerini belirlemiştir. Bahsedilen değişkenler, ana parametre olarak ele alınmış ve güçlendirilmiş elemanların her birinde parametreler sistematik değiştirilerek elemanlar test edilmiştir. Referans elemanlarda yalnızca betonarme çerçevenin kolon eksenel yükü değişken olarak alınmıştır. Deney elemanları seçilen parametrelerle birlikte Çizelge 4.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.1. Deney elemanlarına ait özellikler

Deney elemanı adı	Levha kalınlığı (t) mm	Eksenel yük miktarı (kN)	Kolona bağlantı	Bulon aralıkları (s) mm
R1L	-----	75	-----	-----
R1H	-----	150	-----	-----
R2L	-----	75	-----	-----
R2H	-----	150	-----	-----
S1LY200	1	75	Var	200
S1HY200	1	150	Var	200
S1LY150	1	75	Var	150
S1HY150	1	150	Var	150
S1.5LY200	1,5	75	Var	200
S1.5HY200	1,5	150	Var	200
S1.5LY150	1,5	75	Var	150
S1.5HY150	1,5	150	Var	150
S2LY200	2	75	Var	200
S2HY200	2	150	Var	200
S2LY150	2	75	Var	150
S2HY150	2	150	Var	150

Deney elemanlarının isimlendirilmesi deney parametrelerini bulunduracak şekilde yapılmıştır. Ancak tez kapsamındaki bu çalışma grubu TUBİTAK projesinin 2. Aşaması olduğu için isimlendirmede parametre olmadığı halde yer alan bir harf daha bulunmaktadır. Yeri geldiğinde bu harf açıklanacaktır. Güçlendirilmiş elemanların isimlendirmesinde İngilizce yazım dili kullanılmış olup ilk harf olan “S” harfi “Deney elemanı” anlamına gelen “Specimen” kelimesinin kısaltılmasıdır. “S” den sonraki sayı (1,0; 1,5 ve 2,0) kullanılan delikli çelik levhanın mm olarak kalınlığını simgelemektedir. Sayıdan sonraki harf “L veya H” kullanılan yazım dilinin kısaltması olarak “Low, High” kelimelerini ifade ederken, kolonlara uygulanacak eksenel yükün “düşük veya yüksek” düzeyde olacağı anlamını taşımaktadır. Kısaltma sırasında eksenel yükü temsil eden harflerden sonra gelen ikinci alfabetik harf ise “Y” yani “Yes” kelimesini ifade etmektedir. Delikli levhanın kolonlara bağlantısının olduğunu ifade etmektedir. “Y” harfinin güçlendirilmiş elemanların isimlendirilmesinde kullanımı sabit olup bu tez kapsamındaki parametrelerden biri değildir. Son olarak isimlendirmenin bitiminde kullanılan sayı grubu ise (150 ve 200 mm) delikli çelik levhanın bağlanmasında kullanılan bulonların aralıklarını mm olarak temsil etmektedir (Çizelge 4.1). İsimlendirmenin İngilizce anlamlar ile ifade edilmesinin sebebi, yapılan çalışma sonunda ortaya çıkacak bilimsel sonuçların uluslararası platformlarda ortak dil ile açıklanabilmesidir.

Bu çalışmada değişken olarak kullanılan levha kalınlıkları (1,0; 1,5 ve 2,0 mm) ve bulon aralıkları (150 ve 200 mm) önceden yapılmış olan çalışmalardan elde edilen sonuçlar doğrultusunda belirlenmiştir (Babayani, 2012; Özbek, 2015; Seydanlıoğlu, 2013). Bulon aralıklarının seçiminde, önceki çalışmalardan elde edilen sonuçların ve gerçekteki duvar düşünülerek iki komşu tuğlanın her birinde bulon olması isteği etken olmuştur. Bu nedenle bulon aralıklarında 200 mm üzerinde aralık kullanılmamış olup bununla beraber pratik olmayacağı düşüncesiyle 150 mm’nin de altına inilmemiştir. Güçlendirilmiş deney elemanlarında delikli çelik levhalar bulonlarla tuğla duvarlara bağlanırken beraberinde kolon üzerindeki çelik mantoya yatay elemanlarla kaynaklanmıştır.

Kolonlara verilecek eksenel yükler (75 kN ve 150 kN) kolon eksenel yük kapasitesinin yaklaşık %25 ve %50’ sine denk gelmektedir. Bu tür deneylerde uygulama zorluklarından dolayı genellikle eksenel yük düzeyi %10 civarında tutulmaktadır. Ancak bu çalışma için geliştirilmiş olan özgün eksenel yükleme düzeneği sayesinde, yukarıda belirtilen yük oranlarına oldukça güvenli bir şekilde çıkılabilmektedir. Ayrıca tasarlanan eksenel yükleme

düzenegi, ileri deformasyonlarda oldukça kritik hale gelen ikinci mertebe zorlanmalarını da gerçektekine benzer şekilde yansıtmaktadır. Böylelikle orta ve alt katlarda yer alan eksenel yüklü elemanlarda yapılan güçlendirmenin depremli durumda davranışı nasıl değiştirdiği araştırılmıştır.

Özbek' e (2015) ait (kolonları eksenel yüksüz) çalışmada, çalışmanın deney elemanlarının tasarımı sürecinde düşünülmeyip deney elemanlarının testleri esnasında bazı kapasite sorunları ortaya çıkmış ve güçlendirilmiş duvarın taşıma kapasitesi ölçülememiştir. Çalışma konusu olan güçlendirmenin etkisinin anlaşılabilmesi için betonarme çerçeve üzerinde ilave güçlendirme teknikleri yapılmış ve bunlar da araştırma konusu içine girmiştir. Deney elemanlarındaki bu ilave güçlendirmelerin nedenleri ve nasıl uygulandığı deney sürecin anlatıldığı bölümde detaylı olarak verilmeye çalışılmıştır.

Özbek'e (2015) ait çalışmada sözü edilen ilave güçlendirme teknikleri;

- a) kolonların dışına çelik manto yapılması,
 - b) kolon-kiriş birleşim bölgesinin çelik plakalarla baskılanması,
 - c) duvar köşelerinde bulunan "L" şeklindeki çelik lamalara ve delikli çelik levhanın kolon bağlantı elemanlarına yatayda lamalarla kaynaklanması
- olarak yapılmıştır.

Bu çalışmada da güçlendirilmiş elemanlara ait yapılan ilk deneyde kolonlara uygulanan eksenel yüke bağlı betonarme çerçevedeki kirişin kapasitesinde sorun yaşanmış duvara uygulanan güçlendirmenin etkisi görülememiştir. Bu nedenle kirişi güçlendirme ihtiyacı doğmuş ve ilave değişken olarak,

- d) "kirişe çelik kablo sarılması" olarak çalışma içerisinde sonradan tasarlanmıştır. Elemanların hangisine hangi ilave güçlendirme tekniğinin uygulandığı Çizelge 4.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.2. İlave güçlendirme teknikleri

Deney elemanı adı	Çelik manto (a) ve çelik plaka (b)	Kolon – duvar bağlantısı lamalarla kaynak (c)	Kirişte Çelik kablo (d)
R1L	Var	-----	Var
R1H	Var	-----	Var
R2L	Var	-----	Var
R2H	Var	-----	Var
S1LY200	Var	Duvar yüksekliğince	Yok
S1HY200	Var	Duvar yüksekliğince	Var
S1LY150	Var	Duvar yüksekliğince	Var
S1HY150	Var	Duvar yüksekliğince	Var
S1.5LY200	Var	Duvar yüksekliğince	Var
S1.5HY200	Var	Duvar yüksekliğince	Var
S1.5LY150	Var	Duvar yüksekliğince	Var
S1.5HY150	Var	Duvar yüksekliğince	Var
S2LY200	Var	Duvar yüksekliğince	Var
S2HY200	Var	Duvar yüksekliğince	Var
S2LY150	Var	Duvar yüksekliğince	Var
S2ZY150	Var	Duvar yüksekliğince	Var

4.3. Malzemeler ve Özellikleri

Deney elamanlarının imalatında ve güçlendirilmesinde kullanılan tuğla, sıva, beton, delikli çelik levha, çelik kablo, gijon ve çelik profillerin özellikleri, dayanımları çalışmanın bu bölümünde anlatılacaktır. Üretimi olmayıp dışardan alınmış olan malzemelerden tuğla için aynı parti olmasına dikkat edilmiş, çelik malzemelerde ise aynı firmadan tek üretim olmasına özen gösterilmiştir.

4.3.1. Beton

Betonarme çerçevelerin üretimindeki beton laboratuvarında hazırlanmıştır. Beton karışımında kum, çakıl, çimento ve su kullanılmış, mevcut yapılardaki kusurlar hedef alındığı için katkı malzemesi kullanılmamıştır. Kullanılan agreganın dere malzemesi, çimento türü olarak piyasada yapılarda kullanılan gri 32,5R kodlu çimento kullanılmıştır. Beton dayanımında hedeflenen 10 MPa civarındaki düşük dayanımı elde etmek için karışım oranları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Beton karışım oranları

Hedeflenen Beton Dayanımı (10 MPa)	
Malzeme	Ağırlık (kg/m ³)
Çimento	320
Kum (0-3 mm)	1100
Çakıl (7-15 mm)	680
Su	190

Hazırlanan beton karışımında kullanılan suyun çimentoya oranı yaklaşık 0,6 da tutulmuştur. Karışımındaki kum-çakılın dış ortam ile teması olmasından dolayı agregaların kendi içlerindeki su muhtevassından dolayı su/çimento oranının karışım için sabit tutulamamasına neden olmuştur. Çelik sacdan hazırlanan kalıba betonun yerleştirilmesinde vibratör kullanılmıştır. Beton dökümü esnasında deneyde etkili olacak çerçeve elemanlarından kolon-kiriş bölgesine gelen betonlardan her çerçeve için en az 7 adet küp (150×150×150 mm) numune alınmıştır. Dökümü tamamlanan elemanların kalıpları 48 saat sonra sökülüş ve dayanımlarını artıracak yönde bir kür uygulaması yapılmamıştır. Alınan küp numunelerde deney elemanları ile aynı ortamda muhafaza edilmiş ve basınç dayanım değerleri için numuneler deneyin hemen öncesinde kırılarak ölçülmüştür. Ölçülen basınç dayanım değerleri ve aritmetik ortalamaları Çizelge 4.4'te her bir deney elemanı için ayrı ayrı verilmiştir.

Çizelge 4.4. Ortalama beton basınç dayanımları

Deney Elemanı Adı	(150x150mm) Beton Küp Ort. Basınç Dayanımı (MPa)	N.1 (MPa)	N.2 (MPa)	N.3 (MPa)	N.4 (MPa)	N.5 (MPa)	N.6 (MPa)	N.7 (MPa)
R1L	32	34,9	34,3	28,9	34,1	29,8	31,2	33,2
R2L	28	32,8	35,2	20,4	32,1	19,9	33,8	27,7
R1H	25	20,6	30,7	32,3	21,3	21,2	30,9	20,8
R2H	23	28,2	32,3	17,5	17,1	23,9	30,5	17,1
S1LY200	19	20,2	20,4	16,3	20,6	21,0	19,7	19,1
S1HY200	17	16,4	17,6	18,4	16,7	17,7	17,4	17,5
S1LY150	13	15,1	12,1	13,8	14,5	12,0	14,4	14,6
S1HY150	14	15,8	14,7	14,0	13,0	17,0	14,2	14,9
S1.5LY200	15	13,2	12,7	13,7	17,6	17,1	16,3	14,9
S1.5HY200	25	26,7	25,1	22,4	23,8	28,5	23,4	28,0
S1.5LY150	24	27,8	22,9	26,9	21,6	22,8	28,5	23,8
S1.5HY150	18	18,8	18,3	18,7	19,4	18,7	19,4	18,8
S2LY200	14	16,3	13,2	15,9	15,8	13,2	14,9	14,7
S2HY200	12	11,8	10,8	13,4	11,1	14,0	13,0	12,4
S2LY150	17	27,5	22,9	26,9	21,6	22,8	25,8	25,9
S2HY150	26	21,6	21,9	28,4	28,3	29,2	29,9	26,5

4.3.2. Donatı çeliği

Betonarme çerçevenin üretiminde kullanılan donatıların özelliklerinin farklılık yaratmaması için tüm donatıların aynı firmadan tek üretim olmasına ve bir seferde alımının yapılmasına dikkat edilmiştir. Deney elemanlarında kolon-kirişteki boyuna donatılar ile temeldeki boyuna ve enine donatılar S420 kalitesindeki nervürlü donatı olup kolon-kiriş elemanlarındaki enine donatılar da S220 kalitesindeki düz yüzeyli donatı kullanılmıştır. Kullanılan donatılara ait laboratuvar da yapılan çekme deneyleri sonucunda ortalama akma ve kopma değerleri Çizelge 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Donatı çekme dayanımları (Özbek, 2015)

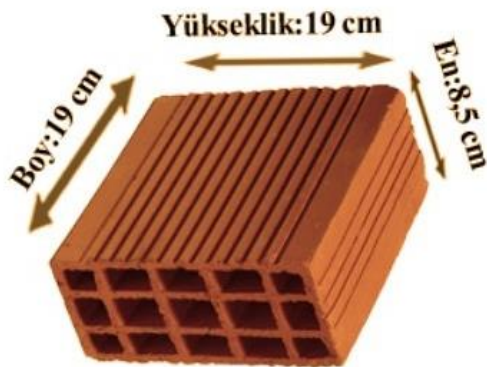
Donatı Dayanımları		
Çelik Sınıfı ve Donatı Çapları	Akma Dayanımı f_y (MPa)	Kopma Dayanımı f_u (MPa)
S220 (Ø4)	270	390
S420 (Ø8)	460	600
S420 (Ø10)	500	680

4.3.3. Çelik kablo

Deney elemanlarının üretiminde TS-EN 12385-4 6X7 sınıfı 3 mm çapında çelik kablo kullanılmıştır. Laboratuvar ortamında çekme deneyleri yapılmış ve ortalama kopma dayanımı 764 MPa çıkmıştır.

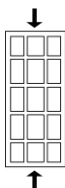
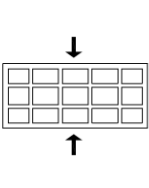
4.3.4. Tuğlalar

Duvar imalatının yapımında piyasada 8,5'lik olarak anılan yatay delikli tuğla 04.018(B) poz numarası ile birim fiyat listesinde yer alan tuğlalar kullanılmıştır. Tuğlanın delikli yüzeyinin net alanı 6500 mm² gelmektedir. Kullanılacak tuğlaların standart olabilmesi için aynı fabrikanın aynı zamanda üretimi yapılan parti olarak isimlendirilen grup malzemesinden topluca tek seferde alınmıştır. Tuğlaya uygulanan basınç dayanımı, yükün uygulama yönüyle değiştiğinden; her üç yönde ayrı ayrı en az 5 kez testleri yapılmıştır. Testler sonucu elde edilen dayanım değerlerinin ortalaması Özbek'e (2015) ait çalışmayla aynı olup ve yükleme yönüne bağlı elde edilen değerler Çizelge 4.6'da verilmiştir .



Resim 4.1. Yatay delikli tuğlanın en/boy/yükseklik boyutları

Çizelge 4.6. Tuğla dayanımları (Özbek, 2015)

Yatay Delikli Tuğla Dayanımları	Yükleme Yönü		
			
Basınç Dayanımı (P_u / A_{net})	46 MPa	32 MPa	31 MPa
Basınç Dayanımı ($P_u / A_{brüt}$)	20 MPa	8,8 MPa	5,2 MPa

4.3.5. Sıva ve harç

Duvar imalatında tuğlalar arası derzlerde ve yüzeye uygulanan sıva için hazırlanan harç gerçek yapıdaki harca benzer nitelikte olacak şekilde çimento, kum, kireç ve su karışımı ile elde edilmiştir. Karışım için kullanılan malzeme oranları Özbek'e (2015) ait çalışmayla aynı olup Çizelge 4.7'de hacimsel birim olarak gösterilmiştir. Tuğla dolgu duvar imalatının kalitesini bütün elemanlarda aynı benzer yapıda olabilmesi için tek tip işçilik hizmeti alınmıştır. İmalat için hazırlanmış her harç karışımından 100×100×100 mm boyutlarında küp numune alınmaya çalışılmış ve her deney elemanı için en az 3 numune alınmıştır. Küp numunelerin basınç dayanımları, beton da olduğu gibi deney öncesinde beton basınç dayanım cihazında kırılarak ölçülmüştür. Sıva ve harca ait ölçülen basınç dayanımları ve bunlardan elde edilen aritmetik ortalaması Çizelge 4.8'de her bir deney elemanı için verilmiştir. Elemanlara ait küp numunelerin ortalama basınç dayanımları birbirine yakın olduğu ve genel basınç dayanımı ortalamasının yaklaşık 2,1 MPa olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.7. Sıva harcı hacimsel karışım oranları (Özbek, 2015)

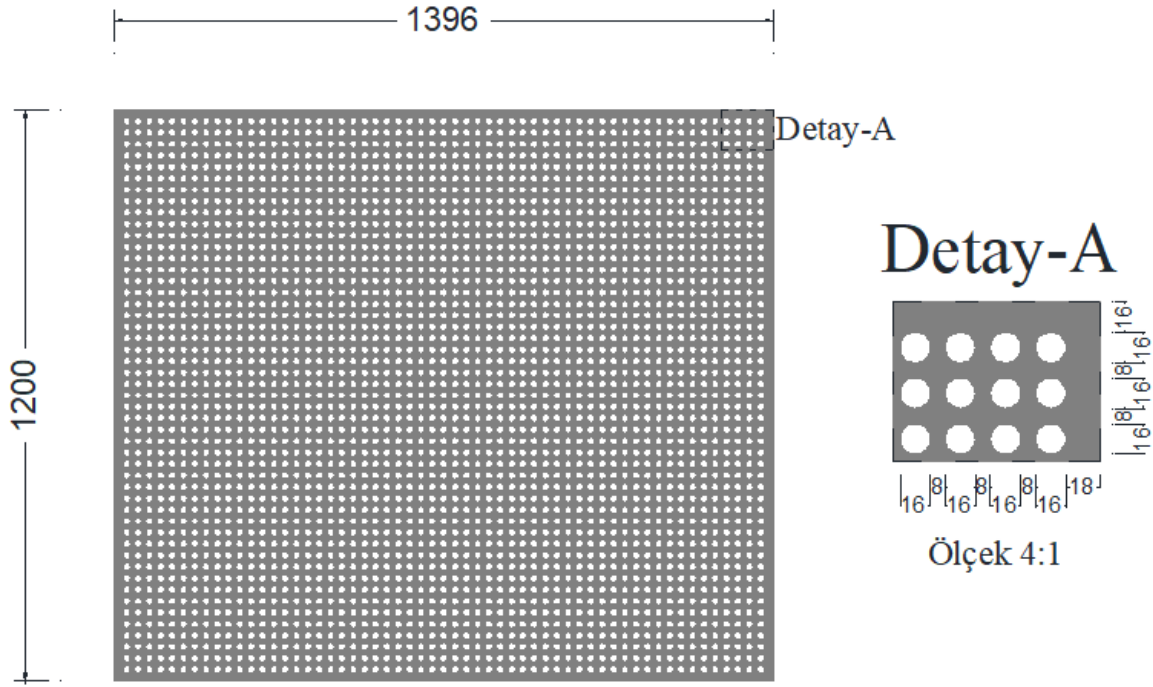
Sıva Harcı İçin Karışım Oranları	
Malzeme	Hacimsel oran
Çimento	1
Su	1,5
Kum (0-3 mm)	8
Kireç	2

Çizelge 4.8. Sıva ve derz harçların basınç dayanımlarının aritmetik ortalamaları

Deney Elemanı Adı	(150x150mm) Küp Sıva Ort. Basınç Dayanımı (MPa)	Deney Elemanı Adı	(150x150mm) Küp Sıva Ort. Basınç Dayanımı (MPa)
R2L	1,8	R2H	1,9
S1LY200	1,9	S1HY200	2,1
S1LY150	2,6	S1HY150	2,0
S1.5LY200	2,1	S1.5HY200	2,2
S1.5LY150	2,1	S1.5HY150	1,9
S2LY200	2,1	S2HY200	1,9
S2LY150	1,9	S2HY150	2,0
		Genel Ort.	2,1

4.3.6. Delikli çelik levhalar

DKP tipi çelik sacın üzerinde perfore baskı makinaları sayesinde düzenli delikler açılmasıyla delikli levhalar elde edilmiştir. Önceki çalışmalarda ve bu çalışmada da kullanılan sacın kalınlığı 1,0; 1,5 ve 2,0 mm kullanılmış olup; levhanın boyutları, üzerindeki delik çapları, deliklerin merkez uzaklıkları, deliklerin düzenini gösteren görsel Şekil 4.4'te gösterilmiştir (Babayani, 2012; Özbek, 2015; Seydanlıoğlu, 2013). Levha üzerindeki deliklerin çapları 16 mm olup güçlendirme uygulamasında levha bağlantısı için deliklerden 6 mm çapındaki gijonlar geçmektedir. Delikler ile gijon çapları arasında kalan 10 mm'lik boşluk, gijonların duvar üzerinde açılan delikten kolayca geçmesini sağlamaktadır. Delikli levhaya ait dayanım değerleri Özbek'e (2015) ait çalışmayla aynı olup, levha üzerindeki deliksiz kenarlardan çıkarılan 20 mm enine sahip şeritlerin çelik çekme cihazında yapılan testler sonucu bulunmuştur. Testler sonucunda delikli levhaya ait akma 350 MPa, kopma dayanımı ise 410 MPa çıkmıştır.



Şekil 4.1. Delikli çelik levha geometrisi (Babayani, 2012; Özbek, 2015; Seydanlıoğlu, 2013)

4.3.7. Gijon ve çelik profiller

Delikli levhaların tuğla duvara bağlantısı, metrik 6'lık (M6) siyah renkteki gijonlarla yapılmıştır. Söz konusu gijonlar piyasada birer metrelik boyutlarda bulunmakta ve duvar bağlantılarında kullanılacak ölçülerde kesilerek kullanılmaktadır. Deney elemanlarına uygulanan ilave güçlendirme yöntemlerinde L30.30.3 köşebent profiller ve 25×3 mm kesitli lamalar kullanılmıştır. Gijonlar, çelik profiller ve lamalar St37 kalitesinde olup tasarım hesaplarında fabrika çıkışı değerleri kullanılmıştır.

4.4. Delikli Çelik Levhalarla Güçlendirme Tekniği

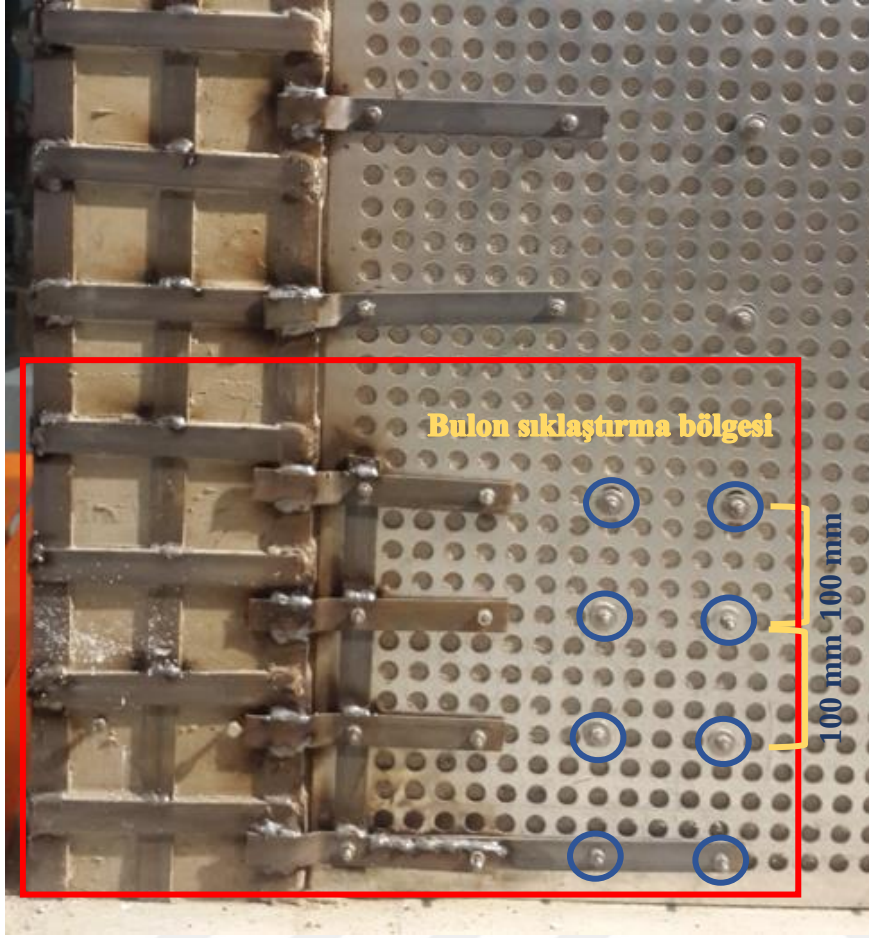
Bu yöntemde betonarme çerçeve içindeki dolgu duvarın ön ve arka yüzeyine delikli çelik levhalar yerleştirilmiş ve levhaların duvara bağlantısı için duvarda kullanılacak bulon çapından 1mm daha geniş delikler açılmıştır. Deliklerden Ø6 metrik gijonlar yaklaşık 170 mm uzunluğunda geçirilerek gijonların her iki ucuna pul-somun ikilisi takılmış ve levhalar duvara sabitlenmiştir (Resim 4.2). Burada kullanılan pulların çapları levha üzerindeki delik çaplarından daha büyük olması hususunda dikkat edilmelidir.



Resim 4.2. Delikli levhaların duvara bağlantısında kullanılan gijon

Daha önce yapılan duvar güçlendirme çalışmalarından elde edilen sonuçlarda duvar köşe bölgelerinde yüksek zorların oluştuğu ve bu yüzden köşe bölgelerde ilave önlemlerin alınması gerektiğinden bahsedilmişti (Babayani, 2012; Özbek, 2015). Bu araştırmada Babayani (2012) çalışmasındaki duvar köşelerinde oluşan ezilmeyi geciktirmek için alınan ilave önlemlerin kullanılmasına karar verilmiştir.

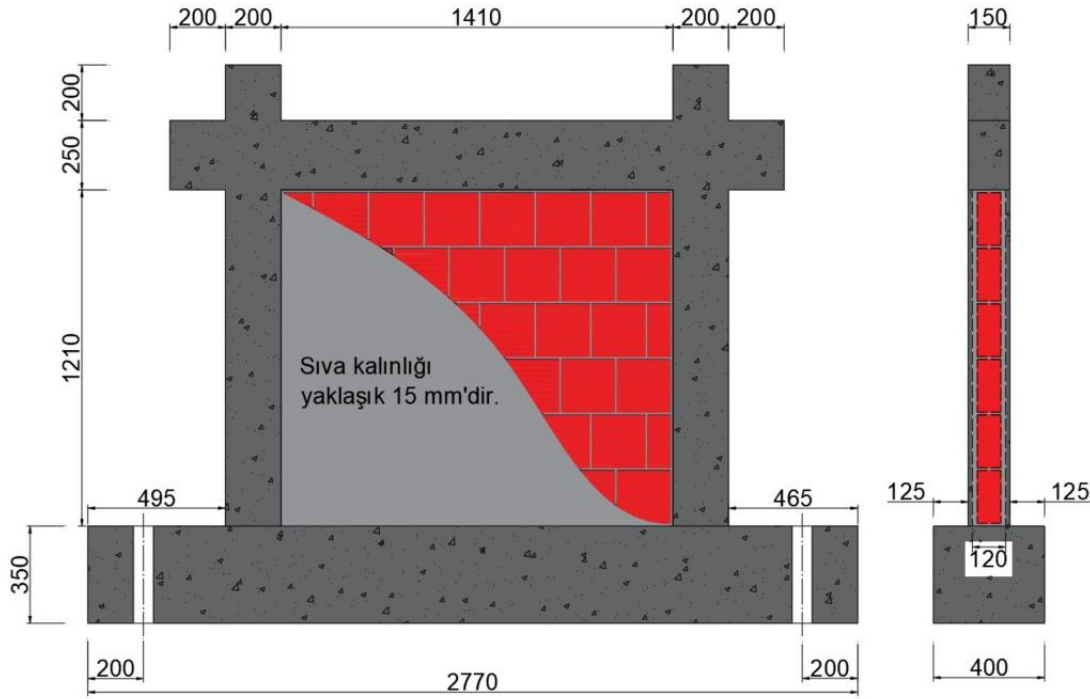
Böylelikle güçlendirilmiş tüm elemanlarda; duvarın dört köşesinde yer alan 300×300 mm’lik alanlarda bulon aralığı sıklaştırılarak 100 mm’de sabit tutulmuştur. Ayrıca köşelerde bulon sıklaştırmasına ilave olarak en dış sırasındaki yatay ve düşeydeki 4 (dört) sıra bulonun üzerine 25×3 mm kesitli çelik lamalardan kaynakla oluşturulan “L” şeklinde şeritler bağlanarak köşe bölgelerin rijitliği artırılmıştır (Resim 4.3).



Resim 4.3. Köşe bölgelerde ezilmeye karşı önlem ve kolon-duvar bağlantısı

Duvar güçlendirme işi Özbek'e (2015) ait çalışmayla aynı olup delikli levhalar duvara gijonlar ile bağlandıktan sonra gijonların her iki ucuna takılan somunlar 3,5 Nm torkla sıkıştırılmıştır. Somunlara uygulanan bu tork değeri (3,5 Nm) gijonun akma dayanımının %75'i olup duvarda ezilme hasarı oluşturmayan optimum bir değerdir. Gijonlara uygulanan çekme gerilmesi ile duvarda oluşan basınç gerilmelerinin neden olduğu "poisson" etkisiyle duvar düzlemine dik yönde oluşacak şekil değiştirme zorlanmaları için çalışacaktır. Deney esnasında duvarda oluşan şekil değiştirmenin sonucu olarak gijonlarda ilave çekme gerilmeleri oluşturacaktır. Gijonların akma dayanımında bırakılan %25'lik dayanım payı, deney sırasında gijonlarda oluşacak ilave çekme gerilmelerini güvenli şekilde karşılayabilecek ve duvardaki sargılama basıncının yitirilmesini önleyebilecek düzeydedir. Delikli levhalarla uygulanan güçlendirme yöntemi Özbek'e (2015) ait çalışmayla aynı olup detay ve düşey kesiti üzerinden alınmış elemanter parça detayı Şekil 4.2'de verilmiştir.

çerçevenin temelinde, temel yüksekliğine paralel düşeyde iki delik temelin taşıyıcı platforma sabitlenmesi amacıyla açık bırakılmıştır. Benzer şekilde temel düzlemine dik yönde yani yatayda açık bırakılan 8 adet delik ise betonarme sistemin kolonlarına verilecek eksenel yük için kullanılmıştır. Aynı zamanda bu yatay delikler betonarme çerçevenin deney platformuna taşınması için de kullanılmıştır. Betonarme çerçeve içerisinde 1410 mm genişliğinde ve 1210 mm yüksekliğinde bırakılan boşluğa tuğla dolgu duvar örülmüştür. Duvarın her iki yüzeyine uygulanan ortalama 15 mm kalınlığındaki sıva ile duvarın toplam kalınlığı 120 mm olmaktadır. Uygulanan duvar imalatı, çerçeve içerisindeki boşluğu ortalayacak şekilde yapılmış kolon iç yüzünden duvar dış kenarlarına her iki taraftan eşit miktarda (yaklaşık 15 mm) boşluk bırakılmıştır. Bu çalışma kapsamında 16 deney elemanı üretilmiştir. Çalışma kapsamındaki betonarme çerçeve ile duvarın geometrisi aynı ve sabit olup Şekil 4.1’ de detayları verilmiştir. Deney elemanlarının tasarımları yapılırken yapılarda güçlendirme ihtiyacının doğmasına neden olan sıkça karşılaşılan yapısal özellikler (beton dayanımı, kolon ve kirişlerdeki minimum kesit gibi) göz önünde bulundurulmuştur. Çalışmada betonarme çerçeveyi oluşturan kirişin eğilme rijitliği, kolonların eğilme rijitliklerinden yüksek tutulmuş olup sistem mekanizmasında oluşacak plastik mafsalların kolonlarda ortaya çıkması hedeflenmiştir.

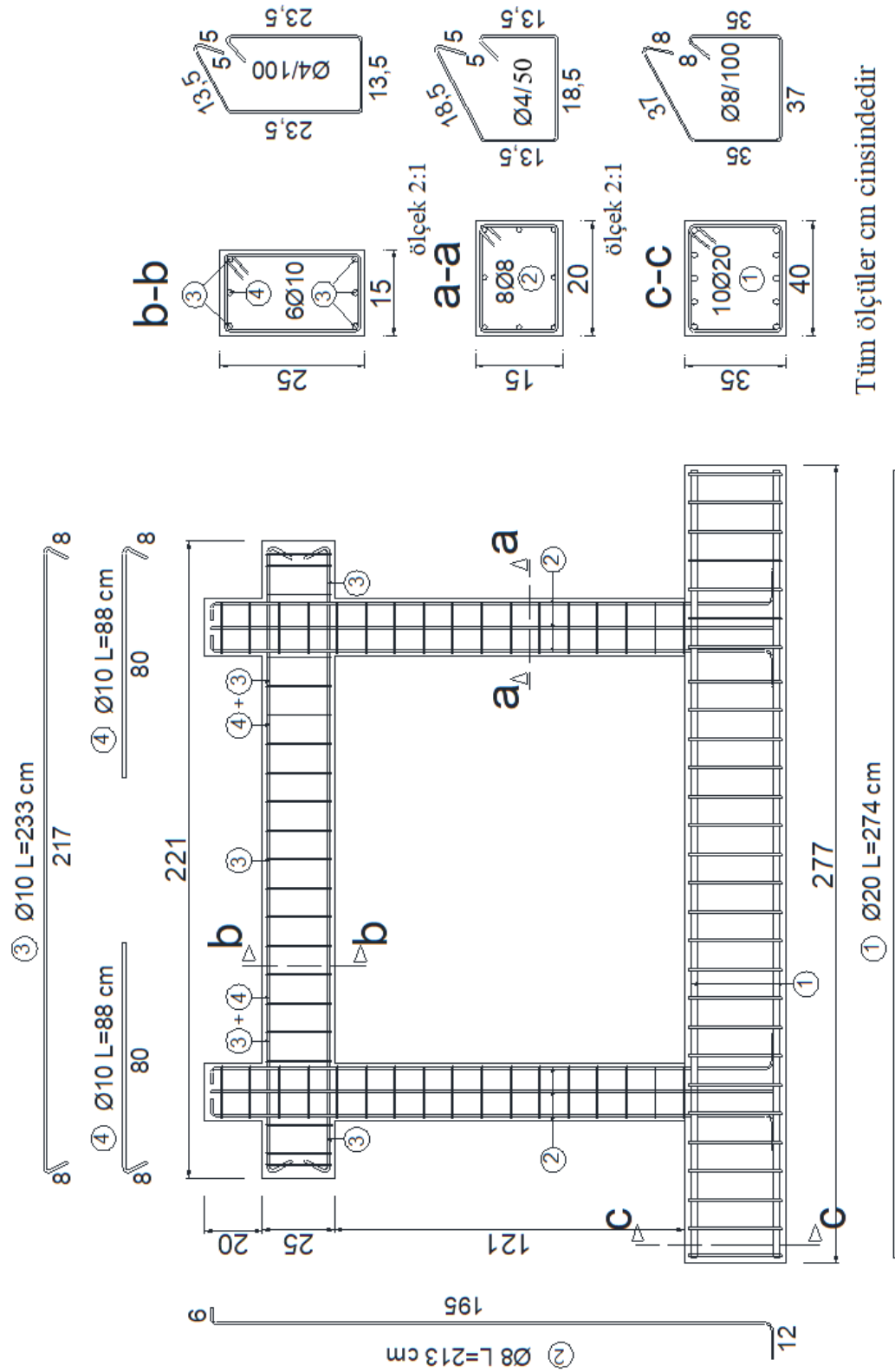


Tüm ölçüler mm cinsindedir.

Şekil 4.3. Deney elemanlarının boyutları

4.5.1. Betonarme çerçeve ve imalatı

Betonarme çerçevedeki kiriş ve kolonların donatılandırılmasında mevcut zayıf (güçlendirme ihtiyacı olan) yapılar dikkate alınarak sıkça rastlanan kusurlar (nervürsüz etriye, sarılma bölgelerinin olmaması, vb.) göz önüne alınmıştır. Çalışma kapsamında betonarme çerçevelerin üretiminde donatı planı olarak Şekil 4.2'deki kullanılmıştır. Çerçevede kullanılan boyuna demirler ve temeldeki etriyeler S420 kalitesinde nervürlü donatıdan, kolon ve kirişte kullanılan etriyeler ise S220 kalitesindeki düz yüzeyli donatıdan hazırlanmıştır. Kolonlarda 8 adet Ø8 boyuna ve Ø4/50 mm sabit aralıklı enine donatı sargı bölgesi oluşturulmadan kullanılmıştır. Kolon boy demirlerinin deney esnasında oluşan yatay ötelenmeden dolayı temelden sıyrılmasında için temel içinde kenetlenme önlemleri alınmış ve bindirmeli ek yapılmamıştır. Kirişlerde de kiriş boyunca alt yüzde 3Ø10 donatı, üst yüzde ise 2Ø10 donatı ile kirişin kolonlara mesnetlendiği bölgelerde ek olarak 880 mm uzunluğunda 1Ø10 donatı kullanılmıştır. Kirişte kullanılan etriyeler ise Ø4/100 mm sabit aralıklı olup sıklaştırma bölgesi yapılmamıştır. Temelde kullanılan donatılar ise alt ve üst yüzde temel boyunca 5'er adet Ø20 boyuna donatı ve sabit aralıklı Ø8/100 mm etriye kullanılmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.4. Betonarme çerçevenin donatı detayı

Betonarme Çerçevenin Kalıbı ve Beton Dökümü

Çalışma kapsamında çok sayıda deney elemanı olması nedeniyle betonarme çerçevelerin üretiminde çelik kalıp sistemi kullanılmıştır. Çelik kalıp imalatında 3 mm kalınlığında sac levha kullanılmış olup bu levhaların kaynak ve civatalar ile birleştirilmesi sonucunda tekrarlı sökölüp-takılabilir düşey bir kalıp sistemi oluşturulmuştur. Kalıbın düşey kurulmasının nedeni ise üretilecek betonarme çerçevenin gerçek üretimde olduğu gibi düşey yönlü beton dökülerek oluşturulmasıdır (Resim 4.4). Çerçeve betonunun dökümünde sırasıyla önce temel betonu dökülmüş zaman kaybetmeden temel kalıbının üst kapakları kapatılmıştır. Betonun prizini almasına izin verilmeden kapatılan temel kapakları sayesinde önce kolonların sonrasında kiriş betonunun dökümü yapılmıştır. Beton dökümü esnasında betonun yerleşimi ve sıkıştırılmasında vibratör kullanılmıştır. Betonarme çerçevenin kalıbı yaklaşık iki gün sonra sökülüş ve betonun dayanımının düşük olması hedeflendiği için sökülüş sonrasında da kür uygulaması yapılmamıştır.



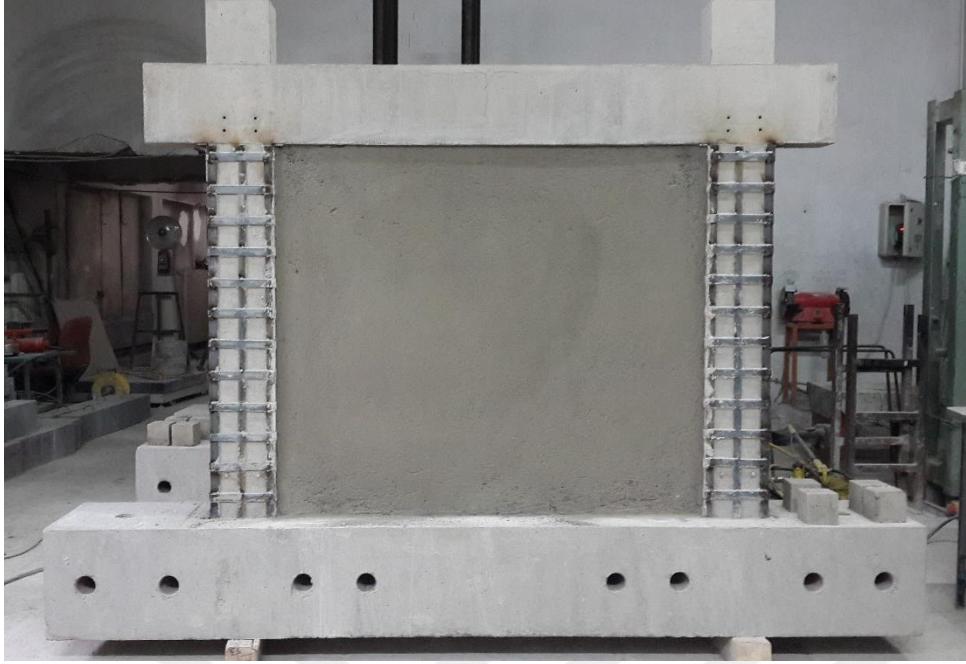
Resim 4.4. Betonarme çerçeve için çelik kalıp ve beton dökümü

4.5.2. Tuğla dolgu duvar imalatı ve güçlendirme

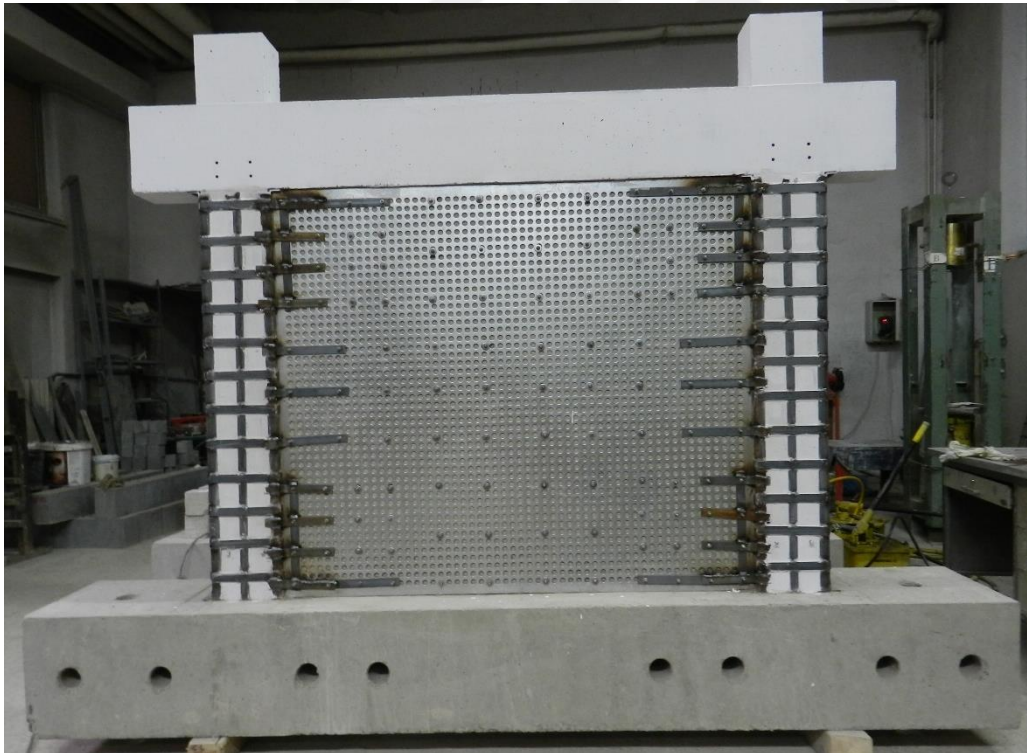
Betonarme çerçeve içinde yer alan 1210 x1410 mm boyutlarındaki boşluğa tuğla duvar örülmüştür. Örülen duvarda piyasada 8,5’luk (85x190x190 mm) olarak bilinen yatay delikli kırmızı tuğla kullanılmıştır. Duvar imalatında kullanılan bu tuğla gerçekteki benzer olarak delikleri yatay yönde gelecek şekilde kullanılmıştır. Duvarın örülmesi sırasında tuğlalar arasındaki yatay ve düşey derzler yaklaşık 10 mm kalınlığında sıva harcı ile doldurulmuştur (Resim 4.5). Tuğla dolgu duvar imalatında son uygulama olarak duvarın her iki yüzü yaklaşık 15 mm kalınlığındaki çimento-kum-kireç karışımından oluşan sıva harcı ile sıvanmıştır (Şekil 4.3 ve Resim 4.6). Çalışma kapsamındaki bütün dolgu duvarlar tek bir kişi tarafından sıvası yapılarak tek tip işçilik hizmeti alınmış standart üretim yapılmaya çalışılmıştır. İmalatta kullanılan sıva ve derz harçlarının dayanımlarını belirlemek için hazırlanan her yeni karışımdan ayrı ayrı 150x150 mm boyutlarında küp numuneler alınmıştır. Duvar köşelerinde oluşan ezilmeye neden olduğu bilinen tuğla dayanımının zayıf yönü (delikleri düşeyde) gelecek şekilde yerleştirilen kırılmış yarım tuğla ile duvar örümü gerçekteki benzer durum yansıtılmaya çalışılmıştır.



Resim 4.5. Tuğla dolgu duvar imalatı



Resim 4.6. Sıvası tamamlanmış tuğla dolgu duvar



Resim 4.7. Güçlendirilmiş deney elemanı

4.6. Yükleme Düzeneği

Bu çalışmada yer alan elemanların deneyleri Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında bulunan rijit deney platformunda yapılmıştır. Deney platformu Özbek'e ait çalışmada kullanılan platform olup; döşeme kalınlığı 400 mm ve düşeydeki rijit betonarme duvarın kalınlığı da 400 mm'dir. Deney elemanları sisteme Resim 4.8' de görüldüğü şekilde yerleştirilmiş ve aynı hizada bulunan iki noktadan M42 anma çapıyla bilenen bulonlar ile platformun döşemesine sıkıca bağlanmıştır. Deney elemanlarının temelleri, ayrıca rijit döşemeye paralel çelik profillerden oluşan bir sistem ile M42 bulonu kullanarak düşeydeki betonarme duvara sabitlenmiş; sisteme verilecek yatay yükleme sırasında döşemeye bağlanan temelde oluşması muhtemel yatay rijit ötelenme de kısıtlanmıştır. Deney elemanının temelinin alt ve üst yüzeyinde köşeleri kaplayacak şekilde L100.100.10 çelik köşebent profiller yerleştirilerek çelik manto oluşturulmuştur. Temelin alt ve üst yüzeyindeki bu profiller altı noktadan M20 bulonlarıyla birbirlerine sabit 35Nm torkla sıkılarak bağlanmıştır. Yapılan bu çelik manto düzeneğinin amacı temeli sargılayarak, temelin kesme dayanımını arttırmak ve deney elemanını rijit döşemeye bağlanmasında kullanılan bulonlara etkin bir ard germe kuvveti verebilmektir.

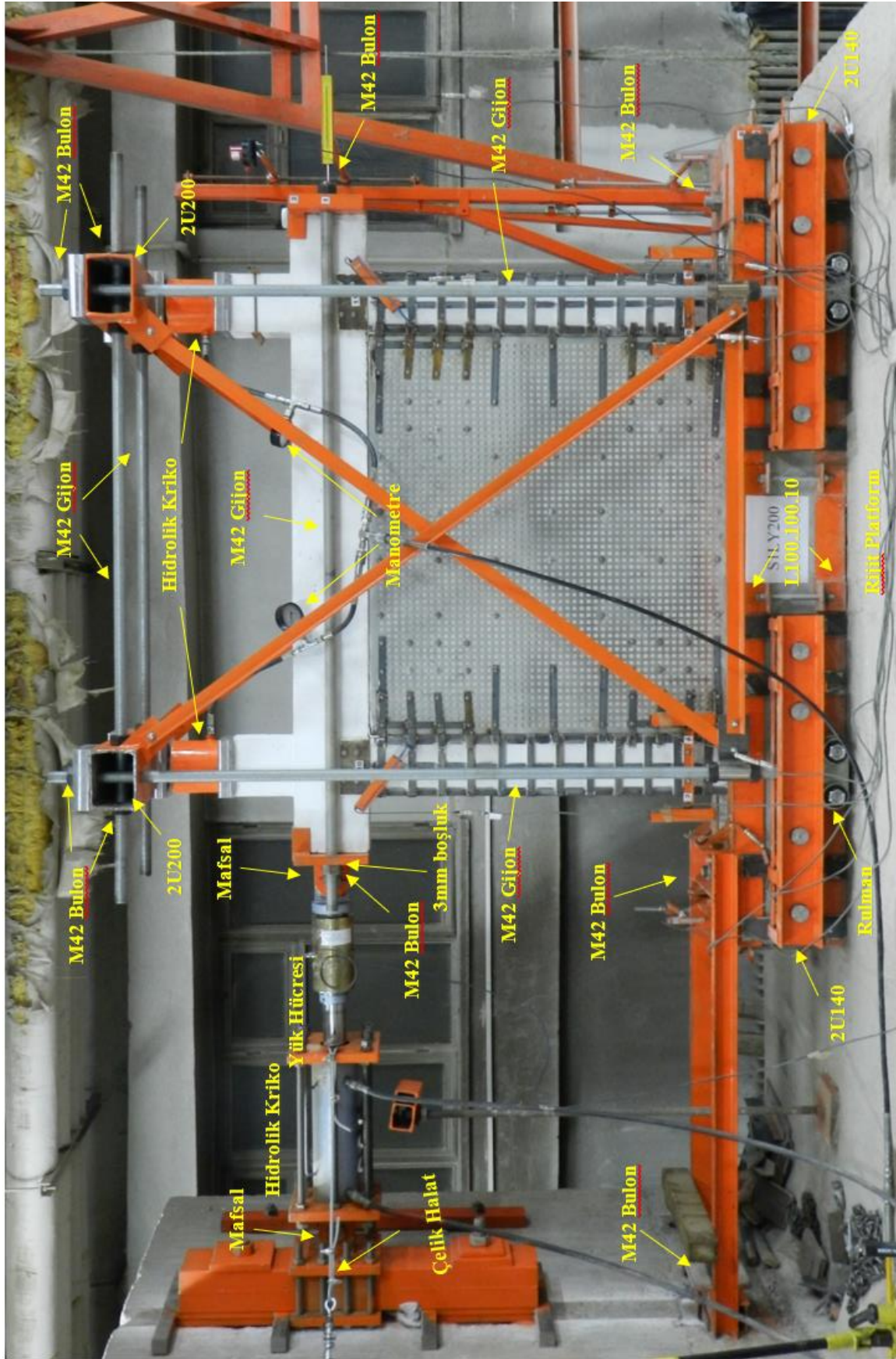
Deney elemanlarının kolonlarına verilecek eksenel yükü, gerçek yapıdakine oldukça benzer şekilde aktarmak ve ayarlamak için özgün bir düzenek hazırlanmıştır. Resim 4.8' de gösterilen düzenek sayesinde gerçek yapıdaki kolonlarda bulunan eksenel yükün benzeri deney elemanının kolonlarına aktarılabilmiştir. Bunun için deney elemanının çevresinde, çelik profiller ve gijonlardan rijit kafes sistem oluşturulmuştur. Ardından deney elemanının her bir kolonuna yerleştirilen iki adet hidrolik kriko ile eksenel yükleme gerçekleştirilmiştir. Aktarılan eksenel yük miktarı ise krikoların hortumlarına bağlanan manometrelerle ölçülmüştür. Yatay yük etkisinde oluşan yatay deformasyonlar neticesinde rijit kafes sistem, çelik sistemin alt uçlarındaki rulmanlar sayesinde deney elemanı ile beraber hareket ederken betonarme çerçevede ikinci mertebe zorlanmalarını başarılı bir şekilde oluşturmuştur. Deney esnasında eksenel yük miktarı yakından takip edilmiş, kayıp oluşması durumunda hidrolik pompa ile yük dengelemesi yapılmıştır.

Elbette böyle bir sistem kullanmadan kolonların üst uçlarına ölü ağırlıklar koymak daha pratik bir yöntemdir. Ancak laboratuvarımızdaki rijit platformla tavan arasındaki mesafe kısıtlı olduğu için böyle bir yöntem geliştirmek zorunlu hale gelmiştir.

Deney elemanında yatay yükleme ise çift etkili hidrolik krika vasıtası ile kiriş aks hizasından yapılmıştır. Krikonun bir ucu rijit duvara, diğer ucu ise yük hücresine bağlanmış, kullanılan mafsallar aracılığı ile yük deney elemanına aktarılmıştır. Bu şekilde krika ve yük hücresinde eksene dik yönde kuvvet oluşması önlenmiştir. Yatay yükü deney elemanına aktarmak için kiriş uç yüzeylerine rijit plakalar takılmış ve plakalar birbirine iki kenarından kiriş boyunca uzanan M42 gijonları ile tutturulmuştur. Bu yöntem sayesinde çekme durumunda oluşan kuvvetler, gijonlar aracılığı ile kirişin karşı ucundaki rijit plakaya iletilmiştir. Böylece hem itme hem çekme durumunda kiriş boyunca yalnızca uygulama yüzeylerinde basınç gerilmelerinin oluşması sağlanmıştır (Resim 4.8).

Özbek'e (2015) ait çalışmanın yükleme düzeneği tasarımında olası düzlem dışı hareket için bir düzenek tasarlanmamış ve deneyler sırasında S1.5ZY200 deney elemanının testinde sistemde düzlem dışı ötelenme sorunu ortaya çıkmış olup Resim 4.9'daki güvenlik önlemi alınmıştır. Alınan önlem bu çalışmada devam ettirilmiştir. Oluşan düzlem dışı hareketi önlemek amacıyla iki adet manşonlu çelik halat krikonun dışındaki kafese tutturulmuş ve krikonun yalnızca düşey ve yatay yönlerde hareket etmesini sağlayarak düzlem dışı hareketi kısıtlanmıştır (Resim 4.9).

Yükleme düzeneğinde sisteme yatay yük aktaran krikonun strok boyu (genliği), deney elemanlarının kirişlerine ileri ve geri yönde sıfır pozisyonuna göre yeterli yatay deformasyonu yaptırabilecek şekilde seçilmiştir. Sisteme verilecek yükün hızı ise elektrikli hidrolik pompa kullanılarak manuel kontrol edilmiştir. Yük okumaları, sistemde ileri ve geri yönde deformasyonu sağlayan krika ile sisteme yük aktarmayı sağlayacak kiriş arasına yerleştirilen 600 kN kapasiteli basınç- çekme kapasiteli yük hücresi ile yapılmıştır.



Resim 4.8. Yükleme düzeneği



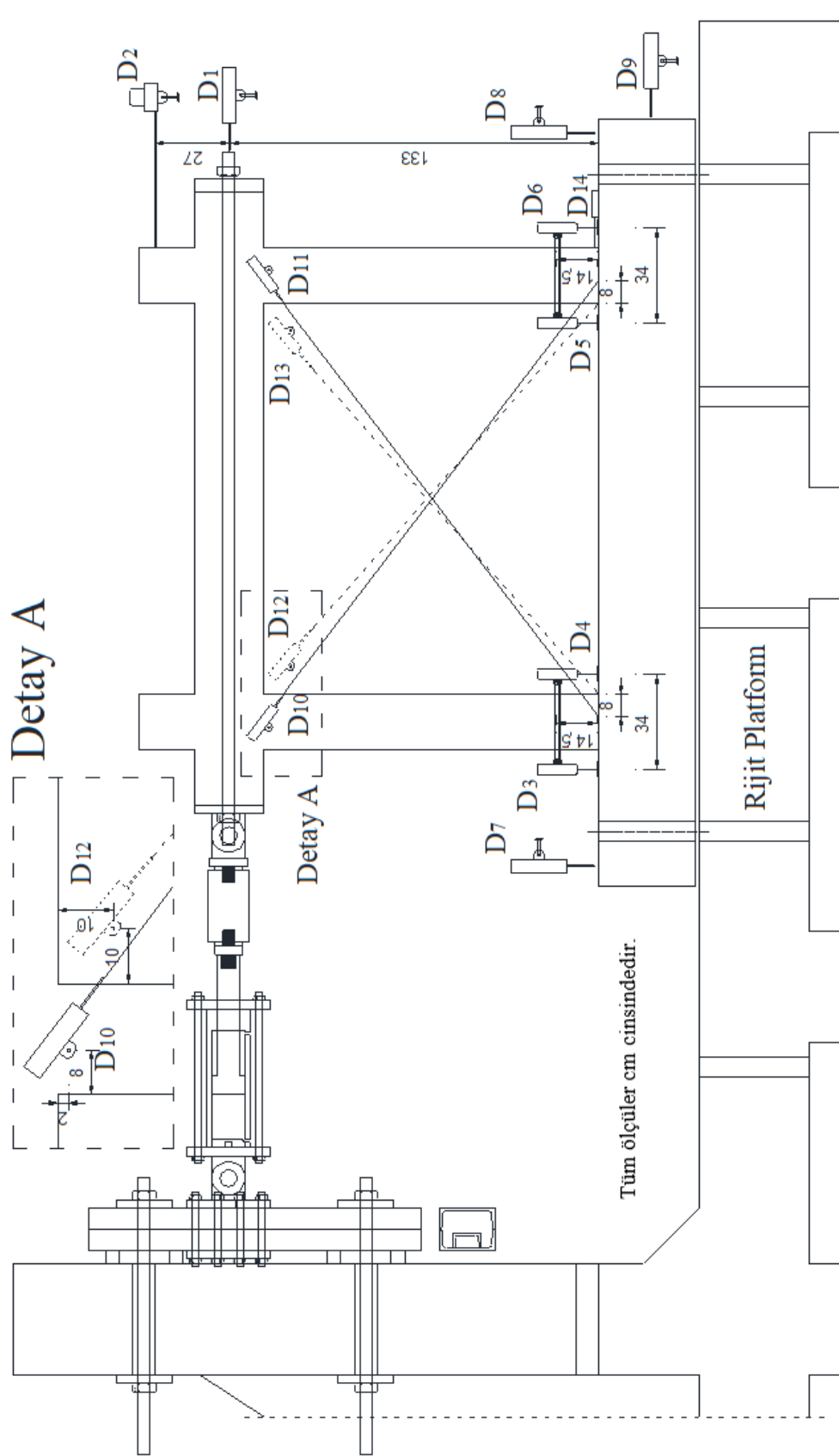
Resim 4.9. Düzlem dışı hareketi kısıtlayan düzenek (Özbek, 2015)

4.7. Ölçüm Düzeni ve Değerlendirmesi

Deney elemanlarının üzerinde deney sırasında oluşacak her türlü yön ve doğrultudaki deplasmanları ölçmek için Özbek'e (2015) ait çalışmayla aynı ölçüm düzenine sahip sistemde 12 adet elektronik deplasman ölçer (LVDT), bir adet lineer ve bir adet makaralı potansiyometreden faydalanılmıştır. Bu ölçüm cihazlarından alınan sinyaller elektronik dönüştürücü ile bilgisayardaki programa aktarılmıştır.

Kullanılan bütün ölçüm cihazları programda “D” harfi ve yanına bulunduğu konum ile gelen bir sayı ile isimlendirilmiştir. Aynı sayılar elemanlar üzerinde cihazların bulunduğu yerlere yapıştırılmış ve deney esnasında bu numaralar kullanılarak yorumlar yapılmıştır. Planlanan ölçüm düzeni ve cihazların yerleştiği yerler Şekil 4.5'te gösterilmiştir (Özbek, 2015). Deney sırasında ölçüm cihazlarının hareketleri kısıtlanmış ve iyi mesnetlenmiş olmasına dikkat edilmiştir.

1 ve 2 numaralı (D1 ve D2) deplasman ölçerler ile sistemin yatay ötelenme miktarları ölçülmüştür. Kat ötelenmesini temsil eden bu iki ölçer sistemin en önemli datalarını kayda aldığı için 2 numaralı ölçer 1 numaralı ölçer ile yükseklik oranı kullanılarak üçgen benzerliği ile benzeştirilmiştir. D1; 200 mm genlikteki LVDT olup kirişin sağ uç kesit yüzeyinin orta noktasından (merkez) ölçüm alacak şekilde yerleştirilirken, D2 numaralı ölçer ise 1600 mm genlikteki makaralı potansiyometre olup, temel üst yüzeyinden 1,6 m yukarıda bulunan kolonun üst çıkıntısına yerleştirilmiştir (Resim 4.8). Deney sonuçları incelendiğinde D1 ve D2'den okunan ölçülerde deney bitimine kadar okumadaki hata payı ± 1 mm ile sınırlı kalmıştır.



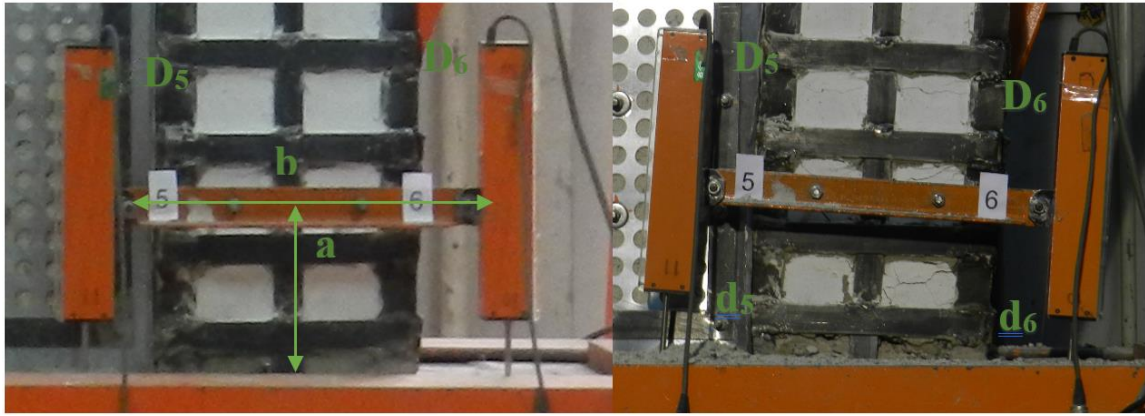
Şekil 4.5. Deney ölçüm düzeni (Özbek, 2015)

3-4 (D3-D4) ve 5-6 (D5-D6) numaralara yerleştirilen 100 mm genlik kapasitesine sahip deplasman ölçerlerden alınan veriler, 3-4 sol kolon alt ucunda oluşacak eğriliği hesaplamak için kullanılırken, 5-6 sağ kolon alt ucunda oluşacak eğriliği hesaplamak için kullanılmıştır (Resim 4.10). Birim boydaki dönme miktarı olan eğrilik hesaplarında aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.

$$k_{sol} = \frac{d_4 - d_3}{a.b} \quad (4.1)$$

$$k_{sağ} = \frac{d_6 - d_5}{a.b} \quad (4.2)$$

- $k_{sol/sağ}$: kolon alt uçlarında oluşan eğrilik
 d_i : D_i nolu deplasman ölçerden okunan değer
 a : Deplasman ölçerlerin temel üst yüzüne mesafesi
 b : Deplasman ölçerlerin eksenleri arasındaki mesafe



Resim 4.10. Sağ kolon alt uç eğrilik ölçümü

7-8-9 (D7, D8 ve D9) numaralı 50 mm genliğe sahip deplasman ölçerler, deney sisteminin rijit platformdaki hareketini kontrol etmek için kullanılmıştır. 7 ile 8 numaralı deplasman ölçerler temelin düşeydeki hareketi ile dönmeyi kontrol ederken, 9 numaralı deplasman ölçer ise deney sırasında sisteme verilen yatay yük ile temeldeki yatay ötelenmeyi takip etmek için yerleştirilmiştir (Şekil 4.5).

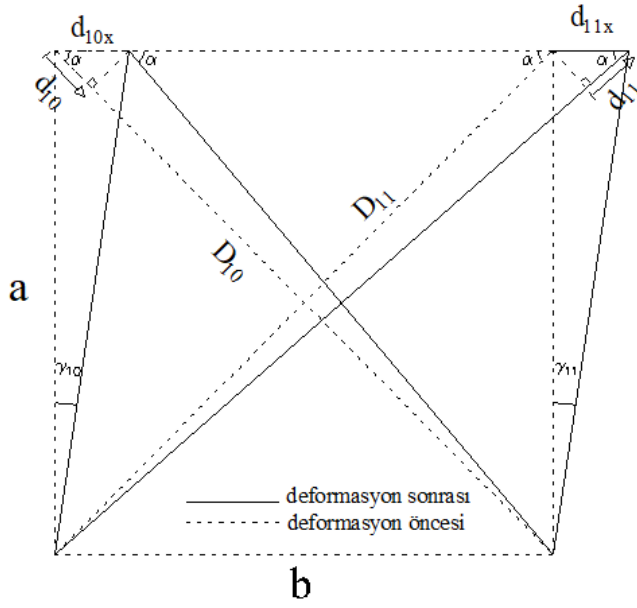
Deney elemanlarının üzerinde ayrıca betonarme çerçeve ve dolgu duvarın kayma deformasyonlarını hesaplamak için deplasman ölçerler kullanılmıştır (Şekil 4.5). Deney

elemanının ön yüzünde kolonlara mesnetlenen 10 -11 numaralı (D10-D11), 100 mm genliğe sahip deplasman ölçerler betonarme çerçevenin kayma deformasyonu için yerleştirilirken, deney elemanının arka yüzünde duvara mesnetlenen 12 -13 numaralı (D12-D13), 100 mm genliğe sahip deplasman ölçerler ise dolgu duvarın kayma deformasyonunu hesaplamak için yerleştirilmiştir (Resim 4.11). Sistemde ileri ve geri yönde hareket olmasından ötürü kolon ve duvarlara yerleştirilen deplasman ölçerlerde her iki yönde okuma yapabilmesi için diyagonal ölçüm düzeni oluşturulmuştur. Deplasman ölçerlerin okuma yapan metal uçları lastikli bir ölçüm mekanizması oluşturulmuş ve ölçümler diyagonalden esneme özelliği minimum sıfır yakın olan misina ipleri kullanılarak yapılmıştır. Burada deplasman ölçerin her iki yönde çalışabilmesi için sistem sıfır konumunda iken deplasman ölçerin orta değeri başlangıç olarak verilmiştir.



Resim 4.11. Kayma deformasyonu için ölçümü alınan deplasman ölçerlerin yerleşimi

Özbek'e (2015) ait çalışmayla aynı ölçüm düzenine sahip deney sistemindeki kayma deformasyonu hesap yöntemi için kullanılan deformasyonun öncesi ve sonrası durumlarını gösteren şematik görsel Şekil 4.6.'da gösterilmiş ve bu çalışma kapsamında aynı hesap yöntemi geçerlidir. Şematik görselden elde edilen eşitliklerle 10 ve 11 numaralı (D10-D11) deplasman ölçerlerden okunan değerler kullanılmış ve betonarme çerçeveye ait kayma deformasyonlarının nasıl hesaplandığı gösterilmiştir. Benzer şekilde aynı eşitlikler kullanılarak dolgu duvarın da 12 ve 13 numaralı (D12-D13) deplasman ölçerlerin değerleriyle kayma deformasyonları hesaplanmıştır.



Şekil 4.6. Kayma deformasyonları (Özbek, 2015)

$$\alpha = \arctg\left(\frac{a}{b}\right) \quad (4.3)$$

$$d_{10x} = -\frac{d_{10}}{\cos \alpha} \quad (4.4)$$

$$d_{11x} = \frac{d_{11}}{\cos \alpha} \quad (4.5)$$

$$d_x = \frac{d_{10x} + d_{11x}}{2} \quad (4.6)$$

$$\gamma_{10} = \frac{d_{10x}}{a} \quad (4.7)$$

$$\gamma_{11} = \frac{d_{11x}}{a} \quad (4.8)$$

$$\gamma = \gamma_{ort} = \frac{\gamma_{10} + \gamma_{11}}{2} \quad (4.9)$$

α, a, b : Duvar boyutları ve diyagonalinin açısı (Şekil 4.6.)

d_{10x}, d_{11x} : D10 ve D11 ölçüm değerinin yataydaki iz düşümü

d_x : Ortalama yatay kayma deformasyonu

γ_{10}, γ_{11} : D10 ve D11 ölçüm değerinden hesaplanan kayma açısı

γ : ortalama kayma açısı

14 numaralı (D14) lineer potansiyometre ölçüm cihazı ile sisteme verilen yatay yük etkisinde temel ile birleşen kolon alt uçlarının ara yüze göre rölatif yatay hareketi kontrol edilmiştir (Şekil 4.5). Özbek'e (2015) ait çalışmada temel ile kolon arakesitinde rölatif ötelenme gözlenmiş ve bu çalışmada temel-kolon arakesitine olabildiğince en yakın yere 14 numaralı (D14) lineer potansiyometre yerleştirilerek bu bölgeden de ölçüm alınmıştır (Resim 4.12).



Resim 4.12. Temel-kolon arayüzündeki rölatif yatay ötelenme kontrolü (Özbek, 2015)

4.7.1. Net yatay ötelenmenin hesabı

Bilindiği gibi betonarme çerçeveye ait yatay kat ötelenmesi 1 numaralı (D1) deplasman ölçer ile kiriş ucundan ölçülmüştür. Ancak bu ölçüm alınırken sistemin dışındaki sabit bir noktadan alındığı için sistemde oluşan diğer deformasyonlar bu ölçümü etkilemektedir. Bu deformasyonlardan en etkili olanları deney esnasında etkiyen yatay yük ile sistemin yatay ötelenmesi ve sistemin rijit dönmesidir. Yatay yük etkisiyle sistemde oluşmuş olan toplam yatay deformasyonlar hesaplanarak 1 numaralı (D1) deplasman ölçer değerinden çıkarılarak net yatay ötelenme hesaplanmış olur. Çalışma kapsamında yapılan tüm deneylerde 7 ve 8 numaralı temel üst kotuna yerleştirilen deplasman ölçerlerden alınan ölçümler incelendiğinde düşeydeki deplasman değişimi en fazla 0,2 mm olmuş ve ihmal edilebilir olduğu görülmüştür. Sistemin rijit dönmesi etkisiz olup yalnızca yatayda oluşan rijit ötelenme etkili olup 9 numaralı (D9) deplasman ölçerden alınan veriler D1'den çıkarılmasıyla net yatay kat ötelenmesi değerleri hesaplanmıştır (Bkz. Şekil 4.5).

4.8. Deney Prosedürleri

Çalışma kapsamında deney elemanlarının depremi simüle eden, yarı statik tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında deneyleri yapılmıştır. Bu amaçla deney elemanlarına uygulanacak yük için bir yükleme sistematığı tasarlanmış ve uygulanmıştır. Kolonlara eksenel yükler ileri geri yönde deplasman sıfır pozisyonunda belirlenen yük kadar hidrolik krikolar aracılığıyla yükleme sistemine düşey yük olarak verilmiştir. Eksenel yük düzeyi düşük elemanlarda 75kN/kolon, yüksek elemanlarda ise 150kN/kolon' a karşılık gelen yük değeri bar olarak uygulanmıştır. Deney esnasında kolon yükleri düzenli olarak takip edilmiş ve eksenel yükte kayıp oluşması durumunda çevrim bitirilip eleman sıfır pozisyonuna getirilerek eksenel yük düzenlemesi yapılmıştır. Yatayda verilen yüklerde ise pozitif (+) ileri (itme) kuvvetini ve negatif (-) geri (çekme) kuvvetini temsil etmektedir. Deney yükleme prosedüründe ilk çevrimde deney elemanına ileri (+) yönde 10 kN ve geri (-) yönde aynı şekilde 10 kN yük verilerek birinci çevrim tamamlanmıştır. Devam eden çevrimlerde uygulanacak yük değerleri için bir önceki çevrim yüküne 10 kN eklenerek 10 kN' un katları olacak şekilde yükleme yapılmıştır. Sistemin rijitliğinde büyük değişim gözleninceye kadar yük kontrollü olarak yüklemeye bu şekilde devam edilmiştir. Nihai dayanıma ulaşıldıktan sonra deplasman faktörü devreye sokulmuştur. Bir sonraki çevrimde nihai dayanımın gözlemlendiği andaki deplasman değeri en yakın 20 mm'nin katları olan deplasman değerine ulaşana kadar sisteme yük vermeye devam edilmiştir. Bu şekilde deplasman kontrollü gerçekleşen çevrimlerde ulaşılacak deplasman değeri bir önceki çevrimdeki deplasman değerinin 20 mm arttırılmasıyla çevrimlere devam edilmiştir. Deneyler çoğunlukla 1 numaralı (D1) deplasman ölçerin kapasitesine bağlı ve sınırlı (± 100 mm) olmasından dolayı sona erdirilmiştir.

Her bir eleman için deneyler öncesinde ölçüm cihazları kontrol edilmiş gerekiyorsa veri kalibrasyonları yapılmıştır. Ayrıca deney esnasında elemanlarda oluşacak çatlakların daha rahat takip edilebilmesi amacıyla elemanlar beyaza boyanmıştır.

Çalışma kapsamındaki deney elemanlarının anlatımında önden görünen taraf ön yüzü olarak tanımlanmış ve deney sırasında oluşan durumlar kabul edilen bu bakış yönüne bağlı olarak sağ, sol, ön ve arka olarak ifade edilmiştir. Betonarme çerçeve içerisindeki dolgu duvarın kolonlar ve kiriş ile temas eden yüzeyleri "iç" olarak tanımlanmış, çerçevenin dışında bulunan yüzeyler ise "dış" olarak tanımlanmıştır. Sistemde yatay hareketin ileri yönde

olması pozitif (+) deplasman ile kuvveti gösterirken, geri yöndeki hareket negatif (-) deplasman ve yükü göstermektedir.

Deneyler esnasında, elektrikli olan cihazlarda olabilecek olumsuz durumlar karşısında veri kayıplarını önlemek amacıyla bilgisayar, veri toplama cihazları, veri aktaran bağlantı sistemleri için UPS olarak bilinen elektrik depolayan güç kaynağına bağlanmıştır.





5. DENEYSEL SÜREÇ

Bu bölümde deney elemanları sahip oldukları özellikleri bakımından tanıtılmış, deneyler esnasında yaşanan gelişmeler görseller ile detaylı olarak anlatılmıştır. Deney elemanlarının davranışları deney öncesi ve sonrası resimlerle sunulmuş, elemanların deney sonrası resimlerinde dikkat çekici olan hasar bölgeleri detay resimleriyle gösterilmiştir. Ayrıca elemanlara ait yük-yatay ötelenme grafikleri ayrı ayrı gösterilmiştir. Söz konusu grafikler yük hücresinden okunan yük değerleri (kN) ve her bir yük değerine karşılık gelen 1 numaralı (D1) deplasman ölçerden okunan yatay ötelenme (mm) değerleri kullanılarak çizdirilmiştir. Deneylerin anlatım sürecinde kullanılan yön ve açı kabulleri Bölüm 4.8’de verilmiştir.

Bu çalışma, iki kısımdan oluşan bir TUBİTAK projesinin 2. kısmını anlatmaktadır. Özbek’in (2015) çalışmasına ait deneyler esnasında yaşanan sorunlar ve deney elemanlarında davranışı daha iyi görebilmek için yapılmış değişikliklerden daha önce bahsedilmişti. Bu çalışmada ise Özbek’e (2015) ait çalışmadaki yapılan değişikliklerde revizyona gidilmiş, deney elemanlarının üretiminde ve güçlendirmelerinde bazı güncellemeler yapılmıştır. Deneyler esnasında oluşan gelişmeler, ilave imalatlar ve nedenleri ayrıntılı olarak deneylerde yeri geldikçe anlatılmıştır.

5.1. R1L Deneyi

Eksenel yük düzeyi : Düşük- 75 kN/kolon
Güçlendirme : Yok

Betonarme çerçeveden oluşan duvarsız R1L elemanında, Resim 5.1’de gösterilen referans eleman, mevcut betonarme yapılarda karşılaşılan tasarım ve imalat hataları yansıtılmaya çalışılmıştır. Bu nedenle çalışma kapsamında üretilen bütün deney elemanların beton basınç dayanımları düşük tutulmaya çalışılmış (yaklaşık 10 MPa) ve kolonlarla kirişin birleştiği bölgelerde etriyenin sıklaştırılması yapılmamıştır. $\frac{1}{2}$ ölçeğe göre hazırlanan deney elemanlarının donatılandırılmasında kolon etriye aralığı (50 mm), kiriş etriye aralığı (100 mm) seçilmiştir. Ayrıca 150×250 mm kesitli kirişin düzlem içi eğilme rijitliği, 150×200 mm kesite sahip kolonların eğilme rijitliklerinden yüksek tutularak mafsalların kolon uçlarında olması istenmiştir.

5.1.1. Yöntemde yapılan güncellemeler

Özbek'e (2015) ait çalışmada, kolonlarına eksenel yük uygulanmayan delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş elemanların kolonlarındaki boy demirleri kopan elemanlar hariç dayanımda önemli bir kayıp, %15' e kadar kabul edilen, olmadan %7,5' ten büyük ötelenme oranlarına kadar deneyler devam ettirilmiştir. Deney elemanlarının ötelenme oranlarını güçlendirilmiş duvarlar değil, betonarme çerçeveyi oluşturan kolonların dönme kapasitesinin belirlediği görülmüştür. Bu nedenle bu çalışma kapsamındaki, kolonlarına eksenel yük uygulanacak, bütün deney elemanların kolonlarının donatılandırma ve mantolamasında değişikliklere gidilmiştir.



Resim 5.1. R1L deney elemanı

Kolon enine donatı ve mantolama düzeninde değişiklikler

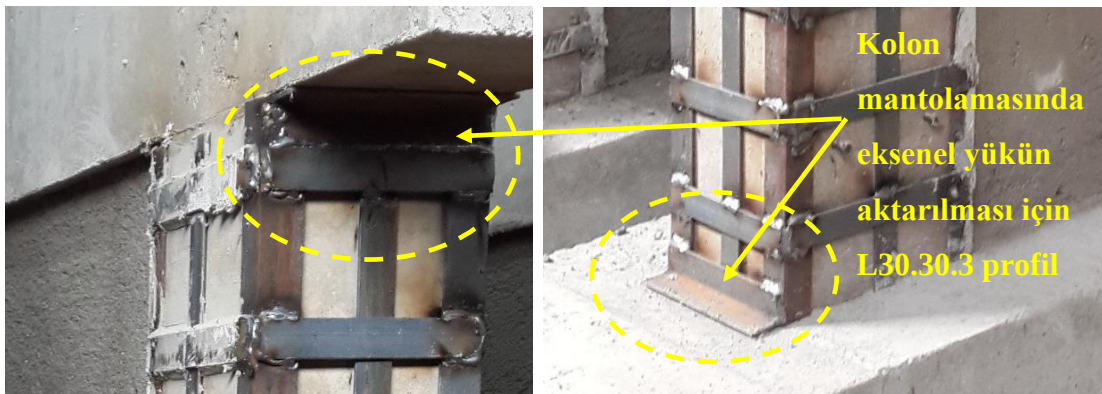
Bu çalışmanın amacı betonarme çerçevenin kolonlarını güçlendirmek ve test etmek değildir. Çalışmanın 1. kısmında yapılan deneyler, güçlendirilmiş duvarın sisteme olan katkısının tam olarak anlaşılabilmesi için, kolonların kesme güvenliğinin yeterli düzeyde olması gerektiğini göstermiştir. Çalışmanın bu (2.) kısmında ise, kolonlara aktarılacak eksenel yüklerle beraber,

sistemin de taşıma gücünde artış olacağı ön görülmüştür. Oluşacak artışın doğal bir sonucu olarak sistemin kolonlarına aktarılan kesme kuvvetinin de artması olacaktır. Bu nedenle kolonların enine donatıları ve kesmeye karşı alınan ek önlemler tekrar gözden geçirilmiştir. Yapılan hesaplar neticesinde bu çalışma kapsamındaki bütün deney elemanlarında kolon etriyelerinin sıklığı 2 kat arttırılmış ($\text{Ø}4/100'$ den $\text{Ø}4/50'$ ye), çelik mantolamada enine yönde kullanılan lamaların sıklığı ise %25 (lamalar arası mesafe 75 mm' den 100 mm'ye) azaltılmıştır (Resim 5.2 ve Şekil 5.1). Bu yapılan değişiklikle beraber kolonların, oluşacak kesme kuvvetlerini güvenle taşıyabilmesi sağlanmıştır.

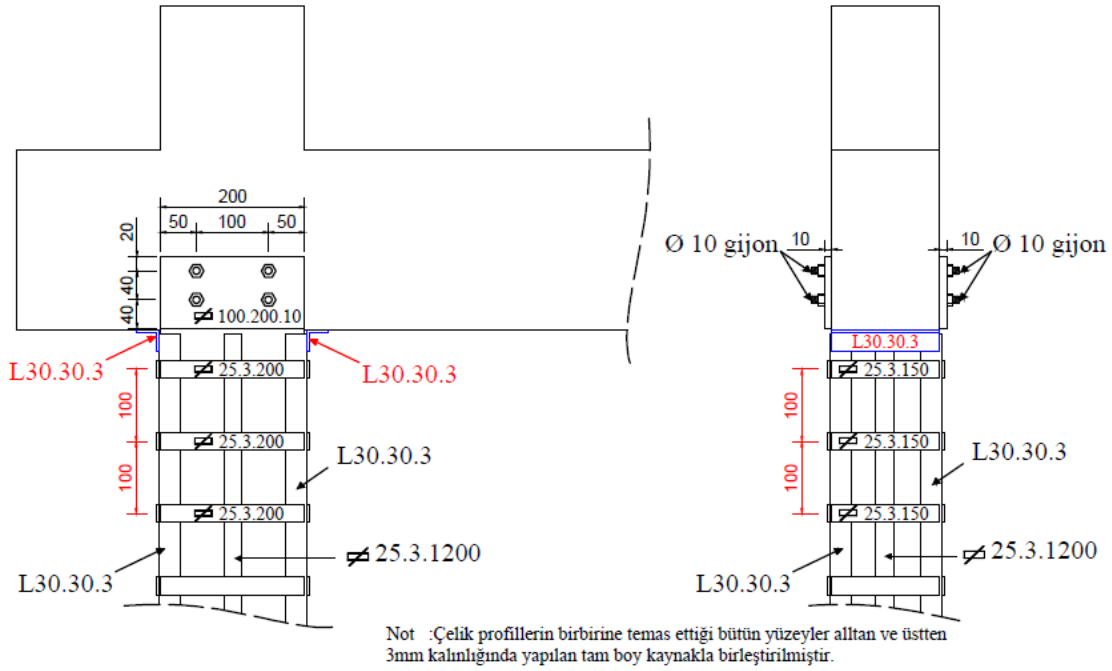


Resim 5.2. Kolon etriye detayı

Ayrıca kesmeye karşı önlem olarak oluşturulan çelik manto ve üzerinde yapılan ilavelerle manto eksenel yük de taşıyacak hale getirilmiştir. Bunun için mantonun üst ve alt ucunun iç ve dış yüzeylerine L30.30.3 profil kaynaklanmıştır (Resim 5.3).



Resim 5.3. Kolon mantolamasında çelik mantoya yük aktaran sistem



Şekil 5.1. Eksenel yüklü elemanlarda kolon mantolama detayı

Bu tez kapsamında yürütülen deneylerde deney elemanları önceden üretilmiş olduğundan deneyler esnasında betonarme çerçevede davranışa yönelik oluşan durumlarda elemanlarda sonradan güçlendirme işlemi yapılmıştır. Bunun örneği referans elemanlardan önce test edilen S1LY200 deneyi, dolgu duvardaki yapılan güçlendirme işleminin başarılı olabilmesi için kirişte meydana gelecek kesme kırılmasının da önlenmesi gerekliliğini göstermiştir. S1LY200 elemanına ait deneyde, kolonların kesmeye karşı güçlendirilmesiyle kiriş zayıf düşmüş ve kiriş uçlarında kesme kırılması meydana gelmiştir. Güçlendirilmiş duvarlarda köşelerde çok sınırlı ezilmeler haricinde duvar bütünlüğünü korumuş ve eleman beklenen kapasitesine ulaşmadan kiriş kesme kapasitesine ulaşarak göçmüştür. Bu deneyden sonra yapılacak olan delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş deney elemanları ile referansların deneylerinde, güçlendirilmiş duvarın davranışının anlaşılabilmesi için kirişte güçlendirme işlemine başvurulmuştur.

Çelik kablo ile kirişin sargılanması

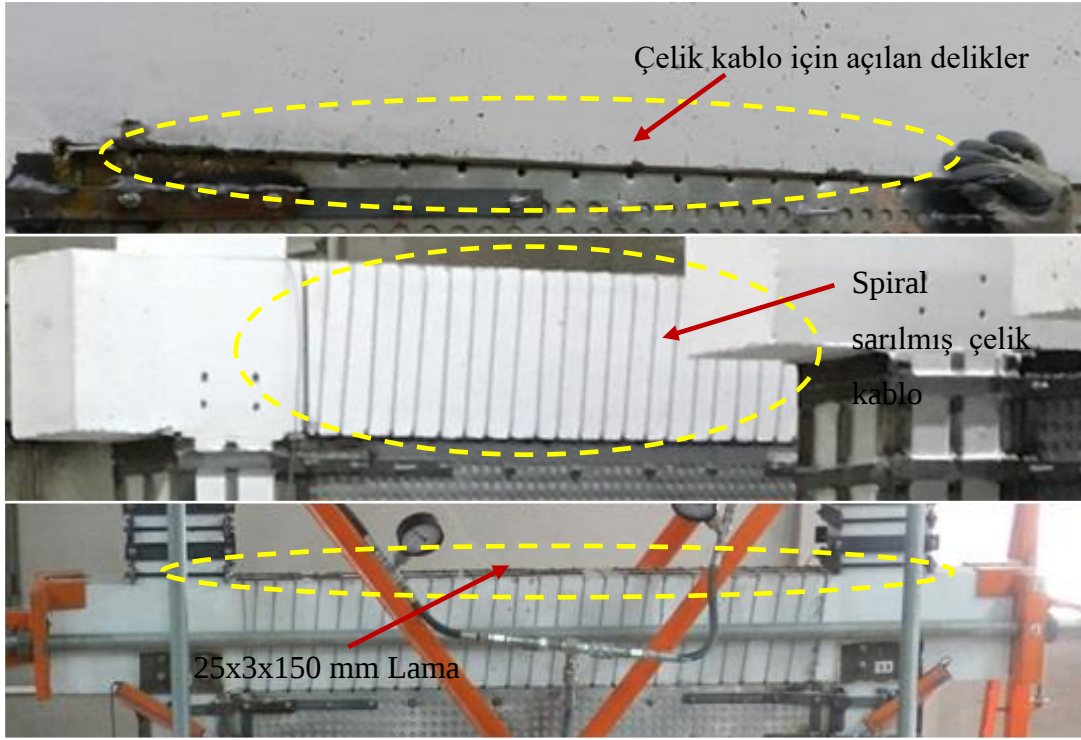
Eksenel yük etkisindeki elemanların betonarme çerçeveleri önceden üretilmiş olup deneye hazır hale getirilmiş referans ve güçlendirilmiş duvarlı deney elemanlarında kirişlerin

kesmeye karşı güçlendirilmesi donatı ile mümkün olmamaktadır (Resim 5.4). Bu nedenle mevcut kirişin dışardan sargılanması ile kesme kapasitesi artırılmaya çalışılmıştır.

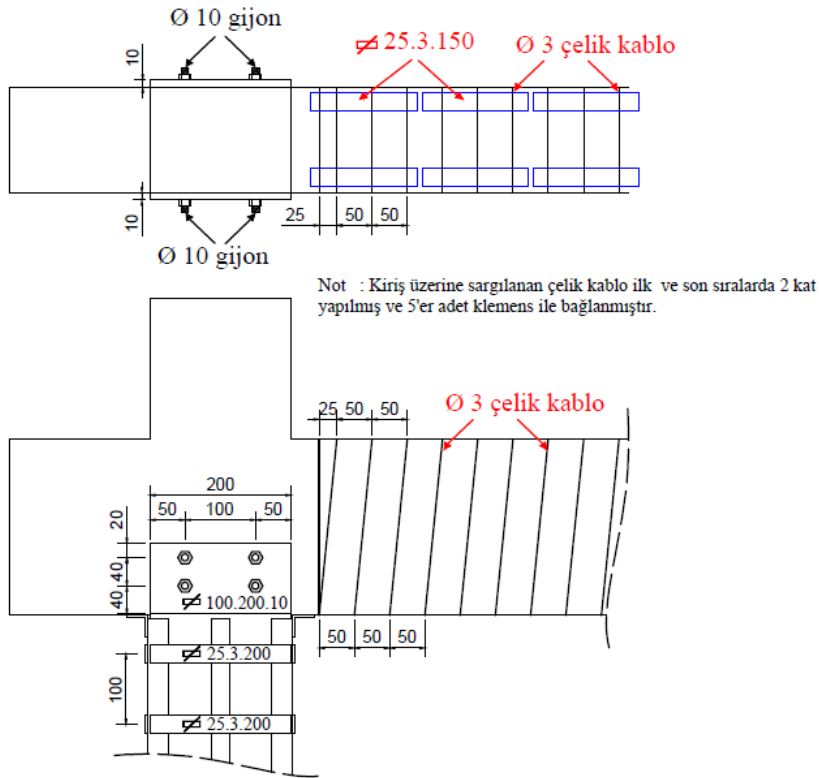


Resim 5.4. Üretilmiş betonarme çerçeveler

Güçlendirme işlemi 3 mm çapındaki çelik kablonun kiriş etrafında kirişin bir ucundan diğer ucuna doğru spiral olacak şekilde sargılanması ile yapılmıştır. Bunun için öncelikle kiriş alt yüzü ile duvar üst ucu arasında eşit aralıklarla iki delik arası 50 mm olacak şekilde delikler açılmıştır. Kablonun kiriş etrafında tam sargılanabilmesi için kirişin üst köşelerinde çentikler açılmış kablounun bu çentiklerde bükülerek sarılması ile beton kablo uyumu sağlanmıştır. Ancak sargılama sırasında kablolar el ile sarıldığından kablolarda yeterli gerginlik sağlanamamış, kablo ile kiriş arasında boşluklar oluşmuştur. Kirişin üst yüzeyinde kablo ile kiriş betonu arasındaki boşluklara 25×3×150 mm lik lamalar sıkıştırılarak kablolarda istenen gerginliğe ulaşılmıştır (Resim 5.5 ve Şekil 5.2). Kablonun başlangıç ve bitiş noktalarında, deney sırasında kabloda oluşacak gerilmeler sonucunda kablounun sıyrılmasını engellemek, kabloyu sabitlemek için 5'er adet klemens kullanılmıştır.



Resim 5.5. Kirişin çelik kablo ile sargılanması



Şekil 5.2. Kirişte çelik kablo ile güçlendirme detayı

Kolon üst uçlarının sargılanması

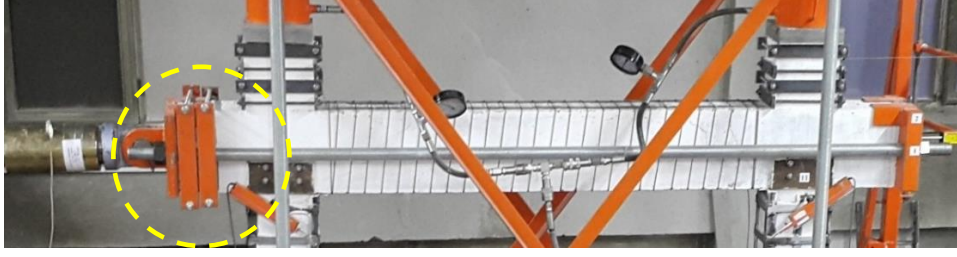
Referans elemanlardan önce deneyi yapılan S1LY200 deneyinde, kolonlara uygulanan eksenel yükten dolayı açıkta bırakılan kolon uçlarında hasarlar oluşmuştur. Oluşan bu hasarlar düşük beton dayanımı, yetersiz etriye ve sargılama bölgesinin olmamasından ezilme, kabuk betonu dökülmesi ve ufalanmalar şeklinde görülmüştür. Eksenel yükleme sisteminde yük alanının değişmesiyle sorun oluşturabilecek bu durumun sınırlandırılabilmesi açısından açıkta bırakılmış olan kolon uçlarının güçlendirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Yapılacak olan güçlendirme, çelik lamaların şaşırtmalı dizilerek ard germeli gijonlarla bağlanması ile uygulanmıştır (Resim 5.6). Çalışma kapsamındaki deney elemanlarının betonları önceden dökülmüş olduğu için söz konusu takviye, sorun yaşanan deney elemanından sonra diğer bütün deney elemanlarına uygulanmıştır.



Resim 5.6. Kolon üst ucu güçlendirme

Yatay yük etkisindeki kiriş uç bölgesinin sargılanması

Üst kolon uçlarında yapılan güçlendirmeye benzer bir uygulama, yatay yükün etkideği kiriş ucunda da hasar oluşması sonucunda yapılmıştır. Yükün uygulandığı kiriş ucunda, kolonlarda uygulanma amacıyla aynı şekilde, çelik lamalar ve ard germeli gijonlarla takviye yapılmıştır (Resim 5.7).



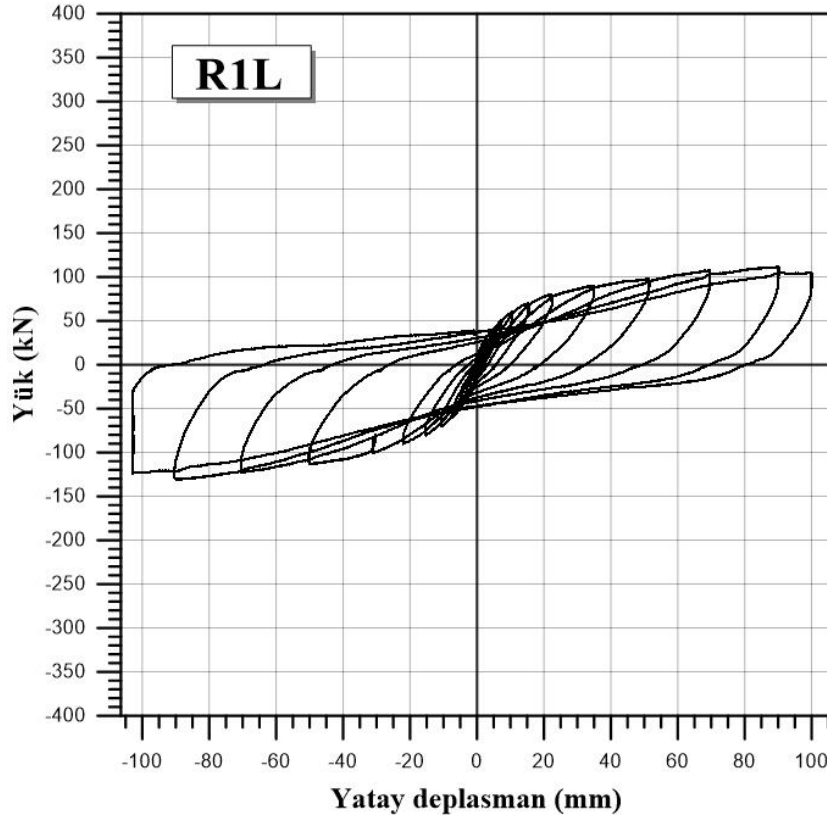
Resim 5.7. Kiriş ucu güçlendirme

Yapılan güncellemeler sonucunda betonarme çerçeveden oluşan R1L elemanı, beklenildiği üzere kolon uçlarında oluşan mafsallar sonucu göçmeye ulaşmıştır. Kolonlara uygulanan eksenel yük ile kolon alt yüzü ile temel arasındaki ötelenme sınırlanmıştır. Eksenel yük etkisindeki bu deneyde kolonların kesmeye karşı güçlendirilmesi ile kiriş zayıf duruma düşmüştür. Beton dayanımının planlandığı gibi düşük olması sonucunda kiriş alt ve üst yüzünde aderans çatlakları oluşmuştur. Kirişin kolonlara saplanan uç bölgelerindeki kesme hasarı ve kiriş üst yüzeyinde oluşan aderans çatlakları çelik kablo sargılanması ile sınırlı kalmış, kirişin kesilerek kırılmasını önlemiştir. Üst kolon uçlarında ve yükleme yapılan kiriş ucunda alınan önlemler sonucunda bu bölgelerde hasar oluşmadığı ve uygulamanın başarılı olduğu görülmüştür. Kolon uçlarında oluşan mafsallarda beton ezilmiş, kolon boyuna donatıları burkulmuştur (Resim 5.8). Deney, yatay ölçüm cihazının kapasitesinin bitmesiyle sona erdirilmiştir.

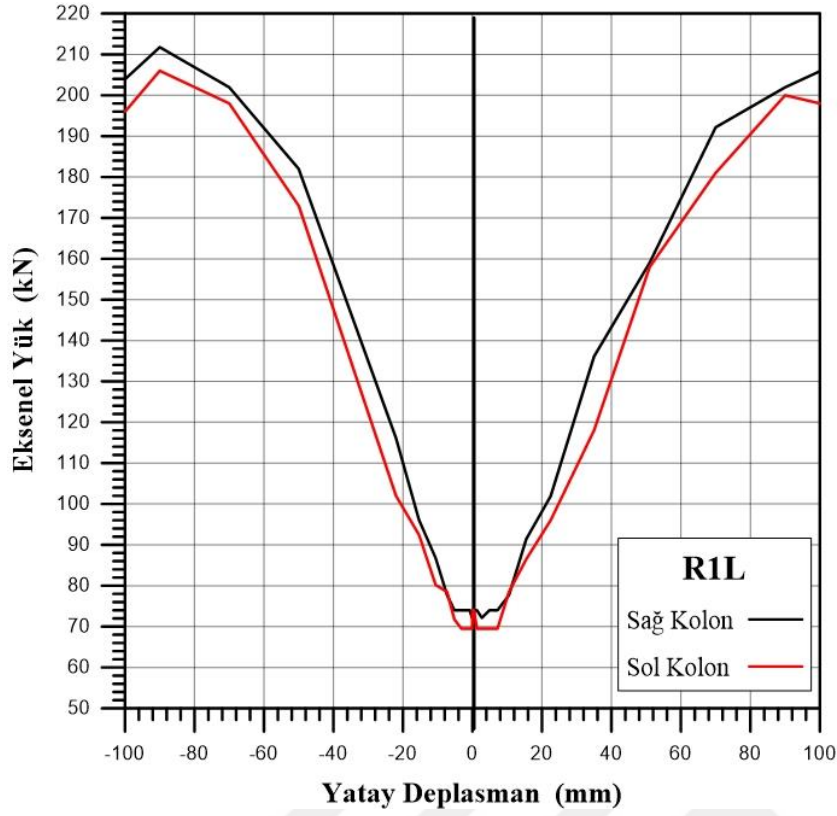


Resim 5.8. R1L deney elemanı göçme modu

R1L referans elemanına ait yük-yatay deplasman grafiği Şekil 5.3'te, kolon eksenel yük-yatay deplasman değişimi ise Şekil 5.4'te verilmiştir. Yük-deplasman grafiğine göre deney elemanının ileri yönde maksimum 111 kN' a, geri yönde ise maksimum 130 kN dayanıma çıktığı görülmüştür. Ayrıca ileri ve geri yöndeki %7,5' ten daha büyük ötelenme oranlarında da dayanımda önemli bir kayıp oluşmamıştır.



Şekil 5.3. R1L deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi



Şekil 5.4. R1L deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi

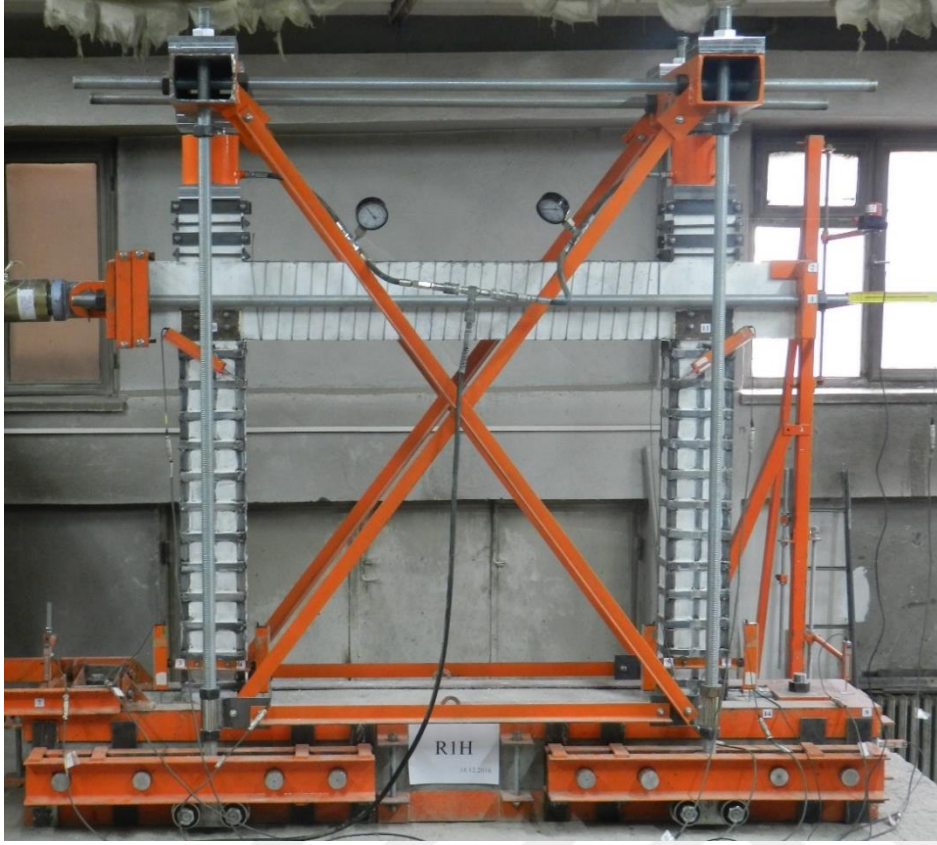
Kolonlara uygulanan eksenel yük- yatay deplasman değişiminde ise, deney süresince kolonlara uygulanan eksenel yükte dengeleme yapılmamış, ileri deformasyonlarda geri yöndeki yükleme sırasında sağ kolonda maksimum 210 kN eksenel yük değeri okunmuş ve başlangıç eksenel yük değerinin yaklaşık 2,8 katı olduğu görülmüştür. R1L elemanı davranış açısından Bölüm 7’de ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

5.2. R1H Deneyi

Eksenel yük düzeyi : Yüksek- 150 kN/kolon

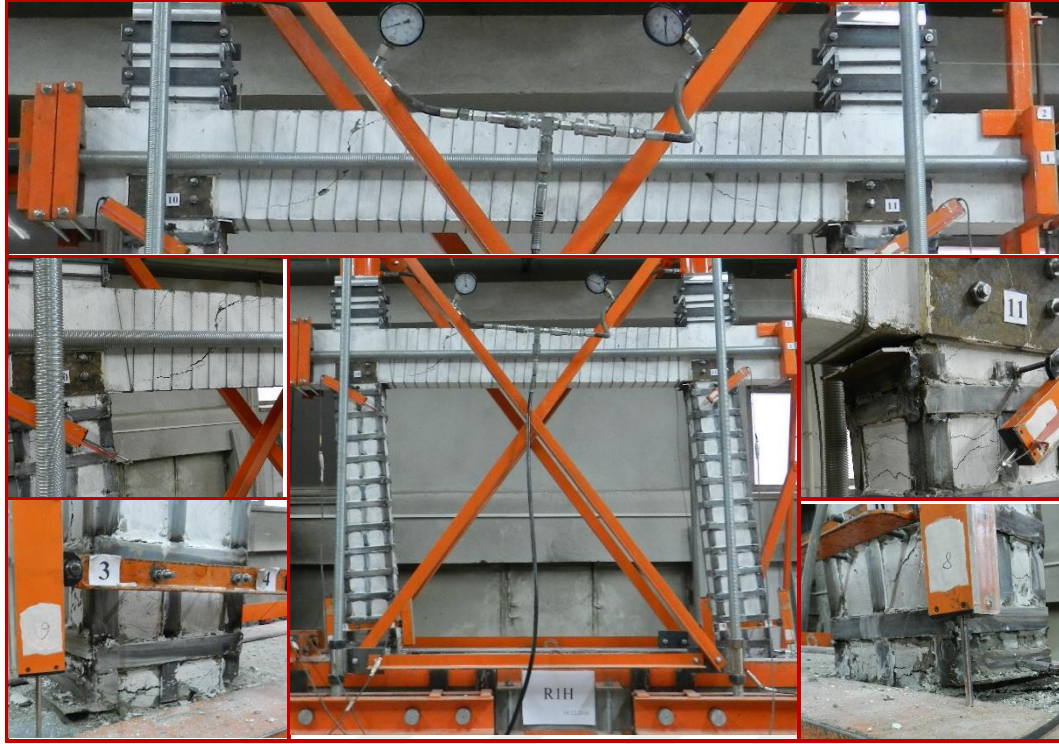
Güçlendirme : Yok

R1L referans elemanı ile aynı kesit ve donatı özelliklerine sahip duvarsız R1H ikinci referans elemanı oluşturulmuştur. R1L’den farklı olarak Resim 5.9’da gösterilen R1H referans elemanının kolonlarına uygulanacak eksenel yük düzeyi yüksek olarak belirlenmiş ve eksenel yük miktarı iki katına çıkarılmıştır.



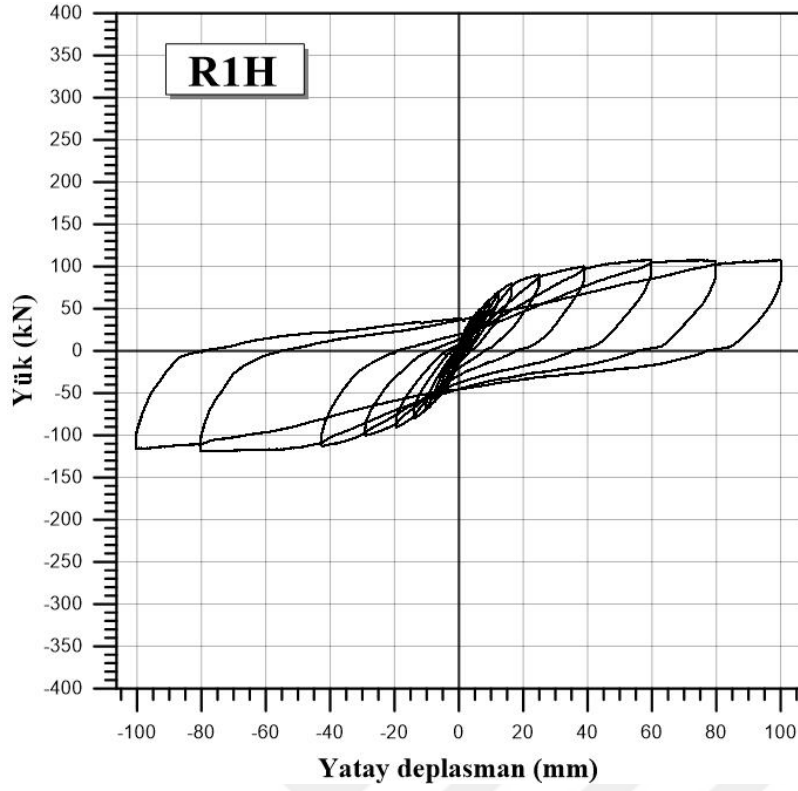
Resim 5.9. R1H deney elemanı

R1H elemanı da R1L elemanı gibi kolon uçlarında oluşan mafsallar sonucu göçmeye ulaşmıştır. Kolonlara uygulanan eksenel yük etkisiyle kolon alt yüzü ile temel arasındaki ötelenme sınırlanmıştır. Eksenel yük etkisindeki bu deneyde kolonların kesmeye karşı güçlendirilmesi ile kiriş zayıf duruma düşmüştür. Düşük dayanımlı beton olması sebebiyle kirişin alt ve üst yüzlerinde aderans çatlakları oluşmuştur. Kiriş uç bölgelerinde oluşan kesme hasarı ve kiriş üst kısmında oluşan aderans çatlakları çelik kablo sargılanması ile sınırlı kalmış, kirişin kesilerek kırılması önlenmiştir. Kolon uçlarında oluşan mafsallaşma bölgelerinde beton ezilmiş, kolon boyuna donatıları burkulmuştur (Resim 5.10). Deney, yatay ölçüm cihazının kapasitesinin bitmesiyle sona erdirilmiştir.

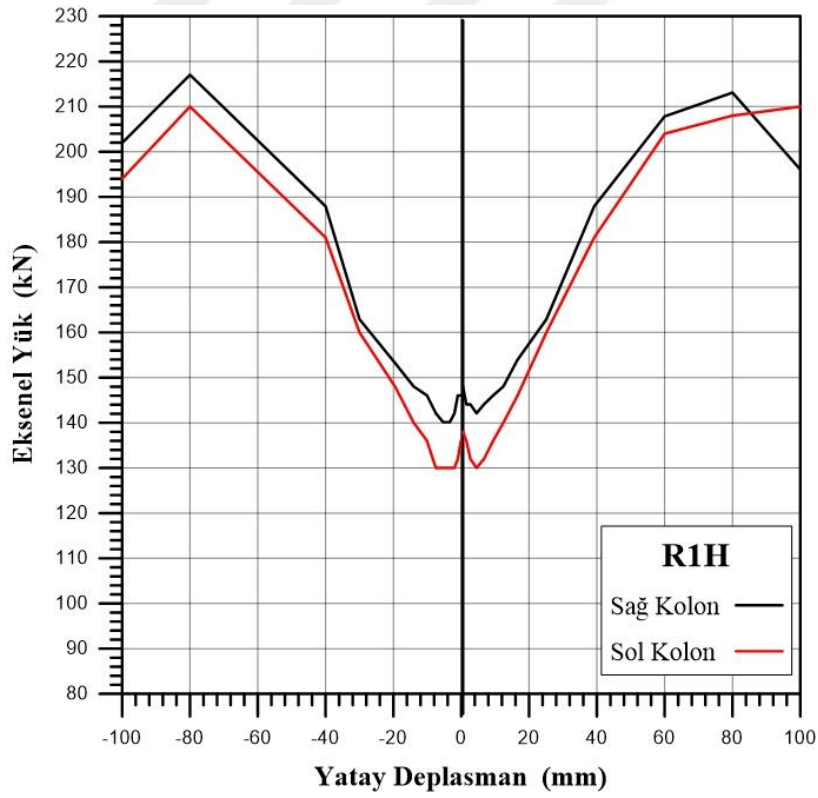


Resim 5.10. R1H deney elemanı göçme modu

R1H elemanına ait yük- yatay deplasman grafiği Şekil 5.5' te, kolon eksenel yük- yatay deplasman değişimi ise Şekil 5.6' da verilmiştir. İleri yönde deney elemanı maksimum 107 kN, geri yönde de maksimum 119 kN dayanıma ulaşabilmiştir. Ayrıca ileri ve geri yönde %7,5' ten büyük ötelenme oranlarında dahi sistem dayanımında önemli bir kayıp oluşmamıştır.



Şekil 5.5. R1H deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi



Şekil 5.6. R1H deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi

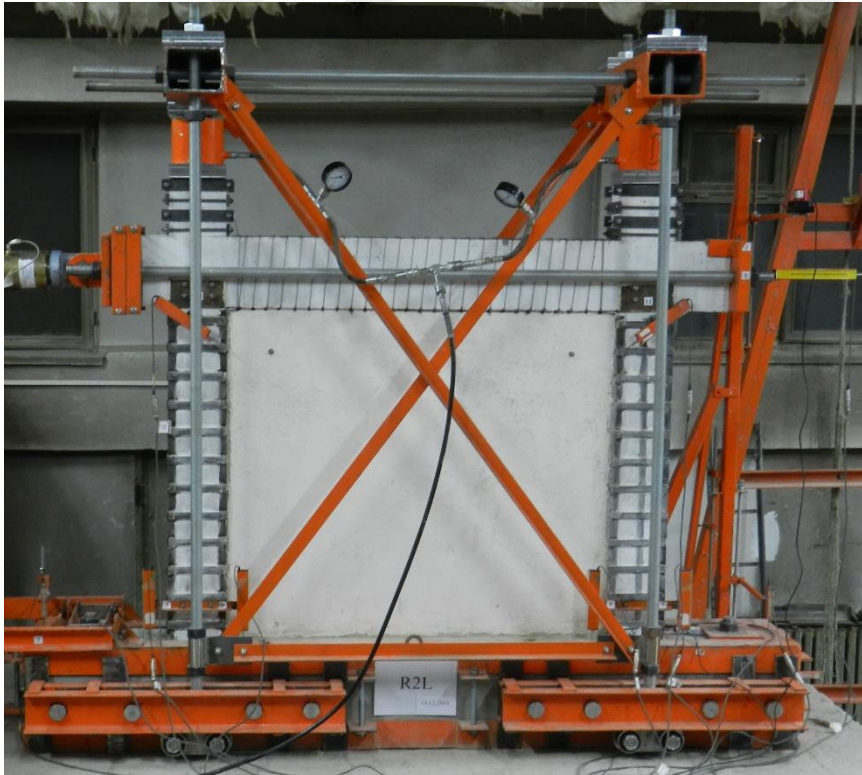
Kolonlara uygulanan eksenel yük- yatay deplasman değişiminde ise, birinci referans elemanında olduğu gibi deney süresince kolonlara uygulanan eksenel yükte dengeleme yapılmamış, ileri deformasyonlarda geri yöndeki yükleme sırasında sağ kolonda maksimum 217 kN eksenel yük değeri okunmuş ve başlangıç eksenel yük değerinin yaklaşık 1,5 katı olduğu görülmüştür. R1H elemanı davranış açısından Bölüm 7’ de ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

5.3. R2L Deneyi

Eksenel yük düzeyi : Düşük- 75 kN/kolon

Güçlendirme : Yok

R1L ve R1H referans deney elemanları ile aynı özelliklere sahip betonarme çerçeve içerisine tuğla dolgu duvar örülerek sıva yapılması sonucunda Resim 5.11’ de görülen üçüncü referans elemanı R2L referans elemanı oluşturulmuştur.

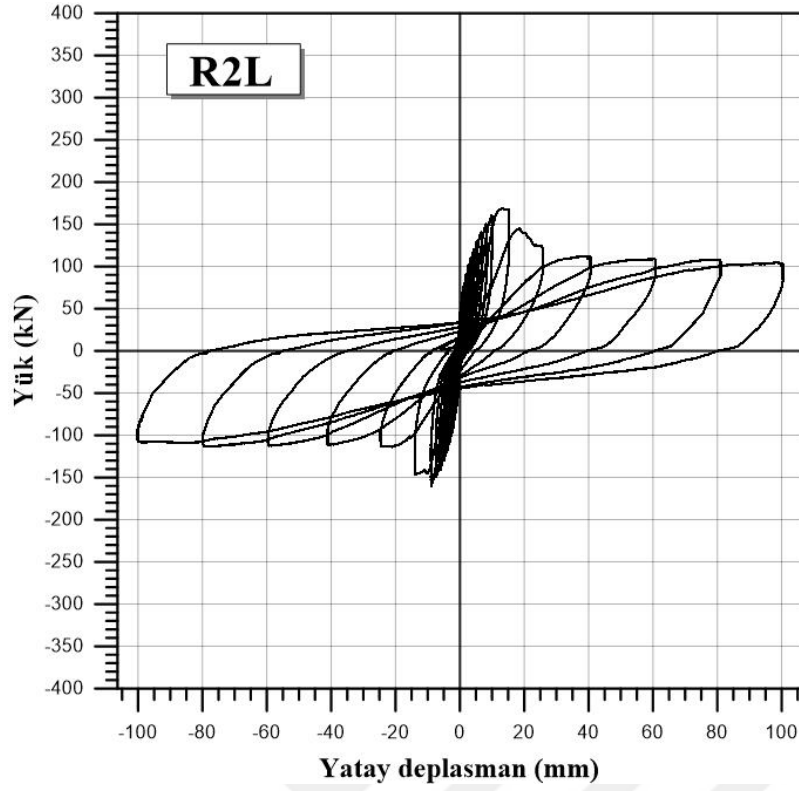


Resim 5.11. R2L deney elemanı

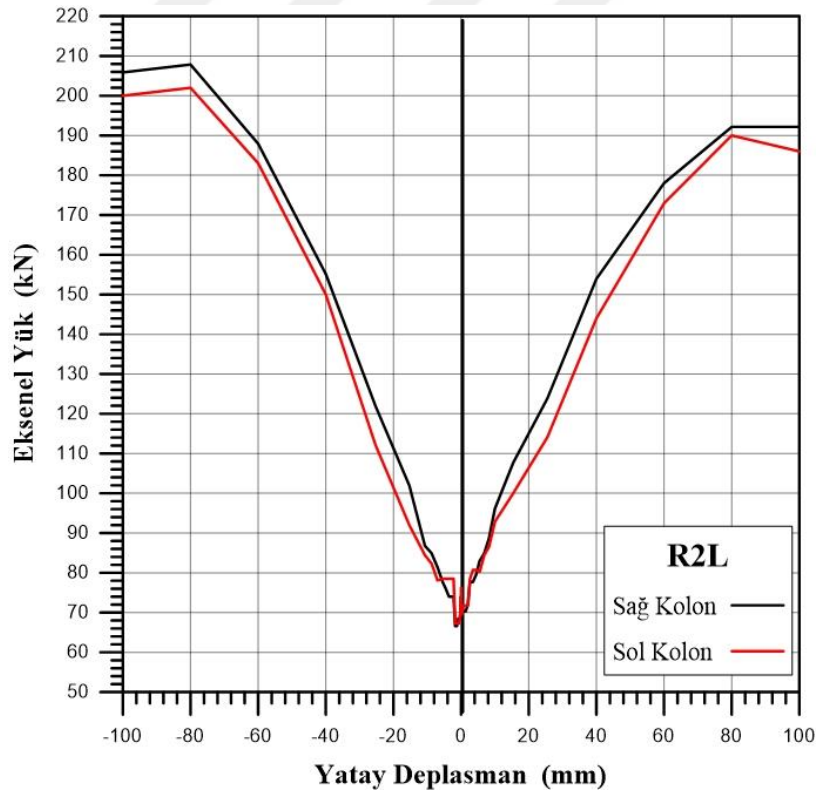
Kolonlarına düşük düzeyde aksenal yük uygulanan R2L referans elemanının deneyinde ileri yönde 110 kN da duvar sağ üst köşe-sağ kolon üst bölgesinde yüzey ayrılması görülmüş ve kiriş sol ucu birleşim bölgesinde 135 derecelik ilk kılcal çatlağa rastlanmıştır. Sisteme uygulanan depremi benzeştiren kuvvet etkisiyle dolgu duvarda oluşan diyagonal basınç kuvvetleri sonucu geri yönde 130 kN da duvar orta bölgesinde kılcal düzeyde çatlaklar gözlenmeye başlamış, aynı zamanda duvar sol üst köşesi ile kolon arasında 3 mm ayrılma görülmüştür. İlerleyen çevrimlerde duvar orta bölgesindeki diyagonal kılcal çatlaklar gelişerek genişliği 0,3 mm olan ana çatlaklara dönüşmüş ve geri yönde maksimum yük olan 160 kN da duvar orta bölgesinde ezilme gerçekleşmiştir. İleri deformasyonlarda tuğla duvar ile kolon arasındaki temas yüzeyinin azaldığı ve bu temasın kolon serbest yüksekliğinin %50' si oranında olduğu görülmüştür. Duvar orta bölgesindeki ezilme alanı büyümüş ve dökülmeler gerçekleşmiştir. Diğer referans elemanlarda olduğu gibi bu elemanın temel üst kotu kolon alt uçlarında da plastik mafsallar oluşmuş, kirişin kolana saplanan uç bölgelerinde oluşan kesme hasarı ve kiriş üst yüzeyindeki aderans çatlakları çelik kablo sargılanması ile sınırlı kalmış, kirişin kesilerek kırılması önlenmiştir. Deney, yatay ölçüm cihazının kapasitesinin bitmesiyle sona erdirilmiştir (Resim 5.12).



Resim 5.12. R2L deney elemanı göçme modu



Şekil 5.7. R2L deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi



Şekil 5.8. R2L deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi

R2L elemanına ait yük- yatay deplasman grafiği Şekil 5.7’de, kolon eksenel yük- yatay deplasman değişimi ise Şekil 5.8’de verilmiştir. İleri yönde deney elemanı 168 kN’ a, geri yönde de maksimum 160 kN dayanıma kadar çıkmıştır. Deney elemanının ileri ve geri yöndeki ötelenme oranları %7,5’ ten büyük olup dayanımda önemli kayıp oluşmamıştır.

Kolonlara uygulanan eksenel yük- yatay deplasman değişiminde ise, diğer referans elemanların deneylerinde olduğu gibi deney süresince kolonlara uygulanan eksenel yükte dengeleme yapılmamış, ileri deformasyonlarda geri yöndeki yükleme sırasında sağ kolonda maksimum 208 kN eksenel yük değeri okunmuş ve başlangıç eksenel yük değerinin yaklaşık 2,8 katı olduğu görülmüştür. R2L elemanı davranış açısından Bölüm 7’de ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

5.4. R2H Deneyi

Eksenel yük düzeyi : Yüksek- 150 kN/kolon

Güçlendirme : Yok

R2L referans deney elemanı ile aynı özelliklere sahip ancak kolonlara uygulanan eksenel yük düzeyi yüksek olup iki katı eksenel yük uygulanacak olan, Resim 5.13’te gösterilen dördüncü ve sonuncu referans elemanı R2H oluşturulmuştur.



Resim 5.13. R2H deney elemanı

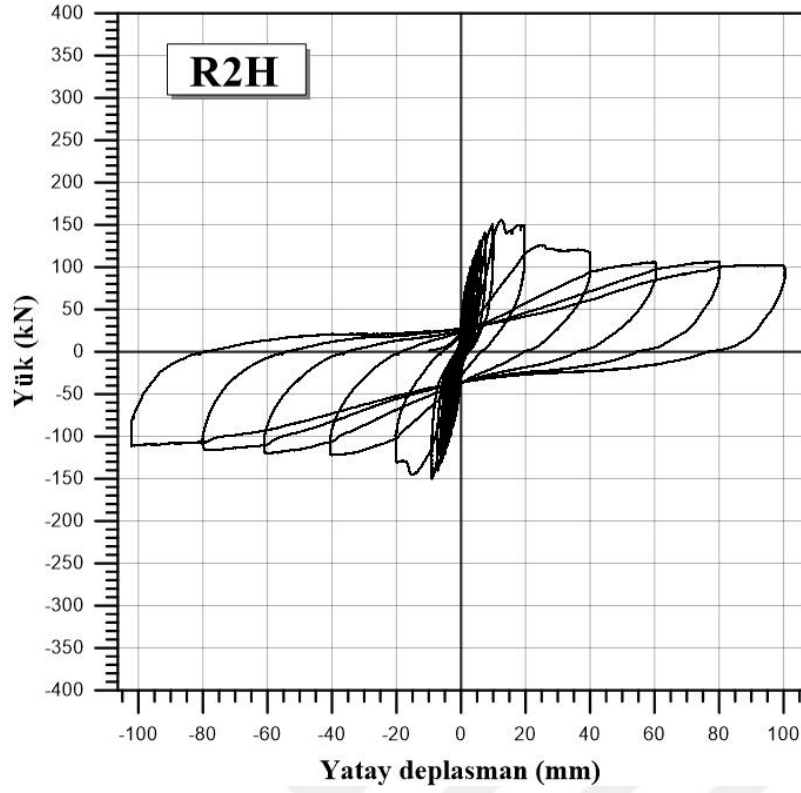
Kolonlarına yüksek düzeyde eksenel yük uygulanan R2H referans elemanının deneyinde ise ileri yönde 100 kN da duvar sağ üst köşe-sağ kolon üst bölgesinde yüzey ayrılması görülmüş ve kiriş orta bölgesinde kılcal seviyede çatlağa rastlanmıştır. Sisteme uygulanan depremi benzeştiren kuvvet etkisiyle dolgu duvarda oluşan diyagonal basınç kuvvetleri sonucu ileri yönde 120 kN da duvar orta bölgesinde kılcal düzeyde diyagonal çatlaklar gözlenmeye başlamış, duvar sağ üst köşesi ile kolon arasındaki ayrılmanın 3 mm olduğu görülmüştür. İlerleyen çevrimlerde duvar orta bölgesindeki diyagonal kılcal çatlakların sayısında artış gözlenmiş ve çatlaklardan biri çatlak genişliği 3 mm olan ana çatlağa dönüşmüştür. Duvar maksimum yük olarak ileri yönde 155 kN ve geri yönde 150 kN' a kadar çıkmış ve ileri deformasyonlarda ileri yönde 117 kN da duvar orta bölgesinde ezilme gerçekleşmiştir. Tuğla duvar ile kolon arasındaki temas yüzeyinin azaldığı ve bu temasın kolon serbest yüksekliğinin %50' si oranında olduğu görülmüştür. Duvar orta bölgesindeki ezilme alanı büyümüş ve dökülmeler gerçekleşmiştir. Diğer referans elemanlarda da olduğu gibi kolon alt uçlarında plastik mafsallar oluşmuştur. Kolonlara uygulanan eksenel yük ile kolon alt yüzü ile temel arasındaki ötelenme sınırlanmıştır. Eksenel yük etkisindeki bu deneyde kolonların kesmeye karşı güçlendirilmesi ile kiriş zayıf duruma düşmüştür. Kiriş uç bölgelerinde oluşan kesme hasarı ve kiriş üst yüzeyinde oluşan aderans çatlakları çelik kablo

sargılanması ile sınırlı kalmış, kirişin kesilerek kırılması önlenmiştir. Deney, yatay ölçüm cihazının kapasitesinin bitmesiyle sona erdirilmiştir (Resim 5.14).

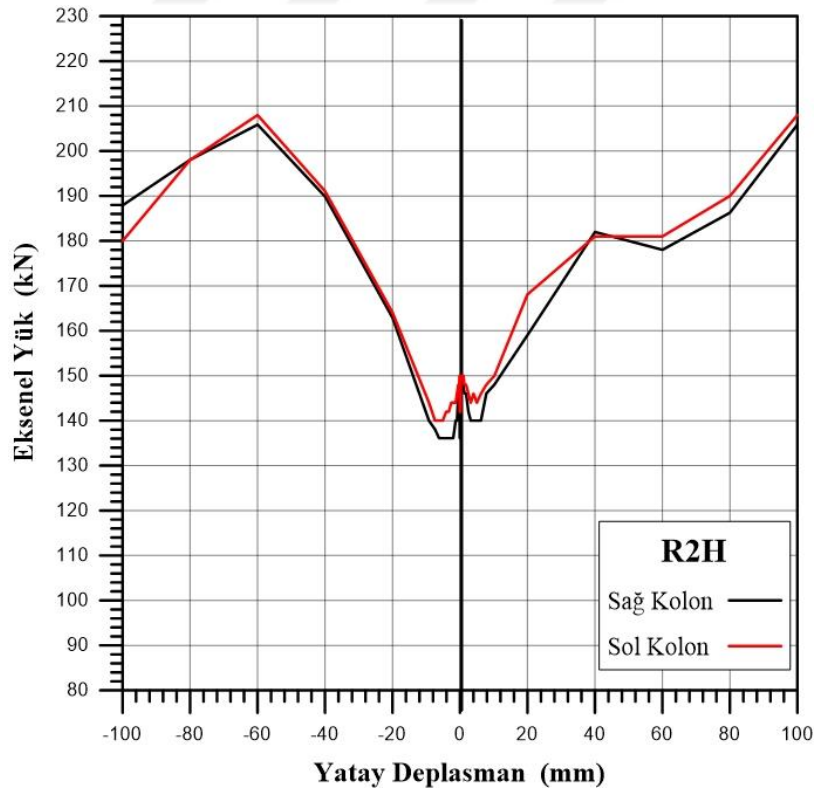


Resim 5.14. R2H deney elemanı göçme modu

R2H referans elemanına ait yük- yatay deplasman grafiği Şekil 5.9’da kolon eksenel yük- yatay deplasman değişimi ise Şekil 5.10’da verilmiştir. Deney elemanının ileri ve geri yöndeki ötelenme oranları %7,5’ ten büyük ve dayanımda önemli kayıp oluşmamıştır.



Şekil 5.9. R2H deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi



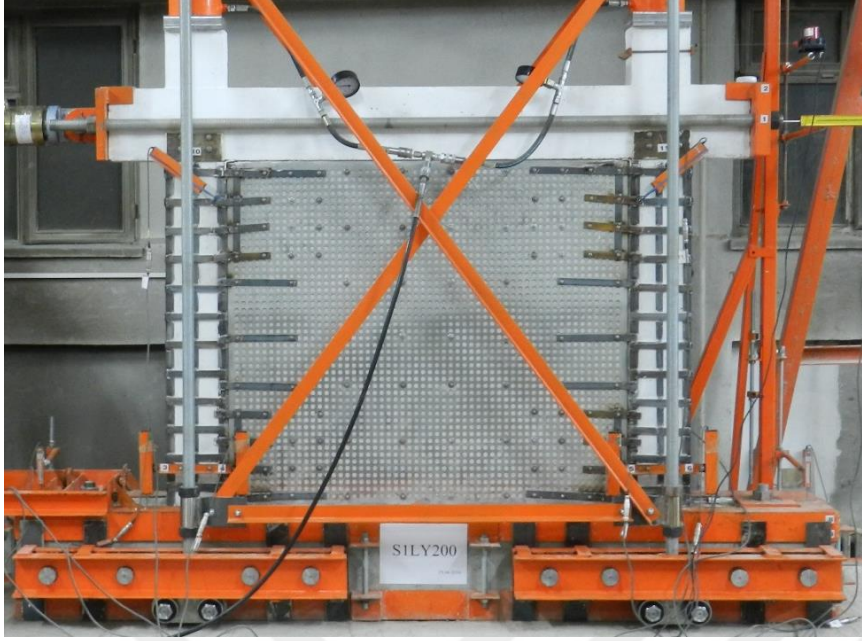
Şekil 5.10. R2H deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi

Kolonlara uygulanan eksenel yük- yatay deplasman değişiminde ise, diğer referans elemanların deneylerinde olduğu gibi deney süresince kolonlara uygulanan eksenel yükte dengeleme yapılmamış, ileri deformasyonlarda geri yöndeki yükleme sırasında sağ kolonda maksimum 207 kN eksenel yük değeri okunmuş ve başlangıç eksenel yük değerinin yaklaşık 1,4 katı olduğu görülmüştür. R2H elemanı davranış açısından Bölüm 7’de ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

5.5. S1LY200 Deneyi

Eksenel yük düzeyi	: Düşük- 75 (kN/kolon)
Delikli çelik levha kalınlığı	: 1,0 mm
Bulon aralığı	: 200 mm

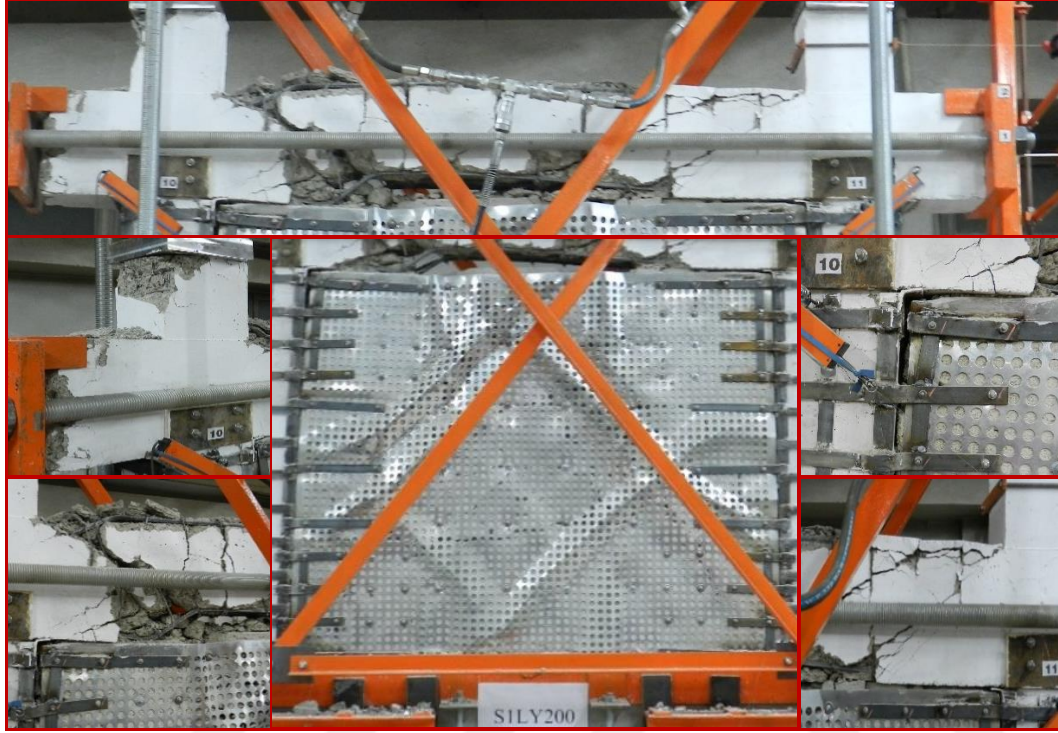
Güçlendirilmiş S1LY200 elemanı, betonarme çerçeve içerisinde imal edilen duvarın (ikinci referans eleman grubu) ön-arka yüzüne 1,0 mm kalınlığındaki delikli çelik levhaların yerleştirilmesi, bu levhaların bulonlarla birbirlerine ve lamalarla kolonlara bağlantısıyla elde edilmiştir. Levhalar, duvar orta bölgesinde 200 mm aralıklı olacak şekilde sonsuz “M6” bulonları ile duvara her iki yüzden karşılıklı bağlanmıştır. Güçlendirilmiş duvarın kolonlara bağlantısı ise duvarın ön-arka yüzünde 25×3 mm kesitli lamalarla, kenar boyunca yatay olarak her bir bulon sırasına yapılmıştır. Bu lamaların bir ucu duvarın kolonlara en yakın aynı hizadaki iki bulonuna bağlanmış, diğer ucu ise kolonlara giydirilen çelik mantonun köşebentleri üzerine alt ve üstten 30 mm uzunluğunda kaynaklanmıştır. Ayrıca duvar köşelerinde oluşacak ezilmeyi geciktirmek için “L” şeklinde çelik takviyeler duvara her iki yüzünden bulonlar ile bağlanmıştır (Resim 5.15).



Resim 5.15. S1LY200 deney elemanı

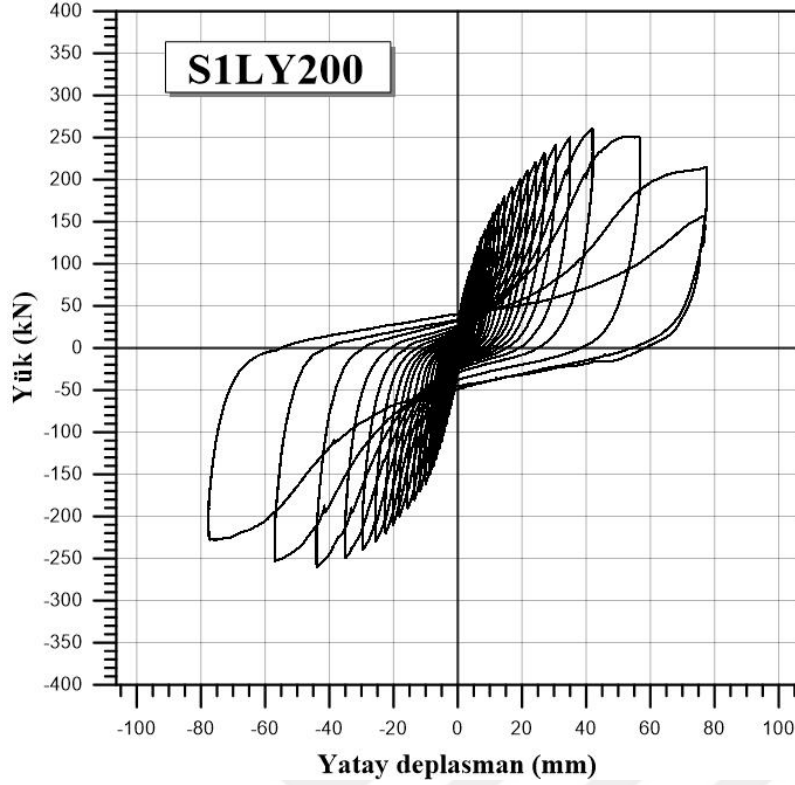
Kolonlarına düşük düzeyde eksenel yük uygulanan S1LY200 elemanının deneyinde, kolonların ve kirişin uç bölgelerinde kesme hasarları oluşmuş, kiriş üst yüzü boyunca aderans çatlakları meydana gelmiştir (Resim 5.16). Sisteme uygulanan depremi benzeştiren kuvvet etkisiyle dolgu duvarda oluşan diyagonal basınç kuvvetleri sonucu delikli çelik levhalarda buruşmalar ve dolgu duvarda çeşitli düzeylerde (kılcal ve ana) çatlaklar oluşmuştur. Ancak sistemde oluşan ileri deformasyon düzeylerinde bile delikli çelik levhalar tuğla dolgu duvarın dağılmasını engellemiş duvar bütünlüğünün korunmasını sağlamıştır. Resim 5.16.' da delikli çelik levhaların çok iyi sargılama yaptığı, ağır hasar alan tuğla dolgu duvarın dağılmasını engellediği ve duvarın yük taşımaya devam etmesini sağladığı görülmektedir. Deney boyunca duvar ile kolon arasındaki bağlantıların etkin şekilde çalıştığı ve aradaki ayrışmanın sınırlı düzeyde (maksimum 5-6 mm civarında) kaldığı görülmüştür. S1LY200 elemanında duvar ile kolonlar arası temas yüzeyi deney boyunca tam olarak yitirilmemiştir. Duvar köşelerindeki ezilmeyi engellemek için kullanılan L şeklindeki lamalar, köşelerde oluşan hasarların sınırlı düzeyde kalmasında oldukça etkili olmuştur. Sistemde oluşan ileri deformasyonlarda duvarı kolona bağlayan lamalardan bazıları kesilerek kopmuştur. Kolonlara uygulanan eksenel yük ile kolon alt yüzü-temel arası ötelenme sınırlanmıştır. Eksenel yük etkisindeki bu deneyde kolonların kesmeye karşı güçlendirilmesi ile kiriş zayıf duruma düşmüştür. Kirişin sağ ve sol ucunda önemli kesme kırılmaları oluşmuş, ayrıca kirişin alt ve üst donatılarında aderans kaybolmuştur. Kirişte meydana gelen kesme kırılması nedeniyle yükte ani kayıp oluşmuş ve bu nedenle deney

sonlandırılmıştır. Bir başka deyişle kiriş zayıf kaldığı için güçlendirilmiş duvarın kapasitesine ulaşamamıştır.



Resim 5.16. S1LY200 deney elemanı göçme modu

S1LY200 elemanına ait yük- yatay deplasman değişim grafiği Şekil 5.11’de verilmiştir. Deney elemanı, tuğla dolgu duvarın güçlendirilmesiyle sünek davranış sergilemiştir. Hem ileri hem de geri yönde deney elemanı 260 kN maksimum dayanıma kadar çıkabilmiştir. Ayrıca deney elemanı ileri yönde %5,5 ötelenme oranında, geride ise %6,0 ötelenme oranında bile dayanımda önemli kayıp yaşamamıştır (Şekil 5.11). Bu ötelenme oranları sonrasında grafikte dayanımda meydana gelen düşüşün nedeni kirişteki kesme kırılmasıdır. Deneyin başlangıç aşamasında kolonlara eksenel yük verilmesiyle beraber konstrüktif kolon başlarında oluşan gerilme yığılmaları lokal ezilmelere neden olmuştur (Resim 5.16). Ancak bu hasarlar deney sisteminin düzgün çalışmasına engel olmamıştır. Buna rağmen sonraki deneylerde daha yüksek düzeyde eksenel yükün verileceği bilindiğinden, konstrüktif kolon başlarında önlem alınmasına karar verilmiştir.



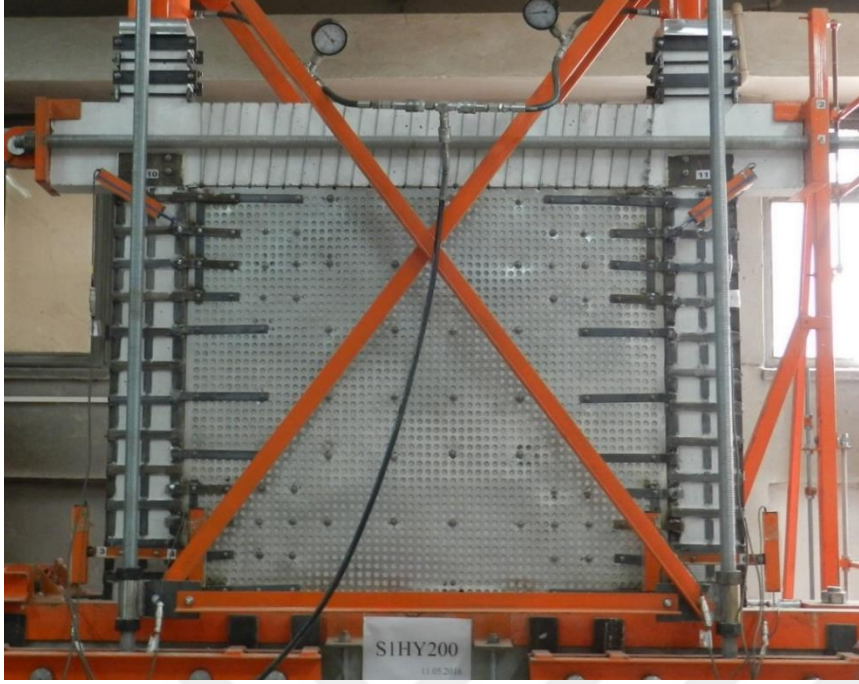
Şekil 5.11. S1LY200 deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi

S1LY200 deney elemanı, tez kapsamında hazırlanan deney grubunun yapılan ilk deneyi olmasından dolayı elemanın kolonlarına uygulanan eksenel yükün yatay deplasman ile değişim kaydı oluşturulmamıştır. Bundan sonraki elemanlarda ise bu kayıt oluşturulmuş ve eksenel yük-yatay deplasman değişim grafikleri her elemanın deneysel sürecinde yer almıştır. S1LY200 elemanının deneyinde yatay deplasman oluşmaya başladıkça kolonlardaki eksenel yükün değiştiği görülmüş ve bu yükü sabit tutabilmek için belirli periyotlarda, yatayda uygulanan yükün 50 kN ve katlarında, bulunduğu çevrimin sonunda eleman başlangıç konumuna getirilerek kolonların eksenel yük değerleri başlangıç yük değerine getirilmiştir. Deneyin son 3 çevriminin deformasyonlarında kolonlardaki eksenel yük değeri yaklaşık 110 kN olarak okunmuş ve başlangıç eksenel yük değerinin yaklaşık 1,5 katına çıktığı görülmüştür. S1LY200 elemanı davranış açısından Bölüm 7’de ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

5.6. S1HY200 Deneyi

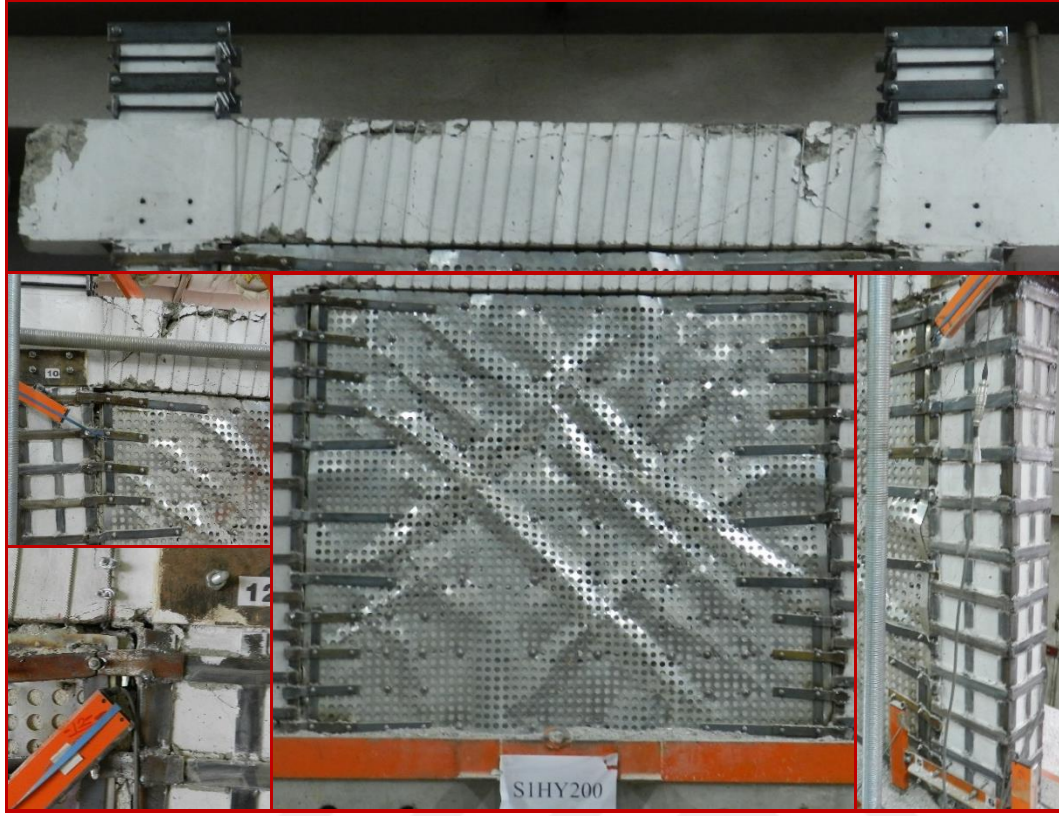
Eksenel yük düzeyi	: Yüksek- 150 (kN/kolon)
Delikli çelik levha kalınlığı	: 1,0 mm
Bulon aralığı	: 200 mm

S1HY200 güçlendirilmiş deney elemanı, duvar güçlendirme ve diğer bütün özellikleri S1LY200 elemanı ile aynı olup kolonlarına uygulanacak eksenel yük düzeyi yüksektir. S1LY200 elemanı deneyinde duvarın taşıma kapasitesine ulaşmadan betonarme çerçevedeki kirişte karşılaşılan kesme kırılması duvar güçlendirilmesinin etkisinin anlaşılmasını engellemiştir. Tez kapsamında değerlendirilecek elemanların betonarme çerçeveleri önceden üretilmiş olup kirişin kesmeye karşı güçlendirilmesi donatı ile mümkün olmamaktadır (Resim 5.4). Bu nedenle S1LY200 deney elemanı hariç bütün elemanlar da duvar güçlendirme yönteminin anlaşılabilmesi için kirişte oluşan kesme kırılmasını önleme ihtiyacı doğmuştur. Bu nedenle kirişte güçlendirme işlemine başvurulmuş, kirişlerin dışardan sargılama ile kesme kapasiteleri artırılmaya çalışılmıştır. Yöntem olarak kirişler, etraflarına çelik kablo sarılması ile güçlendirilmiştir. Hatırlanacağı gibi bir önceki deneyde düşey yükün verildiği kolon başlarında düşük beton dayanımı, etriye yetersizliğinden dolayı eksenel yükün etkidiği kolon başlarında lokal ezilmeler oluşmuştu. Eksenel yükleme sisteminde yük alanının değişmesiyle sorun oluşturacak bu durumun sınırlandırılabilmesi açısından açıkta bırakılmış olan kolon uçlarının güçlendirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Yapılan güçlendirme, çelik lamaların şaşırtmalı dizilerek ard germeli gijonlarla bağlanması ile uygulanmıştır. Deneye hazır hale getirilmiş S1HY200 elemanı Resim 5.17’de gösterilmiştir.



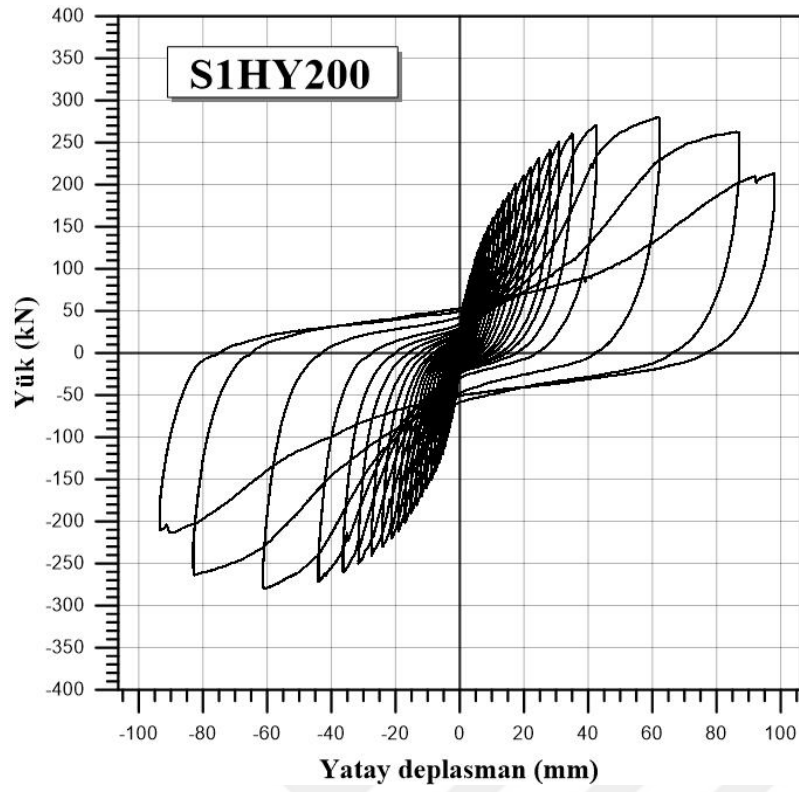
Resim 5.17. S1HY200 deney elemanı

Kolonlarına yüksek düzeyde eksenel yük uygulanan S1HY200 elemanının deneyinde, kolon alt ve üst uç bölgelerinde plastik mafsall oluşmuş, kirişin kolonlara saplandığı uç bölgelerinde ise kesme hasarı ile kiriş üst yüzeyinde oluşan aderans çatlakları çelik kablo sargılanması sonucunda sınırlı kalmıştır (Resim 5.18). Sisteme uygulanan depremi benzeştiren kuvvet etkisiyle dolgu duvarda oluşan diyagonal basınç kuvvetleri sonucu delikli çelik levhalarda buruşmalar ve dolgu duvarda çeşitli düzeylerde (kılcal ve ana) çatlaklar oluşmuştur. Ancak sistemde oluşan ileri deformasyon düzeylerinde bile delikli çelik levhalar tuğla dolgu duvarın dağılmasını engellemiş tuğla dolgu duvar bütünlüğünün korunmasını sağlamıştır. Deney boyunca duvar ile kolon arasındaki bağlantıların etkin şekilde çalıştığı ve aradaki ayrışmanın sınırlı düzeyde (maksimum 15-20 mm civarında) kaldığı görülmüştür. S1HY200 elemanında duvar ile kolonlar arası temas yüzeyi deney boyunca tam olarak yitirilmemiştir. Duvar köşelerindeki ezilmeyi engellemek için kullanılan L şeklindeki lamalar, köşelerde oluşan hasarların sınırlı düzeyde kalmasında oldukça etkili olmuştur. Kirişte kesme için alınan ek önlem (Bkz. Resim 5.5 ve Şekil 5.2), kirişte oluşan kesme ve aderans çatlağının gelişmesini sınırlamış, kirişin kesilerek kırılmasını önlemiştir. Kirişte oluşan kesme kırılması için alınan ek önlemin (Resim 5.18) işe yaradığı görülmüş ve eleman davranışını olumlu şekilde etkilediği için sonraki bütün deney elemanlarında bu yöntemin uygulanmasına karar verilmiştir. Deney, yatay ölçüm cihazının kapasitesinin bitmesiyle sona erdirilmiştir. (Resim 5.18).

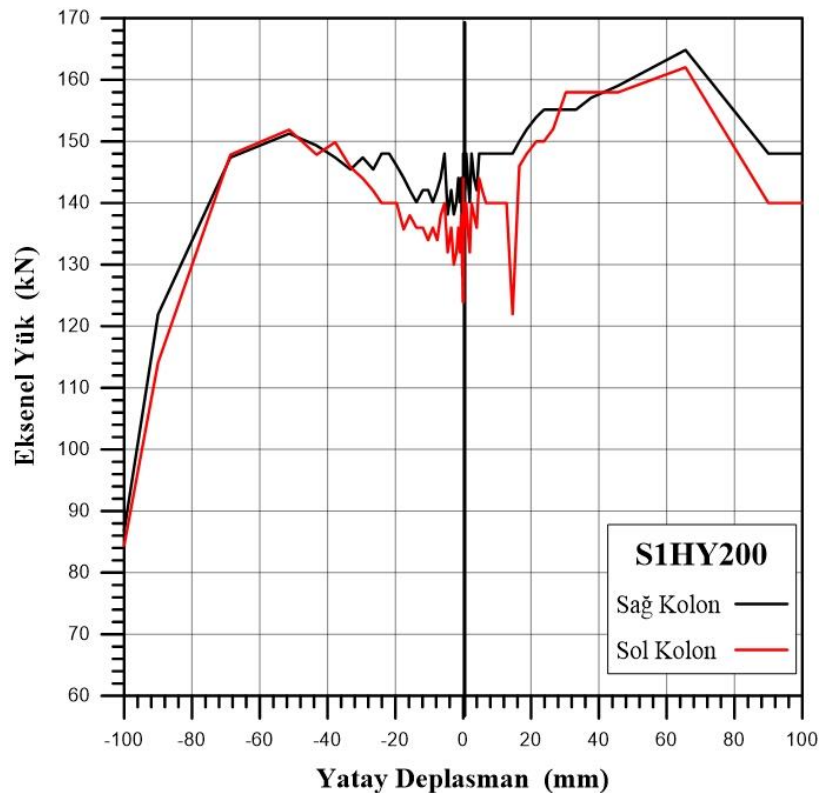


Resim 5.18. S1HY200 deney elemanı göçme modu

S1HY200 deney elemanına ait yük- yatay deplasman grafiği Şekil 5.12’de, kolon eksenel yük- yatay deplasman değişimi ise Şekil 5.13’te verilmiştir. Deney elemanı, tuğla dolgu duvarın güçlendirilmesiyle sünek davranış sergilemiştir. Hem ileri hem de geri yönde deney elemanı 280 kN maksimum dayanıma kadar çıkabilmiştir. Ayrıca deney elemanı ileri yönde %6,9 ötelenme oranında, geride ise %6,6 ötelenme oranında dahi dayanımda önemli bir kayıp yaşanmamıştır (Şekil 5.12). Bu ötelenme oranları sonrasında dayanımda oluşan yük kaybına duvar kolon bağlantısını sağlayan lamalardan bazılarında meydana gelen kopmalar sebep olmuştur.



Şekil 5.12. S1HY200 deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi



Şekil 5.13. S1HY200 deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi

Kolonlara uygulanan eksenel yük- yatay deplasman değişiminde ise (Şekil 5.13), deney süresince kolonlara uygulanan eksenel yükte artışın görüldüğü çevrimlerde çevrim bittiğinde deney başlangıç konumuna getirilmiş kolon eksenel yükleri başlangıç yüküne getirilerek dengeleme yapılmıştır. Sol kolondaki eksenel yük değişim grafiği incelendiğinde başlangıç deformasyonlarında görülen ani düşüş kolonların eksenel yük okuması hatasından kaynaklanmaktadır. İleri deformasyonlarda ileri yöndeki yükleme sırasında sağ kolonda maksimum 168 kN eksenel yük değeri okunmuş ve başlangıç eksenel yük değerinin yaklaşık 1,1 katı olduğu görülmüştür. S1HY200 elemanı davranış açısından Bölüm 7’de ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

5.7. S1LY150 Deneyi

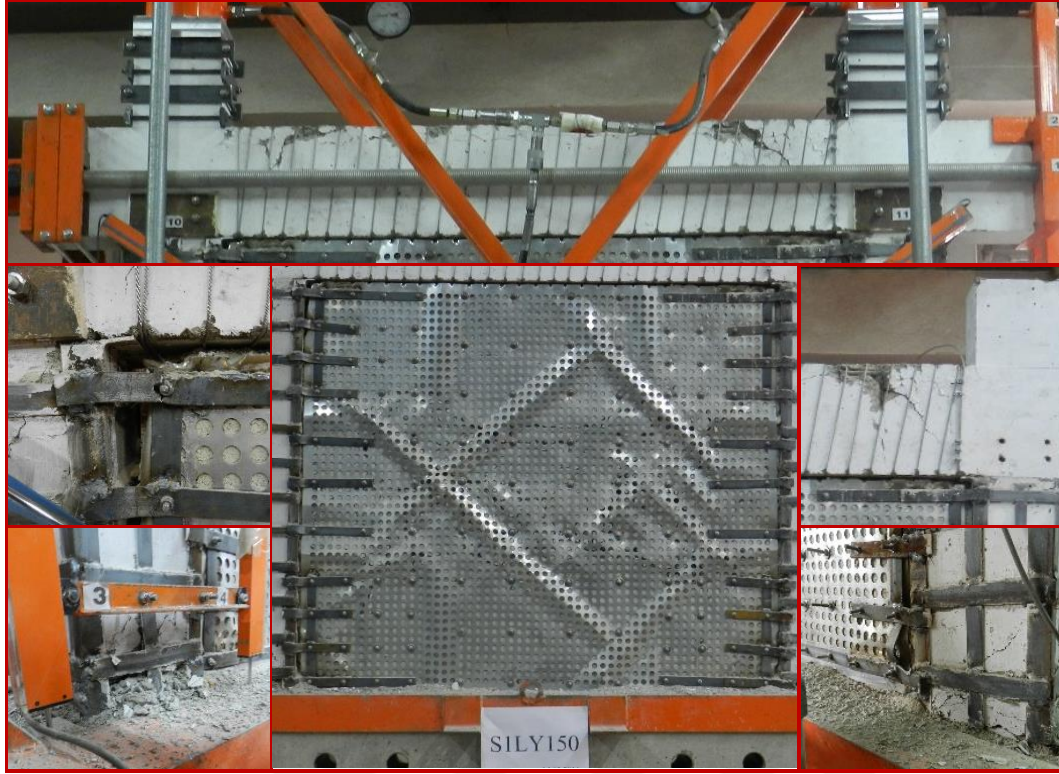
Eksenel yük düzeyi	: Düşük- 75 (kN/kolon)
Delikli çelik levha kalınlığı	: 1,0 mm
Bulon aralığı	: 150 mm

Güçlendirilmiş S1LY150 elemanı, betonarme çerçeve içerisinde imal edilen duvarın (ikinci referans eleman grubu) ön-arka yüzüne 1,0 mm kalınlığındaki delikli çelik levhaların yerleştirilmesi, bu levhaların bulonlarla birbirlerine ve lamalarla kolonlara bağlantısıyla elde edilmiştir. Levhalar, duvar orta bölgesinde 150 mm aralıklı olacak şekilde sonsuz “M6” bulonları ile duvara her iki yüzden karşılıklı bağlanmıştır. Güçlendirilmiş duvarın kolonlara bağlantısı ise duvarın ön-arka yüzünde 25×3 mm kesitli lamalarla, kenar boyunca yatay olarak her bir bulon sırasına yapılmıştır. Bu lamaların bir ucu duvarın kolonlara en yakın aynı hizadaki iki bulonuna bağlanmış, diğer ucu ise kolonlara giydirilen çelik mantonun köşebentleri üzerine alt ve üstten 30 mm uzunluğunda kaynaklanmıştır. Ayrıca duvar köşelerinde oluşacak ezilmeyi geciktirmek için “L” şeklinde çelik takviyeler duvara her iki yüzünden bulonlar ile bağlanmıştır. Temsili kolon ve kiriş uçlarında lokal ezilmelerin oluşarak deney sisteminin çalışmasını engellememesi için bu bölgelerde sargılama yapılarak önlem alınmıştır. Deneye hazır hale getirilen S1LY150 elemanı Resim 5.19’da gösterilmiştir.



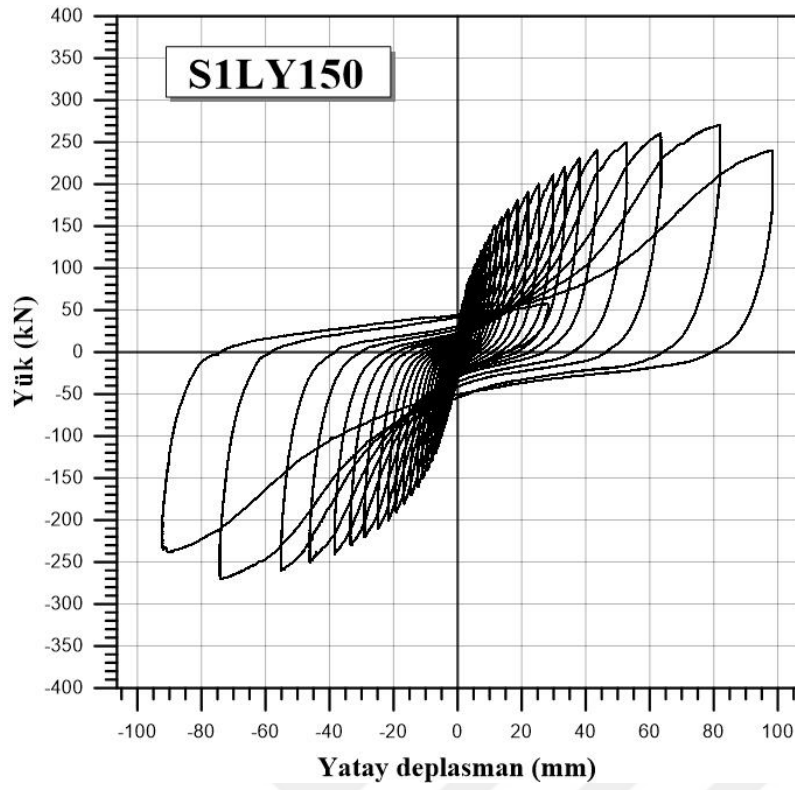
Resim 5.19. S1LY150 deney elemanı

Kolonlarına düşük düzeyde aksenal yük uygulanan S1LY150 elemanının deneyinde, temel üst kotu kolon alt ucunda plastik mafsallar oluşmuş, kirişin kolonlara saplandığı uç bölgelerinde ise kesme hasarı ile kiriş üst yüzeyinde oluşan aderans çatlakları çelik kablo sargılanması sonucunda sınırlı kalmıştır. Sisteme uygulanan depremi benzeştiren kuvvet etkisiyle dolgu duvarda oluşan diyagonal basınç kuvvetleri sonucu delikli çelik levhalarda buruşmalar ve dolgu duvarda çeşitli düzeylerde (kılcal ve ana) çatlaklar oluşmuştur. Ancak sistemde oluşan ileri deformasyon düzeylerinde bile delikli çelik levhalar tuğla dolgu duvarın dağılmasını engellemiş tuğla dolgu duvar bütünlüğünün korunmasını sağlamıştır. Deney boyunca duvar ile kolon arasındaki bağlantıların etkin şekilde çalıştığı ve aradaki ayrışmanın sınırlı düzeyde (maksimum 15-20 mm civarında) kaldığı görülmüştür. S1LY150 elemanında duvar ile kolonlar arası temas yüzeyi deney boyunca tam olarak yitirilmemiştir. Duvar köşelerindeki ezilmeyi engellemek için kullanılan L şeklindeki lamalar, köşelerde oluşan hasarların sınırlı düzeyde kalmasında oldukça etkili olmuştur. Kirişte kablo ile uygulanan güçlendirme, kirişte oluşan kesme çatlağının gelişmesini sınırlamış, kirişin kesilerek kırılmasını önlemiştir. Deney, yatay ölçüm cihazının kapasitesinin bitmesiyle sona erdirilmiştir. (Resim 5.20).

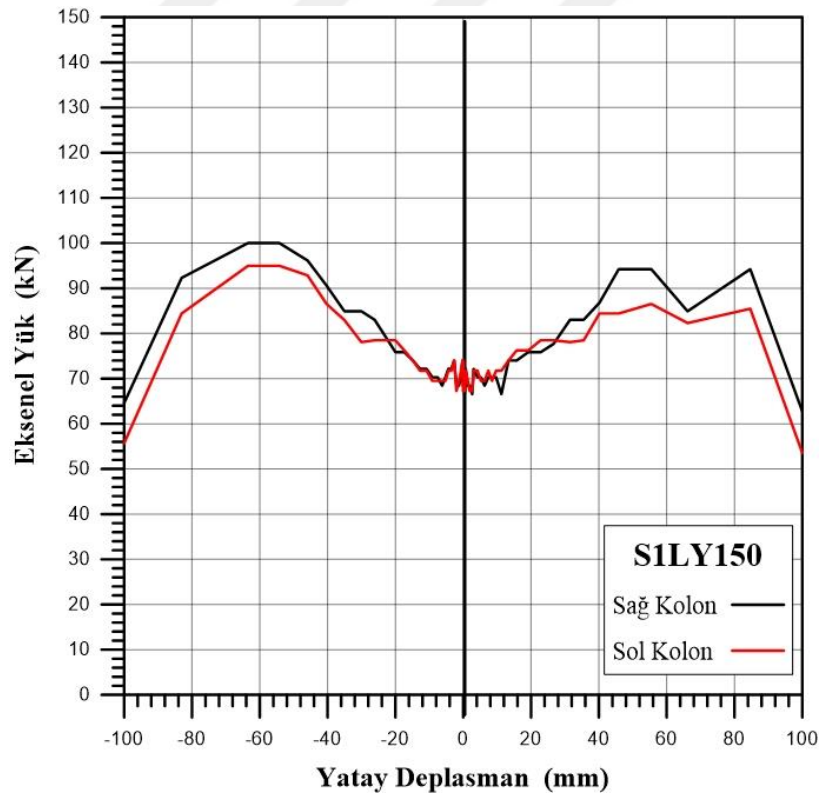


Resim 5.20. S1LY150 deney elemanı göçme modu

S1LY150 deney elemanına ait yatay yükün yatay deplasman ile grafiği Şekil 5.14'te, kolon eksenel yükün de yatay deplasman ile değişimi ise Şekil 5.15'te verilmiştir. Deney elemanı, tuğla dolgu duvarın güçlendirilmesiyle sünek davranış sergilemiştir. Hem ileri hem de geri yönde deney elemanı 270 kN maksimum dayanıma kadar çıkabilmiştir. Ayrıca deney elemanı ileri yönde %7,5 ötelenme oranında, geride ise %6,8' ötelenme oranında dahi dayanımda önemli bir kayıp yaşanmamıştır (Şekil 5.14). Bu ötelenme oranları sonrasında dayanımda oluşan yük kaybına duvar kolon bağlantısını sağlayan lamalardan bazılarında meydana gelen kopmalar sebep olmuştur.



Şekil 5.14. S1LY150 deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi



Şekil 5.15. S1LY150 deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi

Kolonlara uygulanan eksenel yük- yatay deplasman değişiminde ise (Şekil 5.15), deney süresince kolonlara uygulanan eksenel yükte artışın görüldüğü çevrimlerde çevrim bittiğinde deney başlangıç konumuna getirilmiş kolon eksenel yükleri başlangıç yüküne getirilerek dengeleme yapılmıştır. İleri deformasyonlarda geri yöndeki yükleme sırasında sağ kolonda maksimum 100 kN eksenel yük değeri okunmuş ve başlangıç eksenel yük değerinin yaklaşık 1,33 katı olduğu görülmüştür. S1LY150 elemanı davranış açısından Bölüm 7’de ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

5.8. S1HY150 Deneyi

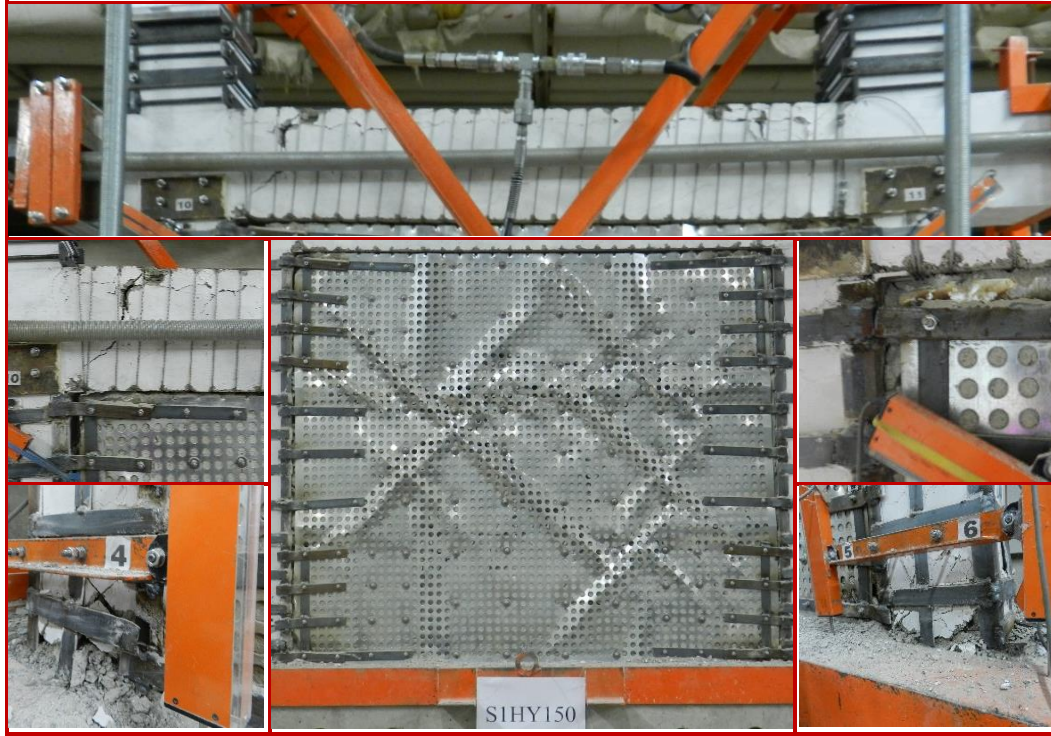
Eksenel yük düzeyi : Yüksek- 150 (kN/kolon)
 Delikli çelik levha kalınlığı : 1,0 mm
 Bulon aralığı : 150 mm

S1HY150 güçlendirilmiş deney elemanı, duvar güçlendirme ve diğer bütün özellikleri S1LY150 elemanı ile aynı olup kolonlarına uygulanacak eksenel yük düzeyi yüksektir. Deneye hazır hale getirilen S1HY150 elemanı Resim 5.21’de gösterilmiştir.



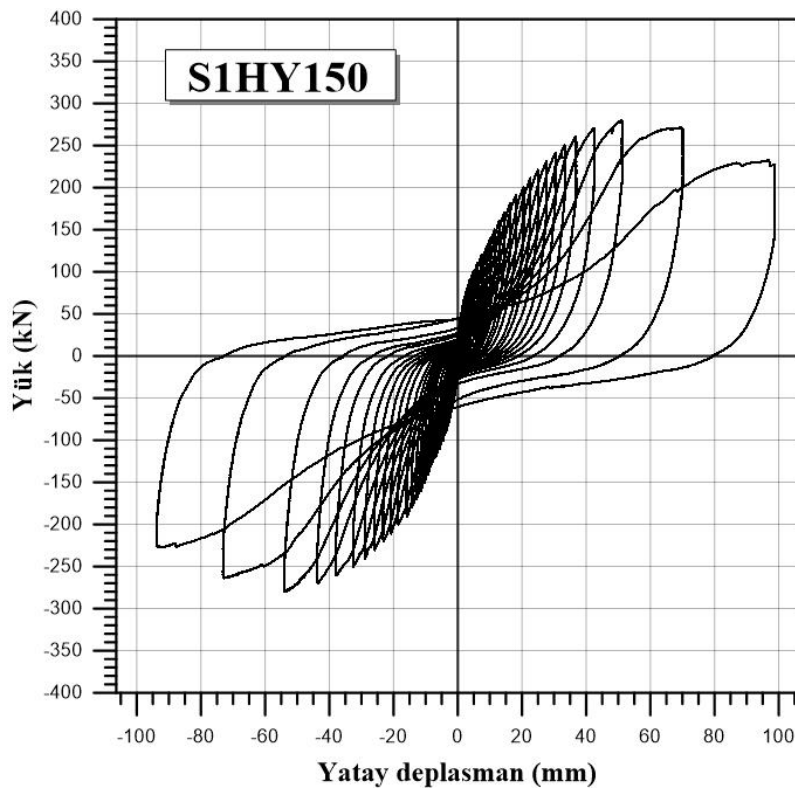
Resim 5.21. S1HY150 deney elemanı

Kolonlarına yüksek düzeyde eksenel yük uygulanan S1HY150 elemanının deneyinde, temel üst kotu kolon alt ucunda plastik mafsallar oluşmuş, kirişin kolonlara saplandığı uç bölgelerinde ise kesme hasarı ile kiriş üst yüzeyinde oluşan aderans çatlakları çelik kablo sargılanması sonucunda sınırlı kalmıştır. (Resim 5.22). Sisteme uygulanan depremi benzeştiren kuvvet etkisiyle dolgu duvarda oluşan diyagonal basınç kuvvetleri sonucu delikli çelik levhalarda buruşmalar ve dolgu duvarda çeşitli düzeylerde (kılcal ve ana) çatlaklar oluşmuştur. Ancak sistemde oluşan ileri deformasyon düzeylerinde bile delikli çelik levhalar tuğla dolgu duvarın dağılmasını engellemiş tuğla dolgu duvar bütünlüğünün korunmasını sağlamıştır. Deney boyunca duvar ile kolon arasındaki bağlantıların etkin şekilde çalıştığı ve aradaki ayrışmanın sınırlı düzeyde (maksimum 18-20 mm civarında) kaldığı görülmüştür. S1LY150 elemanında duvar ile kolonlar arası temas yüzeyi deney boyunca tam olarak yitirilmemiştir. Duvar köşelerindeki ezilmeyi engellemek için kullanılan L şeklindeki lamalar, köşelerde oluşan hasarların sınırlı düzeyde kalmasında oldukça etkili olmuştur. Kirişte kablo ile uygulanan güçlendirme, kirişte oluşan kesme çatlağının gelişmesini sınırlamış, kirişin kesilerek kırılmasını önlemiştir. Deney, yatay ölçüm cihazının kapasitesinin bitmesiyle sona erdirilmiştir. (Resim 5.22).

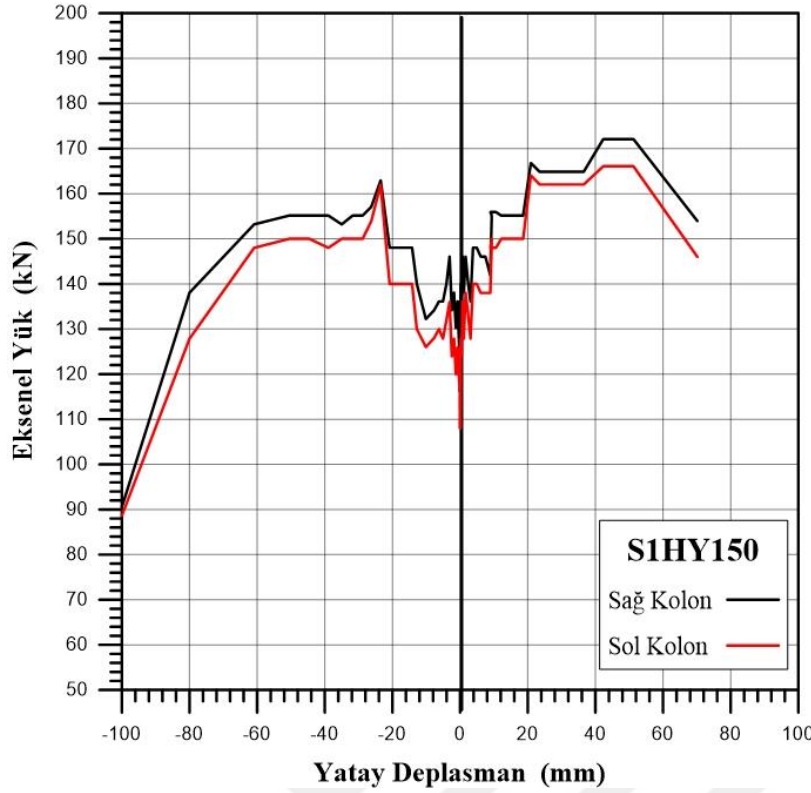


Resim 5.22. S1HY150 deney elemanı göçme modu

S1HY150 deney elemanına ait yatay yükün yatay deplasman ile değişim grafiği Şekil 5.16'da kolon aksenal yükün de yatay deplasman değişimi ise Şekil 5.17'de verilmiştir. Deney elemanı, tuğla dolgu duvarın güçlendirilmesiyle sünek davranış sergilemiştir. Hem ileri hem de geri yönde deney elemanı 280 kN maksimum dayanıma kadar çıkabilmiştir. Ayrıca deney elemanı ileri yönde %6,9 ötelenme oranında, geride ise %6,6 ötelenme oranında dahi dayanımda önemli bir kayıp yaşanmamıştır (Şekil 5.21). Bu ötelenme oranlarından sonra dayanımda oluşan yük kaybına duvar kolon bağlantısını sağlayan lamalardan bazılarında meydana gelen kopmalar sebep olmuştur.



Şekil 5.16. S1HY150 deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi



Şekil 5.17. S1HY150 deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi

Kolonlara uygulanan eksenel yük- yatay deplasman değişiminde ise (Şekil 5.17), deney süresince kolonlara uygulanan eksenel yükte artışın görüldüğü çevrimlerde çevrim bittiğinde deney başlangıç konumuna getirilmiş kolon eksenel yükleri başlangıç yüküne getirilerek dengeleme yapılmıştır. İleri deformasyonlarda geri yöndeki yükleme sırasında sağ kolonda maksimum 172 kN eksenel yük değeri okunmuş ve başlangıç eksenel yük değerinin yaklaşık 1,15 katı olduğu görülmüştür. S1HY150 elemanı davranış açısından Bölüm 7’de ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

5.9. S1.5LY200 Deneyi

Eksenel yük düzeyi	: Düşük- 75 (kN/kolon)
Delikli çelik levha kalınlığı	: 1,5 mm
Bulon aralığı	: 200 mm

Güçlendirilmiş S1.5LY200 elemanı, betonarme çerçeve içerisinde imal edilen duvarın (ikinci referans eleman grubu) ön-arka yüzüne 1,5 mm kalınlığında delikli çelik levhaların yerleştirilmesi, bu levhaların bulonlarla birbirlerine ve lamalarla kolonlara bağlantısıyla elde

edilmiştir. Levhalar, duvar orta bölgesinde 200 mm aralıklı olacak şekilde sonsuz “M6” bulonları ile duvara her iki yüzden karşılıklı bağlanmıştır. Güçlendirilmiş duvarın kolonlara bağlantısı ise duvarın ön-arka yüzünde 25×3 mm kesitli lamalarla, kenar boyunca yatay olarak her bir bulon sırasına yapılmıştır. Bu lamaların bir ucu duvarın kolonlara en yakın aynı hizadaki iki bulonuna bağlanmış, diğer ucu ise kolonlara giydirilen çelik mantonun köşebentleri üzerine alt ve üstten 30 mm uzunluğunda kaynaklanmıştır. Ayrıca duvar köşelerinde oluşacak ezilmeyi geciktirmek için “L” şeklinde çelik takviyeler duvara her iki yüzünden bulonlar ile bağlanmıştır. Önceki elemanlarda olduğu gibi temsili kolonlar ve kiriş ucu çelik profiller/levhalar ve ard germeli gijonlarla sargılanmış, güçlendirilmiştir. Deneye hazır hale getirilen S1.5LY200 elemanı Resim 5.23’te gösterilmiştir.



Resim 5.23. S1.5LY200 deney elemanı

Kolonlarına düşük düzeyde eksenel yük uygulanan S1.5LY200 elemanının deneyinde, kolon alt uçlarında plastik mafsallar oluşmuş ve ağır hasar almıştır. Çelik kablo sargılanması ile kirişin kolonlara saplandığı uç bölgelerinde kesme hasarı sınırlı kalmış ve kiriş üst yüzeyindeki aderans çatlakların oluşması oldukça engellenmiştir (Resim 5.24). Sisteme uygulanan depremi benzeştiren kuvvet etkisiyle dolgu duvarda oluşan diyagonal basınç kuvvetleri sonucu delikli çelik levhalarda buruşmalar ve dolgu duvarda çeşitli düzeylerde (kılcal ve ana) çatlaklar oluşmuştur. Ancak sistemde oluşan ileri deformasyon düzeylerinde

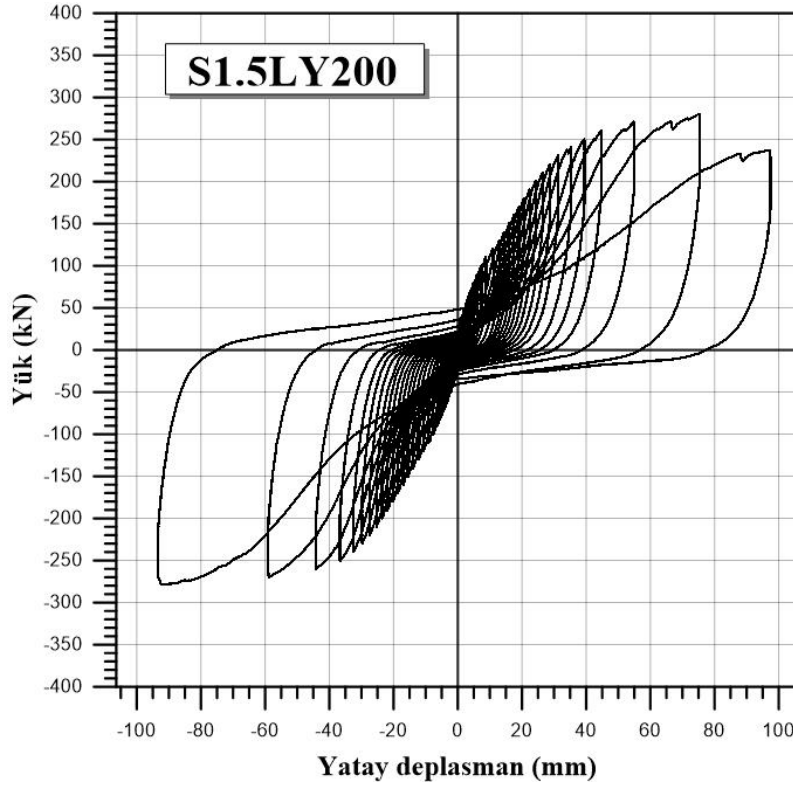
bile delikli çelik levhalar duvarın dağılmasını engelleyerek duvar bütünlüğünün korunmasını sağlamıştır. Resim 5.24’ de delikli çelik levhaların oldukça iyi sargılama yaptığı, ağır hasar alan tuğla dolgu duvarın dağılmasını engellediği ve duvarın yük taşımaya devam etmesini sağladığı görülmektedir. Deney boyunca duvar ile kolon arasındaki bağlantıların etkin şekilde çalıştığı ve aradaki ayrışmanın sınırlı düzeyde (maksimum 25-30 mm civarında) kaldığı görülmüştür. Bir başka deyişle S1.5LY200 elemanında duvar ile kolonlar arası temas yüzeyi deney boyunca tam olarak yitirilmemiştir. Duvar köşelerindeki ezilmeyi engellemek için kullanılan L şeklindeki lamalar, köşelerde oluşan hasarların sınırlı düzeyde kalmasında oldukça etkili olmuştur. Kirişte uygulanan kablo güçlendirmesi ile kirişte oluşan kesme çatlağının gelişmesi sınırlanmış, betonarme çerçeve ağır hasar almasına rağmen duvar bütünlüğünü korumuştur. Deney, yatay ölçüm cihazının kapasitesinin bitmesiyle sona erdirilmiştir. (Resim 5.24).



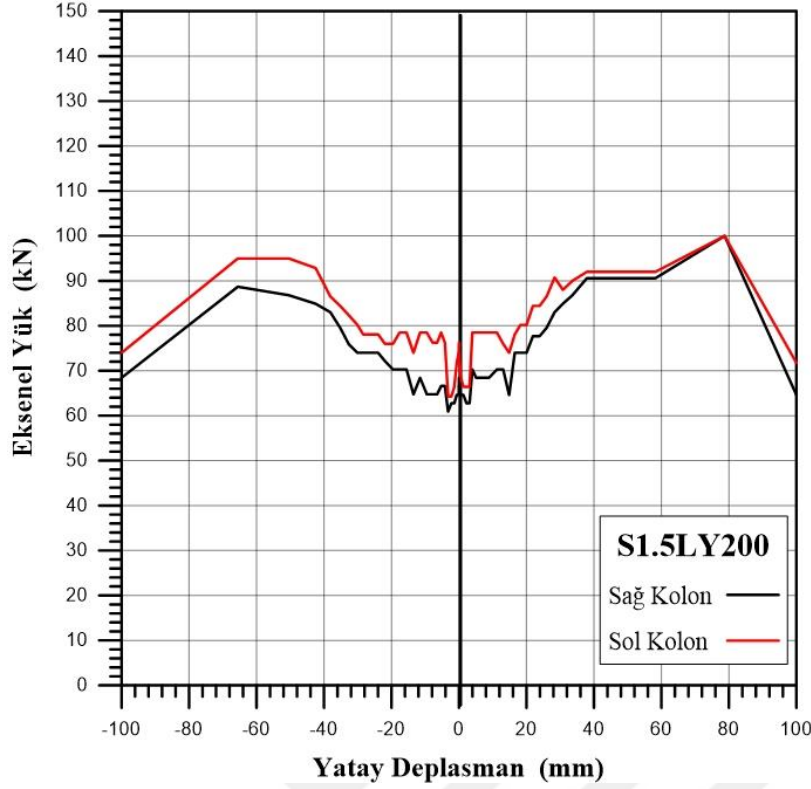
Resim 5.24. S1.5LY200 deney elemanı göçme modu

S1.5LY200 deney elemanına ait yatay yükün yatay deplasman ile değişim grafiği Şekil 5.18’de, kolon eksenel yükün de yatay deplasman değişimi ise Şekil 5.19’da verilmiştir. Deney elemanı, tuğla dolgu duvarın güçlendirilmesiyle sünek davranış sergilemiştir. İleri yönde deney elemanı 280 kN dayanıma ulaşırken geri yönde dayanım değeri 279 kN

olmuştur. Ayrıca deney elemanı ileri yönde %7,3 ötelenme oranında, geride ise %7,1 ötelenme oranında dahi dayanımda önemli bir kayıp yaşanmamıştır (Şekil 5.22). Bu ötelenme oranlarından sonra dayanımda oluşan yük kaybına duvar kolon bağlantısını sağlayan lamalardan bazılarında meydana gelen kopmalar sebep olmuştur.



Şekil 5.18. S1.5LY200 deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi



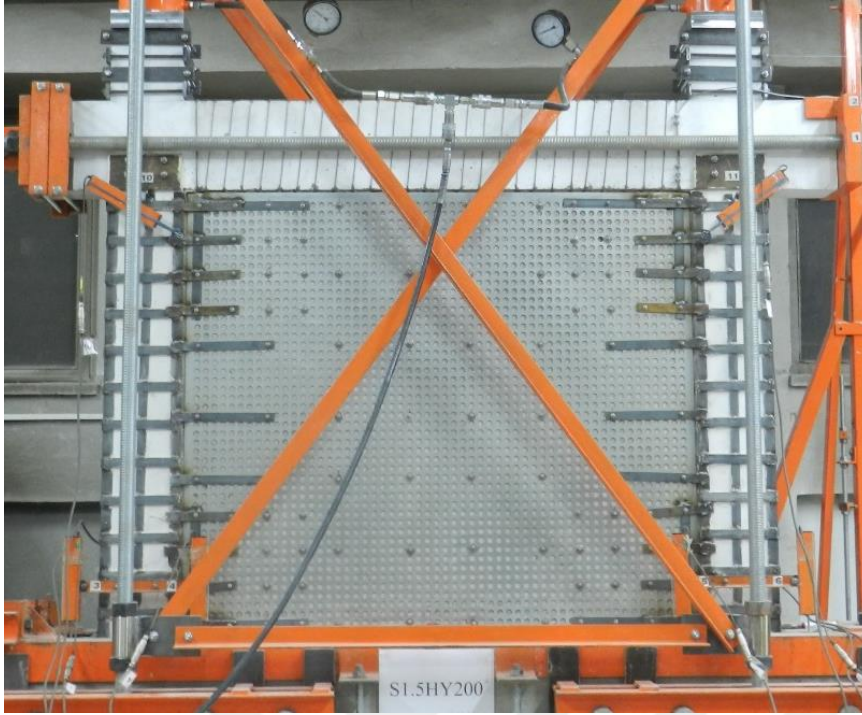
Şekil 5.19. S1.5LY200 deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi

Kolonlara uygulanan eksenel yük- yatay deplasman değişiminde ise (Şekil 5.19), deney süresince kolonlara uygulanan eksenel yükte artışın görüldüğü çevrimlerde çevrim bittiğinde deney başlangıç konumuna getirilmiş kolon eksenel yükleri başlangıç yüküne getirilerek dengeleme yapılmıştır. İleri deformasyonlarda ileri yöndeki yükleme sırasında sağ ve sol kolonlarda maksimum 100 kN eksenel yük değeri okunmuş ve başlangıç eksenel yük değerinin yaklaşık 1,33 katı olduğu görülmüştür. S1.5LY200 elemanı davranış açısından Bölüm 7’de ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

5.10. S1.5HY200 Deneyi

Eksenel yük düzeyi : Yüksek- 150 (kN/kolon)
 Delikli çelik levha kalınlığı : 1,5 mm
 Bulon aralığı : 200 mm

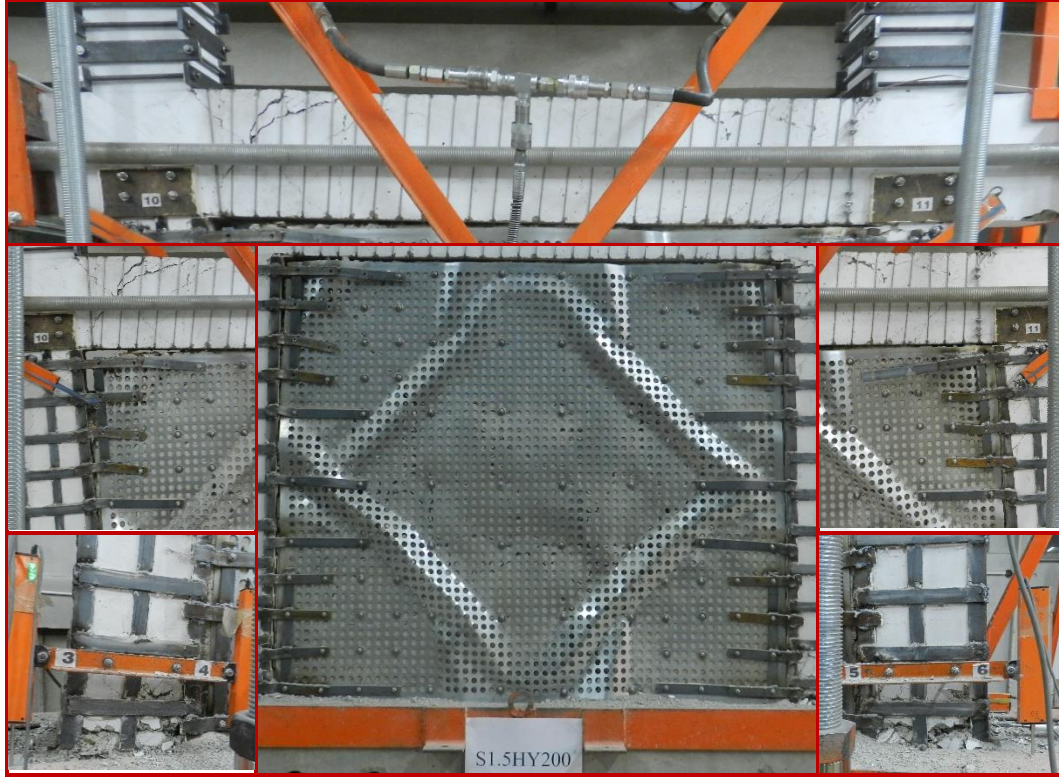
S1.5HY200 güçlendirilmiş deney elemanı, duvar güçlendirme ve diğer bütün özellikleri S1.5LY200 elemanı ile aynı olup kolonlarına uygulanacak eksenel yük düzeyi yüksektir. Deneye hazır hale getirilen S1.5HY200 elemanı Resim 5.25’te gösterilmiştir.



Resim 5.25. S1.5HY200 deney elemanı

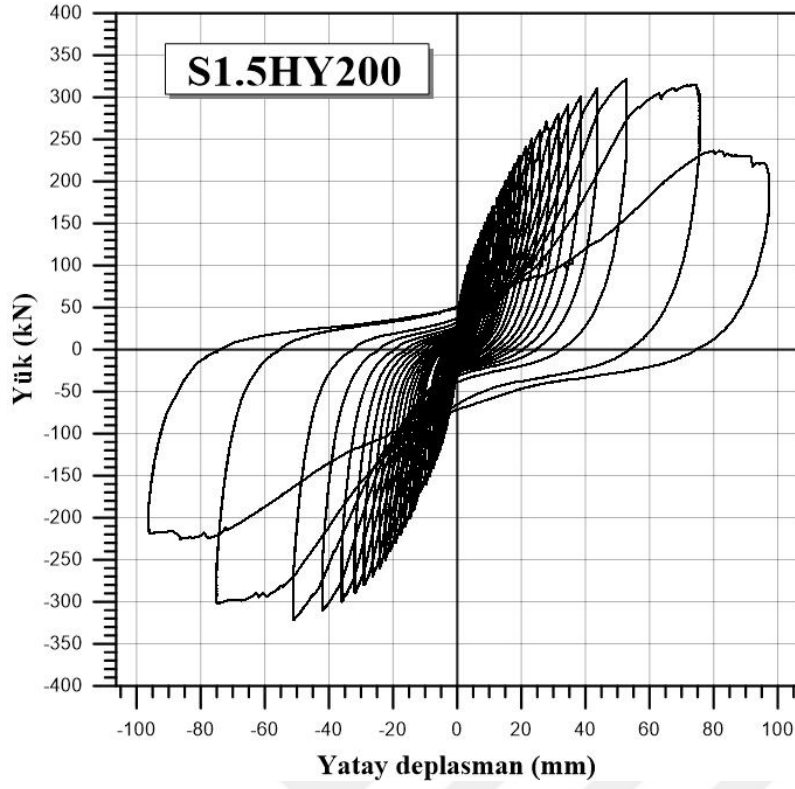
Kolonlarına yüksek düzeyde eksenel yük uygulanan S1.5HY200 elemanının deneyinde, kolon alt uçlarında plastik mafsallar oluşmuş ve ağır hasar almıştır. Çelik kablo sargılanması ile kirişin kolonlara saplandığı uç bölgelerinde kesme hasarı sınırlı kalmış ve kiriş üst yüzeyindeki aderans çatlakların oluşması oldukça engellenmiştir (Resim 5.26). Sisteme uygulanan depremi benzeştiren kuvvet etkisiyle dolgu duvarda oluşan diyagonal basınç kuvvetleri sonucu delikli çelik levhalarda buruşmalar ve dolgu duvarda çeşitli düzeylerde (kılcal ve ana) çatlaklar oluşmuştur. Ancak sistemde oluşan ileri deformasyon düzeylerinde bile delikli çelik levhalar duvarın dağılmasını engelleyerek duvar bütünlüğünün korunmasını sağlamıştır. Resim 5.26’ da delikli çelik levhaların oldukça iyi sargılama yaptığı, ağır hasar alan tuğla dolgu duvarın dağılmasını engellediği ve duvarın yük taşımaya devam etmesini sağladığı görülmektedir. Deney boyunca duvar ile kolon arasındaki bağlantıların etkin şekilde çalıştığı ve aradaki ayrışma deneyin son aşamalarına kadar çok sınırlı düzeylerde (maksimum 30 mm) kalmıştır. Ancak ileri deformasyonlarda duvar köşe sıkıştırma bulonlarında ve kolon üst ucu bağlantı lamalarında gerçekleşen kopmalardan dolayı kolon duvar bağlantısı kısmen yitirilmiştir. Bir başka deyişle S1.5HY200 elemanında duvar ile kolonlar arası temas yüzeyi deney boyunca tam olarak yitirilmemiştir. Duvar köşelerindeki ezilmeyi engellemek için kullanılan L şeklindeki lamalar, köşelerde oluşan hasarların sınırlı düzeyde kalmasında oldukça etkili olmuştur. Kirişte uygulanan kablo güçlendirmesi ile

kirişte oluşan kesme çatlağının gelişmesi sınırlanmış, betonarme çerçeve ağır hasar almasına rağmen duvar bütünlüğünü korumuştur. Deney, yatay ölçüm cihazının kapasitesinin bitmesiyle sona erdirilmiştir (Resim 5.26).

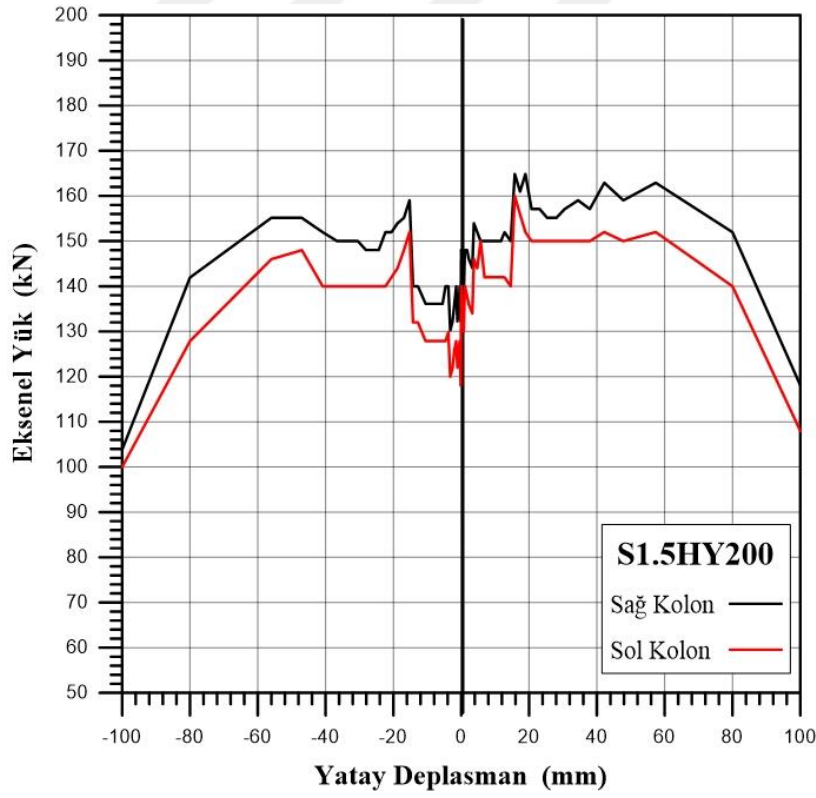


Resim 5.26. S1.5HY200 deney elemanı göçme modu

S1.5HY200 deney elemanına ait yatay yükün yatay deplasman ile değişim grafiği Şekil 5.20’de kolon eksenel yükün de yatay deplasman değişimi ise Şekil 5.21’de verilmiştir. Deney elemanı, tuğla dolgu duvarın güçlendirilmesiyle sünek davranış sergilemiştir. Hem ileri hem de geri yönde deney elemanı 320 kN maksimum dayanıma kadar çıkabilmiştir. Ayrıca deney elemanı ileri yönde %6,4 ötelenme oranında, geride ise %6,2 ötelenme oranında dahi dayanımda önemli bir kayıp yaşanmamıştır (Şekil 5.20). Bu ötelenme oranlarından sonra dayanımda oluşan yük kaybına duvar kolon bağlantısını sağlayan lamalardan bazılarında meydana gelen kopmalar sebep olmuştur.



Şekil 5.20. S1.5LY200 deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi



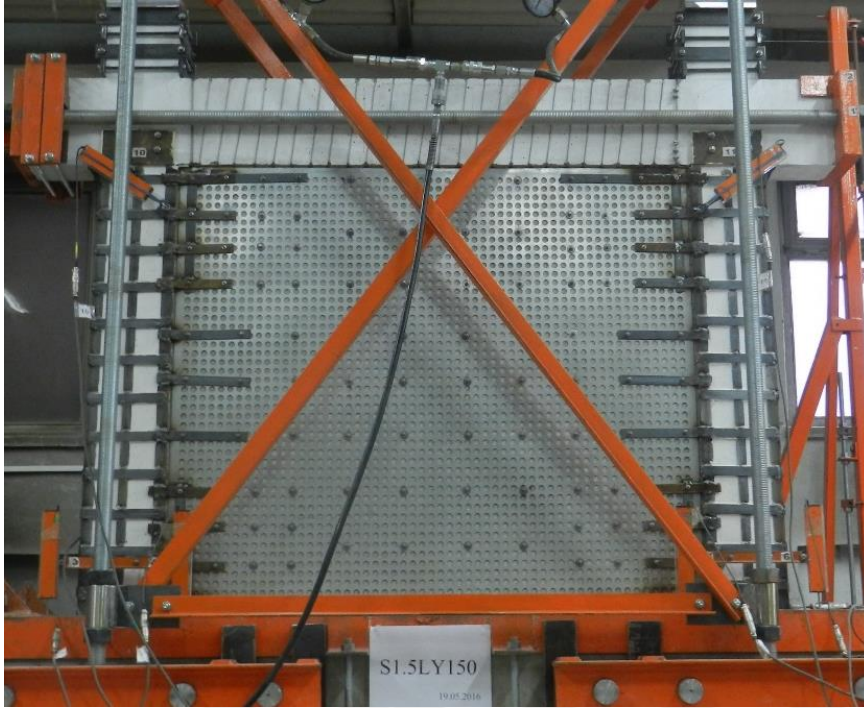
Şekil 5.21. S1.5HY200 deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi

Kolonlara uygulanan eksenel yük- yatay deplasman değişiminde ise (Şekil 5.21), deney süresince kolonlara uygulanan eksenel yükte artışın görüldüğü çevrimlerde çevrim bittiğinde deney başlangıç konumuna getirilmiş kolon eksenel yükleri başlangıç yüküne getirilerek dengeleme yapılmıştır. İleri deformasyonlarda ileri yöndeki yükleme sırasında sağ kolonda maksimum 165 kN eksenel yük değeri okunmuş ve oluşan eksenel yükün başlangıç eksenel yük değerinin yaklaşık 1,10 katı olduğu görülmüştür. S1.5HY200 elemanı davranış açısından Bölüm 7’de ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

5.11. S1.5LY150 Deneyi

Eksenel yük düzeyi	: Düşük- 75 (kN/kolon)
Delikli çelik levha kalınlığı	: 1,5 mm
Bulon aralığı	: 150 mm

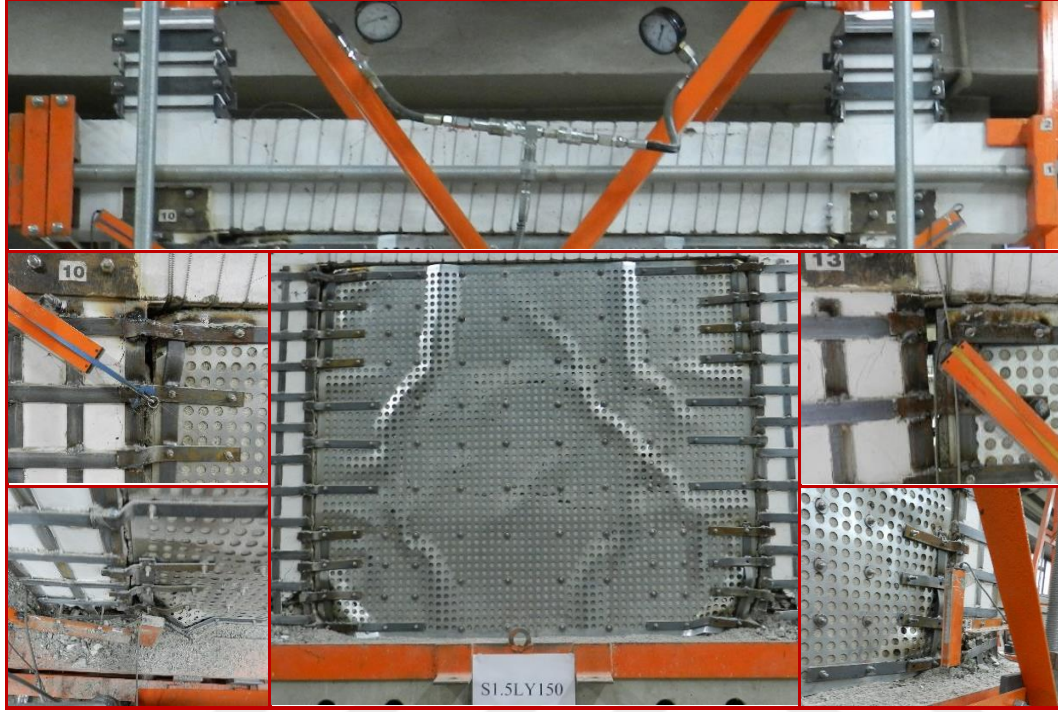
Güçlendirilmiş S1.5LY150 elemanı, betonarme çerçeve içerisinde imal edilen duvarın (ikinci referans eleman grubu) ön-arka yüzüne 1,5 mm kalınlığında delikli çelik levhaların yerleştirilmesi, bu levhaların bulonlarla birbirlerine ve lamalarla kolonlara bağlantısıyla elde edilmiştir. Levhalar, duvar orta bölgesinde 150 mm aralıklı olacak şekilde sonsuz “M6” bulonları ile duvara her iki yüzden karşılıklı bağlanmıştır. Güçlendirilmiş duvarın kolonlara bağlantısı ise duvarın ön-arka yüzünde 25×3 mm kesitli lamalarla, kenar boyunca yatay olarak her bir bulon sırasına yapılmıştır. Bu lamaların bir ucu duvarın kolonlara en yakın aynı hizadaki iki bulonuna bağlanmış, diğer ucu ise kolonlara giydirilen çelik mantonun köşebentleri üzerine alt ve üstten 30 mm uzunluğunda kaynaklanmıştır. Ayrıca duvar köşelerinde oluşacak ezilmeyi geciktirmek için “L” şeklinde çelik takviyeler duvara her iki yüzünden bulonlar ile bağlanmıştır. Önceki elemanlarda olduğu gibi temsili kolonlar ve giriş ucu çelik profiller/levhalar ve ard germeli gijonlarla sargılanmış, güçlendirilmiştir. Deneye hazır hale getirilen S1.5LY150 elemanı Resim 5.27’de gösterilmiştir.



Resim 5.27. S1.5LY150 deney elemanı

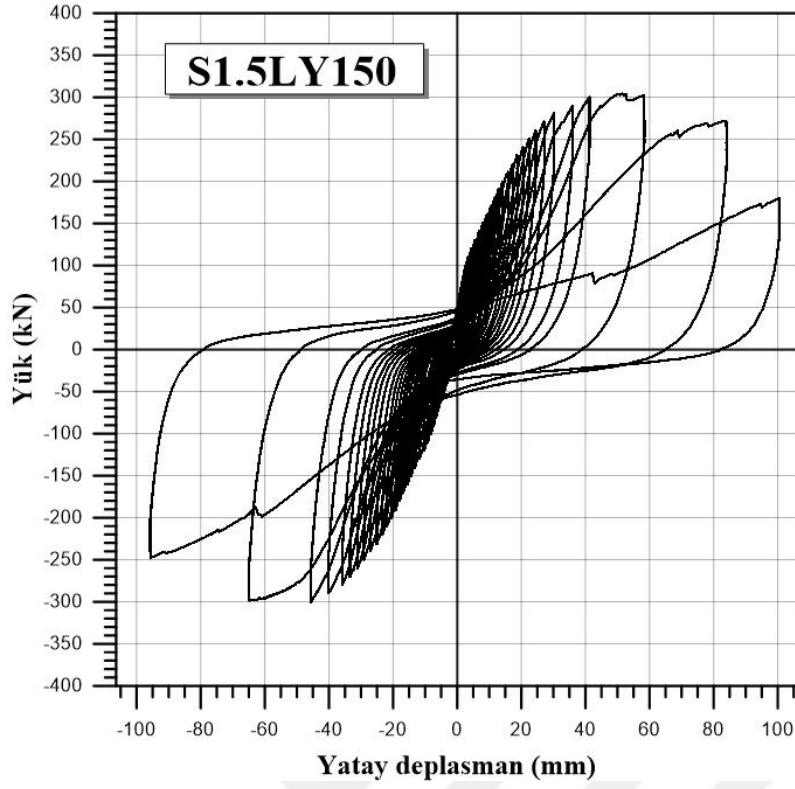
Kolonlarına düşük düzeyde eksenel yük uygulanan S1.5LY150 elemanının deneyinde, kolon alt uçlarında plastik mafsallar oluşmuş ve ağır hasar almıştır. Çelik kablo sargılanması ile kirişin kolonlara saplandığı uç bölgelerinde kesme hasarı sınırlı kalmış ve kiriş üst yüzeyindeki aderans çatlakların oluşması oldukça engellenmiştir (Resim 5.28). Sisteme uygulanan depremi benzeştiren kuvvet etkisiyle dolgu duvarda oluşan diyagonal basınç kuvvetleri sonucu delikli çelik levhalarda buruşmalar ve dolgu duvarda çeşitli düzeylerde (kılcal ve ana) çatlaklar oluşmuştur. Ancak sistemde oluşan ileri deformasyon düzeylerinde bile delikli çelik levhalar duvarın dağılmasını engelleyerek duvar bütünlüğünün korunmasını sağlamıştır. Resim 5.28’ de delikli çelik levhaların oldukça iyi sargılama yaptığı, ağır hasar alan tuğla dolgu duvarın dağılmasını engellediği ve duvarın yük taşımaya devam etmesini sağladığı görülmektedir. Deney boyunca duvar ile kolon arasındaki bağlantıların etkin şekilde çalıştığı ve aradaki ayrışma deneyin son aşamalarına kadar çok sınırlı düzeylerde (maksimum 15 mm) kalmıştır. Ancak ileri deformasyonlarda duvar köşe sıkılaştırma bulonlarında ve kolon üst ucu bağlantı lamalarında gerçekleşen kopmalardan dolayı duvar-kolon teması kısmen yitirilmiştir. Bir başka deyişle S1.5LY150 elemanında duvar ile kolonlar arası temas yüzeyi deney boyunca tam olarak yitirilmemiştir. Duvar köşelerindeki ezilmeyi engellemek için kullanılan L şeklindeki lamalar, köşelerde oluşan hasarların sınırlı düzeyde kalmasında oldukça etkili olmuştur. Kirişte uygulanan kablo güçlendirmesi ile kirişte oluşan kesme çatlağının gelişmesi sınırlanmış, betonarme çerçeve ağır hasar almasına

rağmen duvar bütünlüğünü korumuştur. Deney, yatay ölçüm cihazının kapasitesinin bitmesiyle sona erdirilmiştir (Resim 5.28).

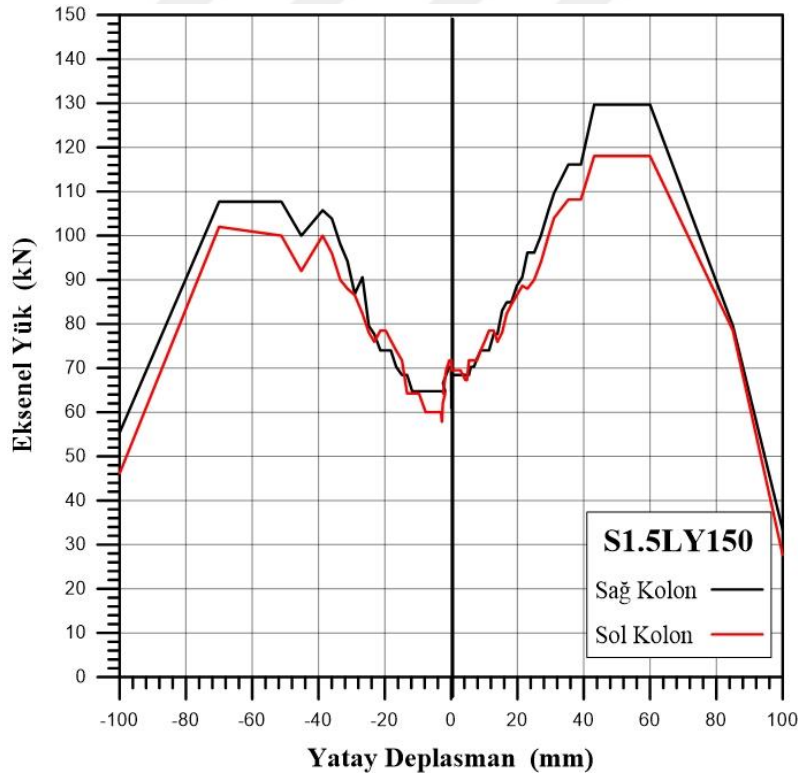


Resim 5.28. S1.5LY150 deney elemanı göçme modu

S1.5LY150 deney elemanına ait yatay yükün yatay deplasman ile değişim grafiği Şekil 5.22’de, kolon eksenel yükün de yatay deplasman değişimi ise Şekil 5.23’te verilmiştir. Deney elemanı, tuğla dolgu duvarın güçlendirilmesiyle sünek davranış sergilemiştir. Hem ileri hem de geri yönde deney elemanı 300 kN maksimum dayanıma kadar çıkabilmiştir. Ayrıca deney elemanı ileri yönde %6,5 ötelenme oranında, geride ise %6,9 ötelenme oranında dahi dayanımda önemli bir kayıp yaşanmamıştır (Şekil 5.23). Bu ötelenme oranlarından sonra dayanımda oluşan yük kaybına duvar kolon bağlantısını sağlayan lamalardan bazılarında meydana gelen kopmalar sebep olmuştur.



Şekil 5.22. S1.5LY150 deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi



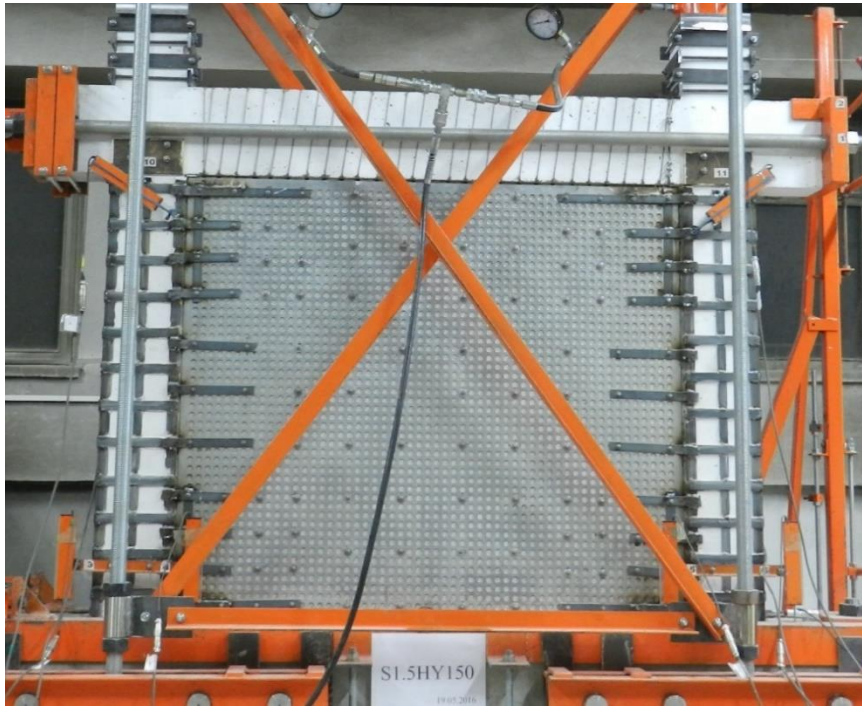
Şekil 5.23. S1.5LY200 deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi

Kolonlara uygulanan eksenel yük- yatay deplasman değişiminde ise (Şekil 5.23), deney süresince kolonlara uygulanan eksenel yükte artışın görüldüğü çevrimlerde çevrim bittiğinde deney başlangıç konumuna getirilmiş kolon eksenel yükleri başlangıç yüküne getirilerek dengeleme yapılmıştır. İleri deformasyonlarda ileri yöndeki yükleme sırasında sağ ve sol kolonlarda maksimum 130 kN eksenel yük değeri okunmuş ve oluşan eksenel yükün başlangıç eksenel yük değerinin yaklaşık 1,73 katı olduğu görülmüştür. S1.5LY150 elemanı davranış açısından Bölüm 7’de ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

5.12. S1.5HY150 Deneyi

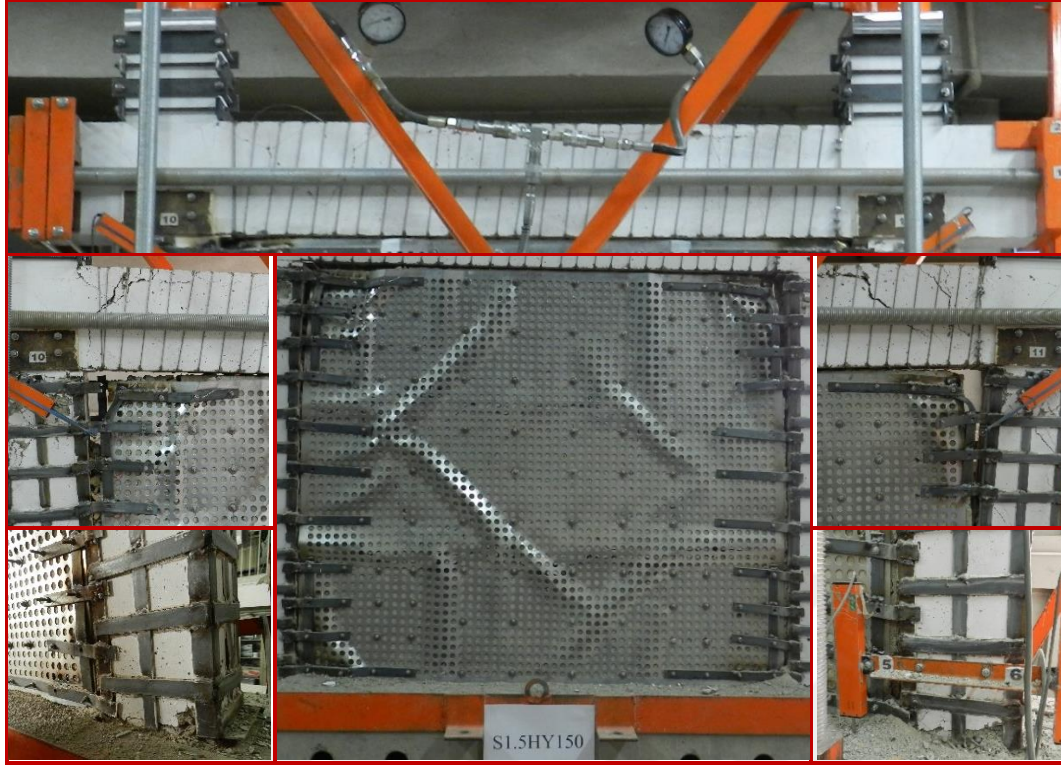
Eksenel yük düzeyi	: Yüksek- 150 (kN/kolon)
Delikli çelik levha kalınlığı	: 1,5 mm
Bulon aralığı	: 200 mm

S1.5HY150 güçlendirilmiş deney elemanı, duvar güçlendirme ve diğer bütün özellikleri S1.5LY150 elemanı ile aynı olup kolonlarına uygulanacak eksenel yük düzeyi yüksektir. Deneye hazır hale getirilen S1.5HY200 elemanı Resim 5.29’da gösterilmiştir.



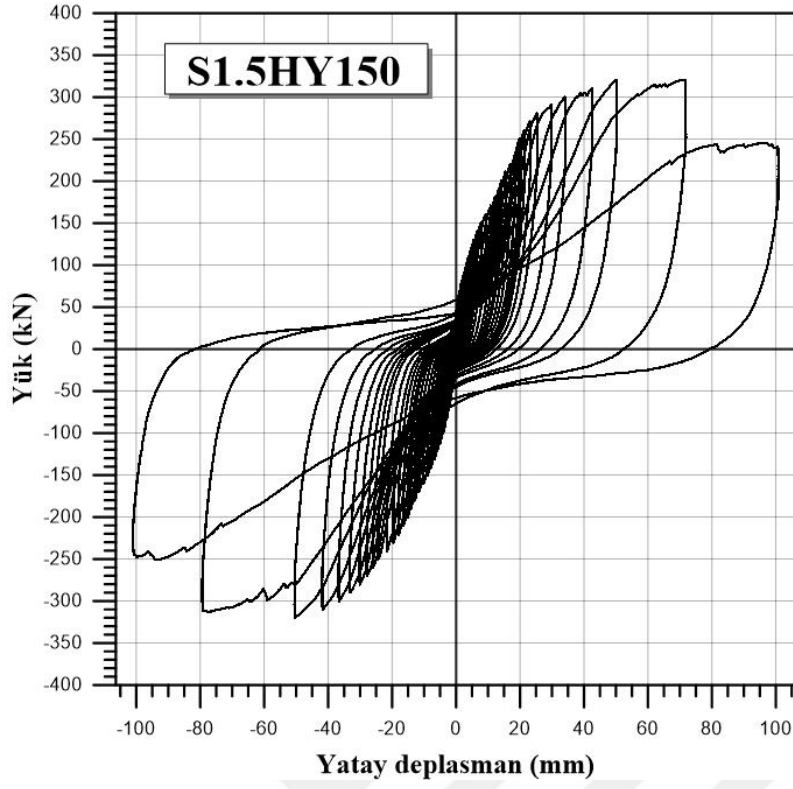
Resim 5.29. S1.5HY150 deney elemanı

Kolonlarına yüksek düzeyde eksenel yük uygulanan S1.5HY150 elemanının deneyinde, kolon alt uçlarında plastik mafsallar oluşmuş ve ağır hasar almıştır. Çelik kablo sargılanması ile kiriş uç bölgelerinde kesme hasarı sınırlı kalmış, kiriş üst kısmındaki aderans çatlakların oluşması oldukça engellenmiştir (Resim 5.30). Sisteme uygulanan depremi benzeştiren kuvvet etkisiyle dolgu duvarda oluşan diyagonal basınç kuvvetleri sonucu delikli çelik levhalarda buruşmalar ve dolgu duvarda çeşitli düzeylerde (kılcal ve ana) çatlaklar oluşmuştur. Ancak sistemde oluşan ileri deformasyon düzeylerinde bile delikli çelik levhalar tuğla dolgu duvarın dağılmasını engellemiş tuğla dolgu duvar bütünlüğünün korunmasını sağlamıştır. Deney boyunca duvar ile kolon arasındaki bağlantıların etkin şekilde çalıştığı ve aradaki ayrışmanın sınırlı düzeyde (maksimum 15-20 mm civarında) kaldığı görülmüştür. Deneyin son aşamalarına doğru ileri deformasyonlarda duvar köşe sıklaştırma bulonlarında ve kolon üst ucu bağlantı lamalarında gerçekleşen kopmalardan dolayı kolon duvar bağlantısı kısmen yitirilmiş ve ayrışma artmıştır. Bir başka deyişle S1.5HY150 elemanında duvar ile kolonlar arası temas yüzeyi deney boyunca tam olarak yitirilmemiştir. Duvar köşelerindeki ezilmeyi engellemek için kullanılan L şeklindeki lamalar, köşelerde oluşan hasarların sınırlı düzeyde kalmasında oldukça etkili olmuştur. Kirişte uygulanan güçlendirme, kirişte oluşan kesme çatlağının gelişmesini sınırlamış, kirişin kesilerek kırılmasını önlemiştir. Betonarme çerçeve ağır hasar almasına rağmen duvar bütünlüğünü korumuştur. Deney, yatay ölçüm cihazının kapasitesinin bitmesiyle sona erdirilmiştir. (Resim 5.30).

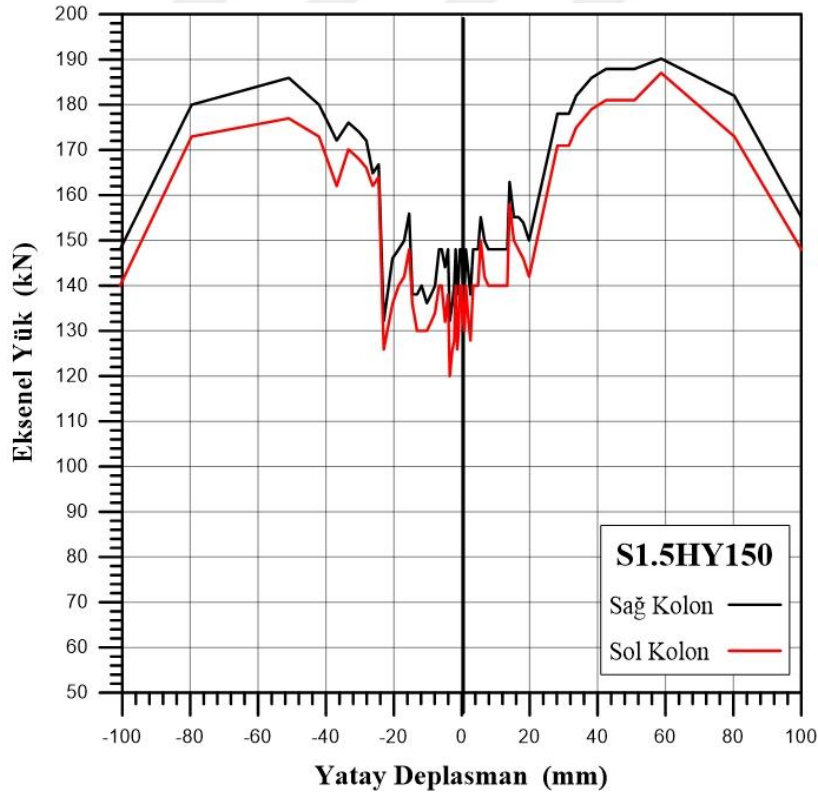


Resim 5.30. S1.5HY150 deney elemanı göçme modu

S1.5HY150 deney elemanına ait yatay yükün yatay deplasman ile değişim grafiği Şekil 5.24'te, kolon eksenel yükün de yatay deplasman değişimi ise Şekil 5.25'te verilmiştir. Hem ileri hem de geri yönde deney elemanı 320 kN maksimum dayanıma kadar çıkabilmiştir. Ayrıca deney elemanı ileri yönde %6,8 ötelenme oranında, geride ise %7,0 ötelenme oranında dahi dayanımda önemli bir kayıp yaşamamıştır (Şekil 5.24). Bu ötelenme oranlarından sonra dayanımda oluşan yük kaybına duvar kolon bağlantısını sağlayan lamalardan bazılarında meydana gelen kopmalar sebep olmuştur.



Şekil 5.24. S1.5HY150 deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi



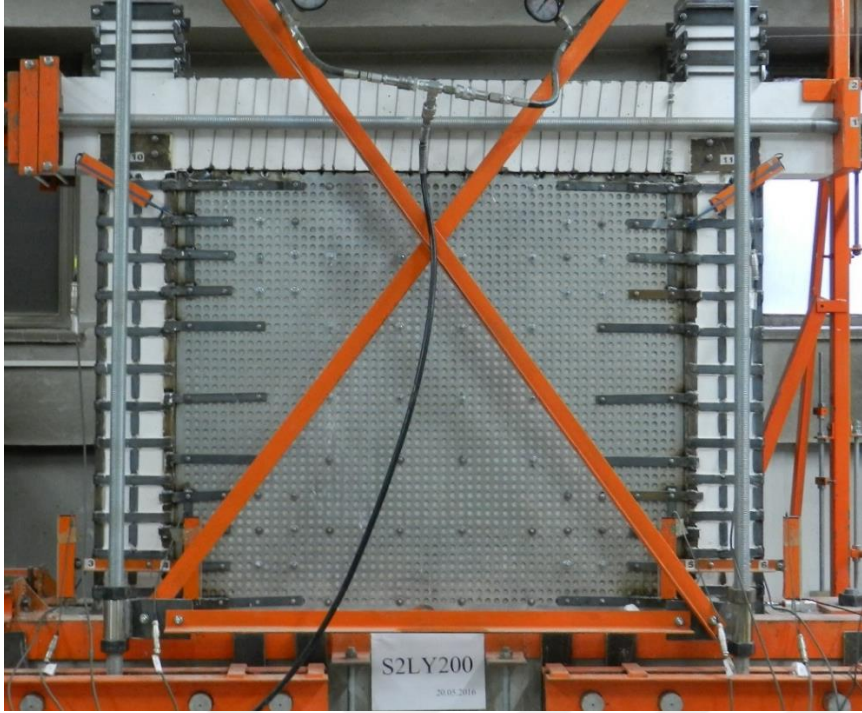
Şekil 5.25. S1.5HY150 deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi

Kolonlara uygulanan eksenel yük- yatay deplasman değişiminde ise (Şekil 5.25), deney süresince kolonlara uygulanan eksenel yükte artışın görüldüğü çevrimlerde çevrim bittiğinde deney başlangıç konumuna getirilmiş kolon eksenel yükleri başlangıç yüküne getirilerek dengeleme yapılmıştır. İleri deformasyonlarda ileri yöndeki yükleme sırasında sağ kolonda maksimum 190 kN eksenel yük değeri okunmuş ve oluşan eksenel yükün başlangıç eksenel yük değerinin yaklaşık 1,26 katı olduğu görülmüştür. S1.5HY150 elemanı davranış açısından Bölüm 7’de ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

5.13. S2LY200 Deneyi

Eksenel yük düzeyi	: Düşük- 75 (kN/kolon)
Delikli çelik levha kalınlığı	: 2,0 mm
Bulon aralığı	: 200 mm

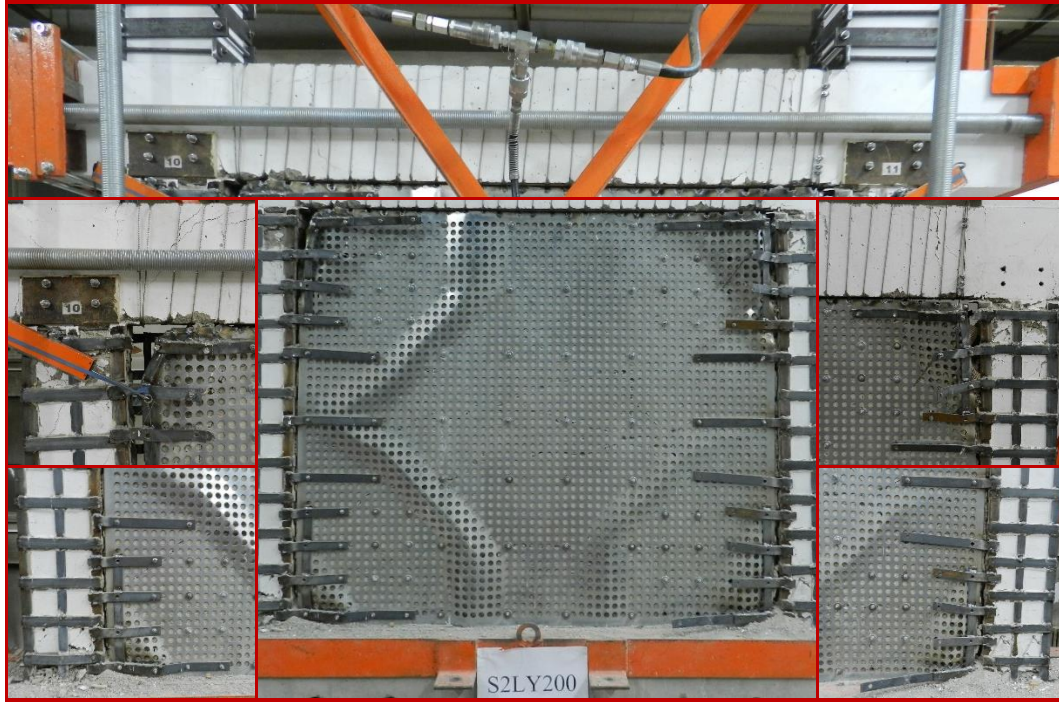
Güçlendirilmiş S2LY200 elemanı, betonarme çerçeve içerisinde imal edilen duvarın (ikinci referans eleman grubu) ön-arka yüzüne 2,0 mm kalınlığında delikli çelik levhaların yerleştirilmesi, bu levhaların bulonlarla birbirlerine ve lamalarla kolonlara bağlantısıyla elde edilmiştir. Levhalar, duvar orta bölgesinde 200 mm aralıklı olacak şekilde sonsuz “M6” bulonları ile duvara her iki yüzden karşılıklı bağlanmıştır. Güçlendirilmiş duvarın kolonlara bağlantısı ise duvarın ön-arka yüzünde 25×3 mm kesitli lamalarla, kenar boyunca yatay olarak her bir bulon sırasına yapılmıştır. Bu lamaların bir ucu duvarın kolonlara en yakın aynı hizadaki iki bulonuna bağlanmış, diğer ucu ise kolonlara giydirilen çelik mantonun köşebentleri üzerine alt ve üstten 30 mm uzunluğunda kaynaklanmıştır. Ayrıca duvar köşelerinde oluşacak ezilmeyi geciktirmek için “L” şeklinde çelik takviyeler duvara her iki yüzünden bulonlar ile bağlanmıştır. Önceki elemanlarda olduğu gibi temsili kolonlar ve giriş ucu çelik profiller/levhalar ve ard germeli gijonlarla sargılanmış, güçlendirilmiştir. Deneye hazır hale getirilen S2LY200 elemanı Resim 5.31’de gösterilmiştir.



Resim 5.31. S2LY200 deney elemanı

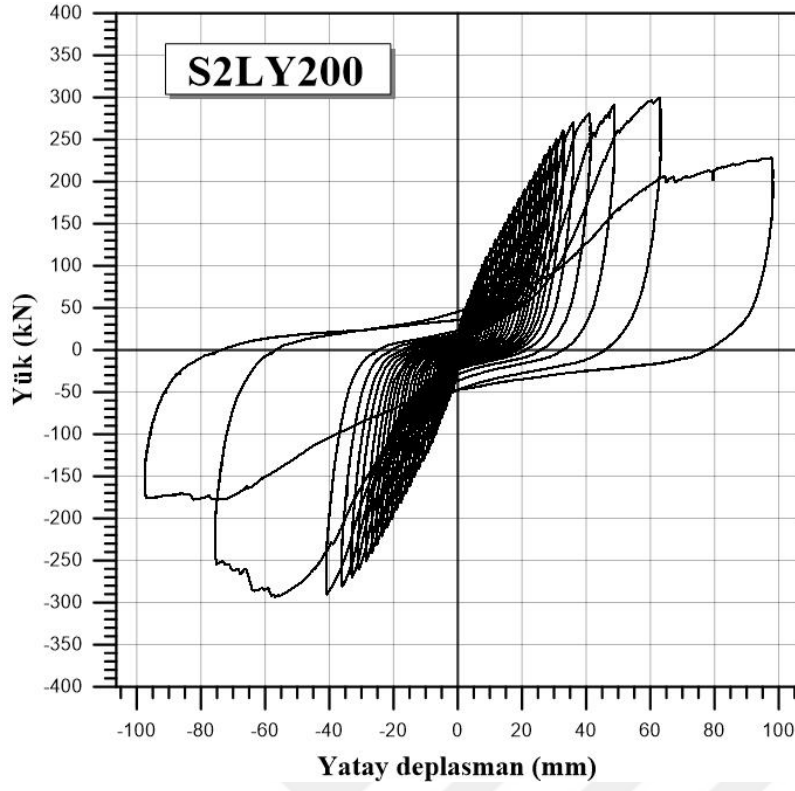
Kolonlarına düşük düzeyde eksenel yük uygulanan S2LY200 elemanının deneyinde, kolon alt uçlarında plastik mafsallar oluşmuş ve ağır hasar almıştır. Çelik kablo sargılanması ile kirişin kolonlara saplandığı uç bölgelerinde kesme hasarı sınırlı kalmış ve kiriş üst yüzeyindeki aderans çatlakların oluşması oldukça engellenmiştir (Resim 5.32). Sisteme uygulanan depremi benzeştiren kuvvet etkisiyle dolgu duvarda oluşan diyagonal basınç kuvvetleri sonucu delikli çelik levhalarda buruşmalar ve dolgu duvarda çeşitli düzeylerde (kılcal ve ana) çatlaklar oluşmuştur. Ancak sistemde oluşan ileri deformasyon düzeylerinde bile delikli çelik levhalar duvarın dağılmasını engellemiş duvar bütünlüğünün korunmasını sağlamıştır. Deney boyunca duvar ile kolon arasındaki bağlantıların etkin şekilde çalıştığı ve aradaki ayrışma deneyin son aşamalarına kadar sınırlı düzeylerde kalmıştır. Ancak ileri deformasyonlarda duvar köşe sıkılaştırma bulonlarında ve kolon üst ucu bağlantı lamalarında gerçekleşen kopmalardan dolayı kolon duvar bağlantısı kısmen yitirilmiştir. Bir başka deyişle S2LY200 elemanında duvar ile kolonlar arası temas yüzeyi deney boyunca tam olarak yitirilmemiştir. Duvar köşelerindeki ezilmeyi engellemek için kullanılan L şeklindeki lamalar, köşelerde oluşan hasarların sınırlı düzeyde kalmasında oldukça etkili olmuştur. Kirişte uygulanan kablo güçlendirmesi ile kirişte oluşan kesme çatlağının gelişmesi sınırlanmış, betonarme çerçeve ağır hasar almasına rağmen duvar bütünlüğünü korumuştur. Bu deneyde levha kalınlığının artmasıyla duvar rijitliğinin arttığı görülmüştür. Oluşan rijit

duvardan dolayı kolon-kiriş ve kolon-temel ara kesit düzlemlerinde büyük kesme gerilmeleri ve buna bağlı olarak betonarme elemanlarda nadiren görülen elemana dik kesme çatlakları oluşmuştur. Oluşan kesme çatlakları her iki kolonun kirişle birleştiği ara yüzeyde meydana gelmiş ve betonarme çerçeve ağır hasar almıştır. Deney, yükte oluşan büyük kayıp nedeniyle sona erdirilmiştir. (Resim 5.32).

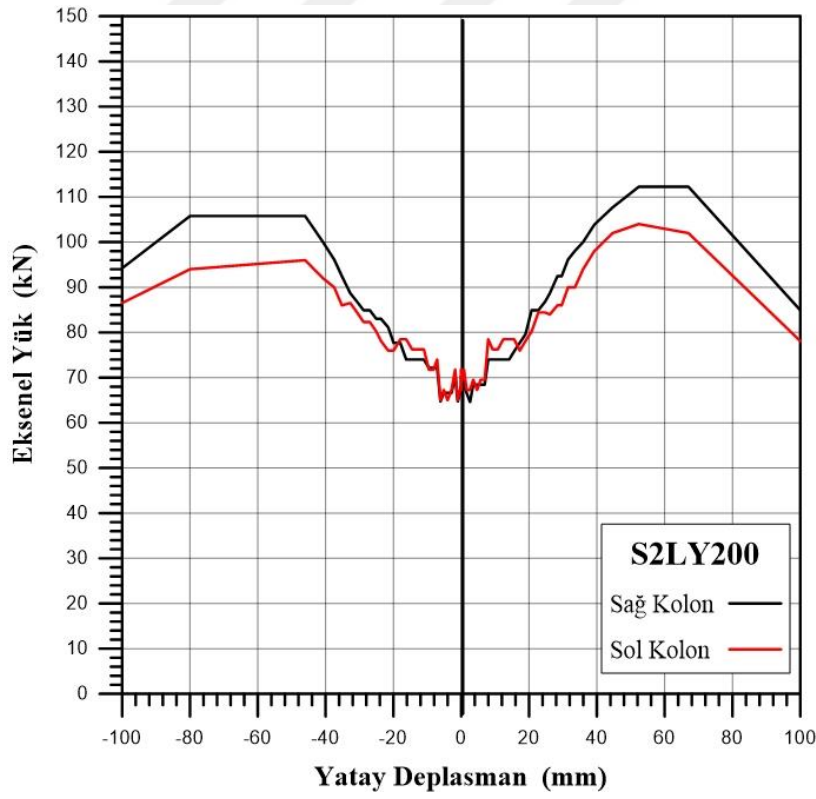


Resim 5.32. S2LY200 deney elemanı göçme modu

S2LY200 deney elemanına ait yatay yükün yatay deplasman ile değişim grafiği Şekil 5.26'da, kolon aksenal yükün de yatay deplasman değişimi ise Şekil 5.27'de verilmiştir. Deney elemanı, tuğla dolgu duvarın güçlendirilmesiyle sünek davranış sergilemiştir. İleri yönde deney elemanı 300 kN dayanıma ulaşırken geri yönde dayanım değeri 290 kN olmuştur. Ayrıca deney elemanı ileri yönde %6,4 ötelenme oranında, geride ise %5,9 ötelenme oranında dahi dayanımda önemli bir kayıp yaşanmamıştır (Şekil 5.26). Bu ötelenme oranlarından sonra meydana gelen dayanımdaki düşüş duvar kolon bağlantısını sağlayan bulonların çoğunda ve lamalardan bazılarında meydana gelen kopmalardan dolayı olmuştur. Artan levha kalınlığı ile duvar rijitliği de artmakta olup bir noktadan sonra betonarme çerçevede kolon kiriş birleşimlerini zorladığı görülmüştür. Bu nedenle levha kalınlığı konusunda bir üst limitin oluşması gerektiği kanaatine varılmıştır.



Şekil 5.26. S2LY200 deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi



Şekil 5.27. S2LY200 deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi

Kolonlara uygulanan eksenel yük- yatay deplasman değişiminde ise (Şekil 5.27), deney süresince kolonlara uygulanan eksenel yükte artışın görüldüğü çevrimlerde çevrim bittiğinde deney başlangıç konumuna getirilmiş kolon eksenel yükleri başlangıç yüküne getirilerek dengeleme yapılmıştır. İleri deformasyonlarda ileri yöndeki yükleme sırasında sol kolonda maksimum 113 kN eksenel yük değeri okunmuş ve oluşan eksenel yükün başlangıç eksenel yük değerinin yaklaşık 1,50 katı olduğu görülmüştür. S2LY200 elemanı davranış açısından Bölüm 7’de ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

5.14. S2HY200 Deneyi

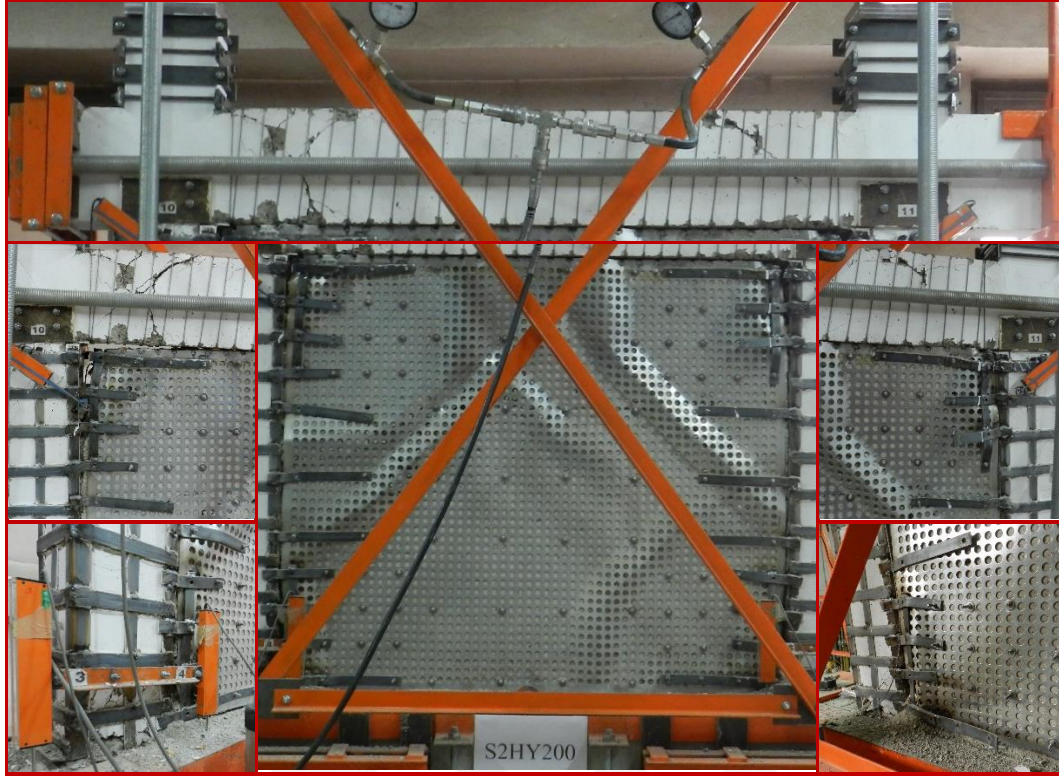
Eksenel yük düzeyi	: Yüksek- 150 (kN/kolon)
Delikli çelik levha kalınlığı	: 2,0 mm
Bulon aralığı	: 200 mm

S2HY200 güçlendirilmiş deney elemanı, duvar güçlendirme ve diğer bütün özellikleri S2LY200 elemanı ile aynı olup kolonlarına uygulanacak eksenel yük düzeyi yüksektir. Deneye hazır hale getirilen S2HY200 elemanı Resim 5.33’te gösterilmiştir.



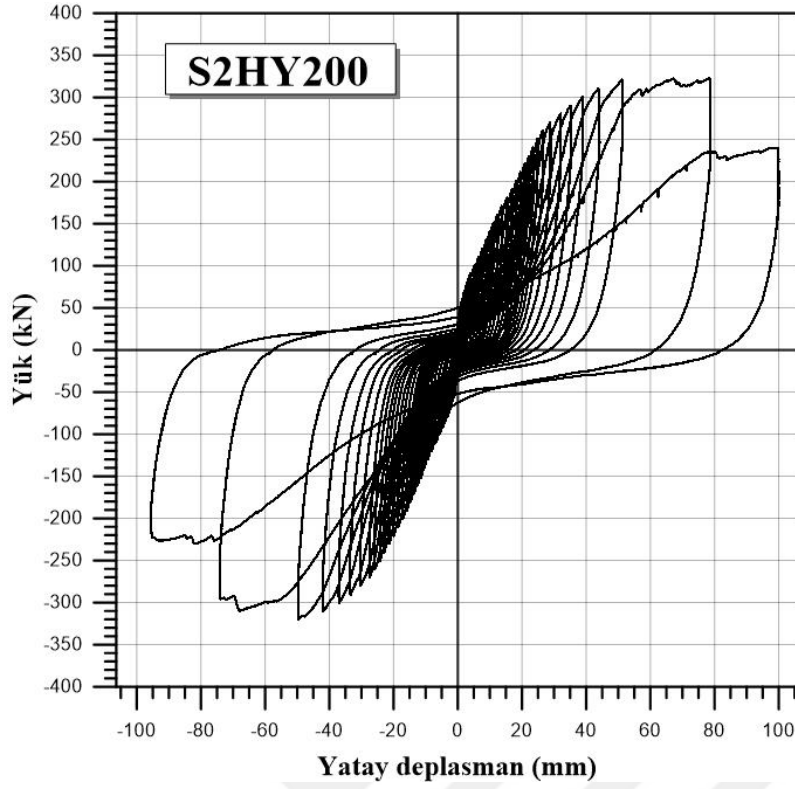
Resim 5.33. S2HY200 deney elemanı

Kolonlarına yüksek düzeyde eksenel yük uygulanan S2HY200 elemanının deneyinde, kolon alt uçlarında plastik mafsallar oluşmuş ve ağır hasar almıştır. Çelik kablo sargılanması ile kirişin kolonlara saplandığı uç bölgelerinde kesme hasarı sınırlı kalmış ve kiriş üst yüzeyindeki aderans çatlakların oluşması oldukça engellenmiştir (Resim 5.34). Sisteme uygulanan depremi benzeştiren kuvvet etkisiyle dolgu duvarda oluşan diyagonal basınç kuvvetleri sonucu delikli çelik levhalarda buruşmalar ve dolgu duvarda çeşitli düzeylerde (kılcal ve ana) çatlaklar oluşmuştur. Ancak sistemde oluşan ileri deformasyon düzeylerinde bile delikli çelik levhalar duvarın dağılmasını engelleyerek duvar bütünlüğünün korunmasını sağlamıştır. Resim 5.34’ de delikli çelik levhaların oldukça iyi sargılama yaptığı, ağır hasar alan tuğla dolgu duvarın dağılmasını engellediği ve duvarın yük taşımaya devam etmesini sağladığı görülmektedir. Deney boyunca duvar ile kolon arasındaki bağlantıların etkin şekilde çalıştığı ve aradaki ayrışma deneyin son aşamalarına kadar çok sınırlı düzeylerde (maksimum 30 mm) kalmıştır. Ancak ileri deformasyonlarda duvar köşe sıkılaştırma bulonlarında ve kolon üst ucu bağlantı lamalarında gerçekleşen kopmalardan dolayı kolon duvar bağlantısı kısmen yitirilmiştir. Bir başka deyişle S2HY200 elemanında duvar ile kolonlar arası temas yüzeyi deney boyunca tam olarak yitirilmemiştir. Bu deneyde de levha kalınlığının artmasıyla duvar rijitliğinin arttığı görülmüştür. Oluşan rijit duvardan dolayı kolon-kiriş ara kesit yüzeyinde ve kolon-temel ara kesit düzleminde büyük kesme gerilmeleri oluşmuştur. Büyük kesme gerilmeleri S2LY200 elemanında olduğu gibi S2HY200 elemanında da bu yüzeylerde yatay kesme çatlak ve hasarlarına neden olmuştur. Duvar köşelerindeki ezilmeyi engellemek için kullanılan L şeklindeki lamalar, köşelerde oluşan hasarların sınırlı düzeyde kalmasında oldukça etkili olmuştur. Kirişte uygulanan kablo güçlendirmesi ile kirişte oluşan kesme çatlağının gelişmesi sınırlanmış, betonarme çerçeve ağır hasar almasına rağmen duvar bütünlüğünü korumuştur. Deney, yükte oluşan büyük kayıp nedeniyle sona erdirilmiştir. (Resim 5.34).

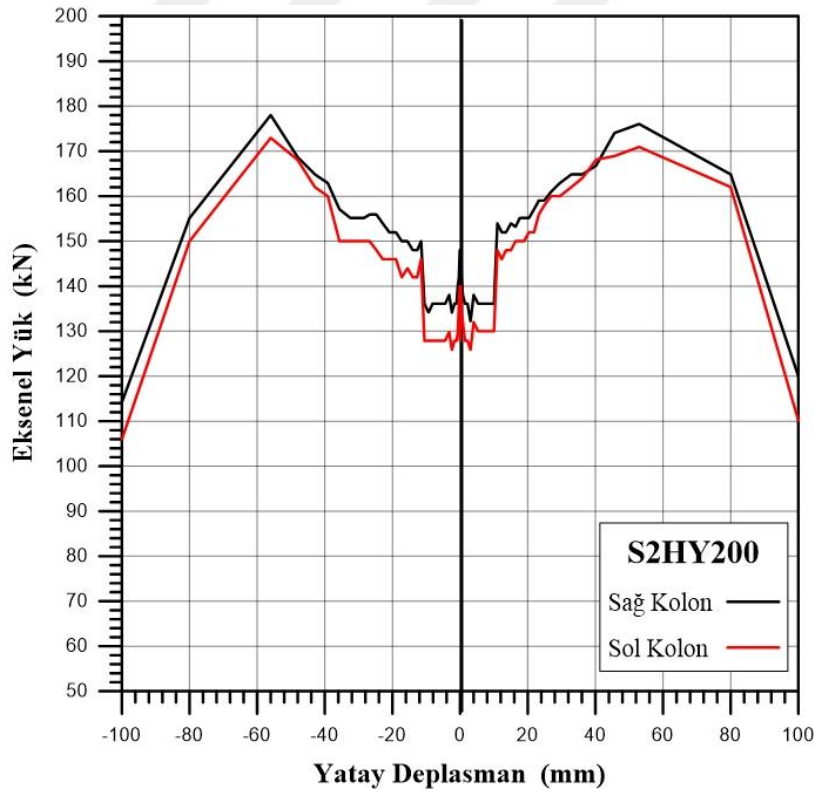


Resim 5.34. S2HY200 deney elemanı göçme modu

S2HY200 deney elemanına ait yatay yükün yatay deplasman ile değişim grafiği Şekil 5.28’de, kolon eksenel yükün de yatay deplasman değişimi ise Şekil 5.29’da verilmiştir. Deney elemanı, tuğla dolgu duvarın güçlendirilmesiyle sünek davranış sergilemiştir. İleri yönde deney elemanı 322 kN dayanıma ulaşırken geri yönde dayanım değeri 320 kN olmuştur. Ayrıca deney elemanı ileri yönde %6,8 ötelenme oranında, geride ise %6,2 ötelenme oranında dahi dayanımda önemli bir kayıp yaşanmamıştır (Şekil 5.28). Bu ötelenme oranları sonrasında dayanımda oluşan yük kaybına duvar kolon bağlantısını sağlayan bulonların çoğunda ve lamalardan bazılarında meydana gelen kopmalar sebep olmuştur. Artan levha kalınlığı ile duvar rijitliği de artmakta olup betonarme çerçevede kolon kiriş birleşimlerinin zorlandığı görülmüştür.



Şekil 5.28. S2HY200 deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi



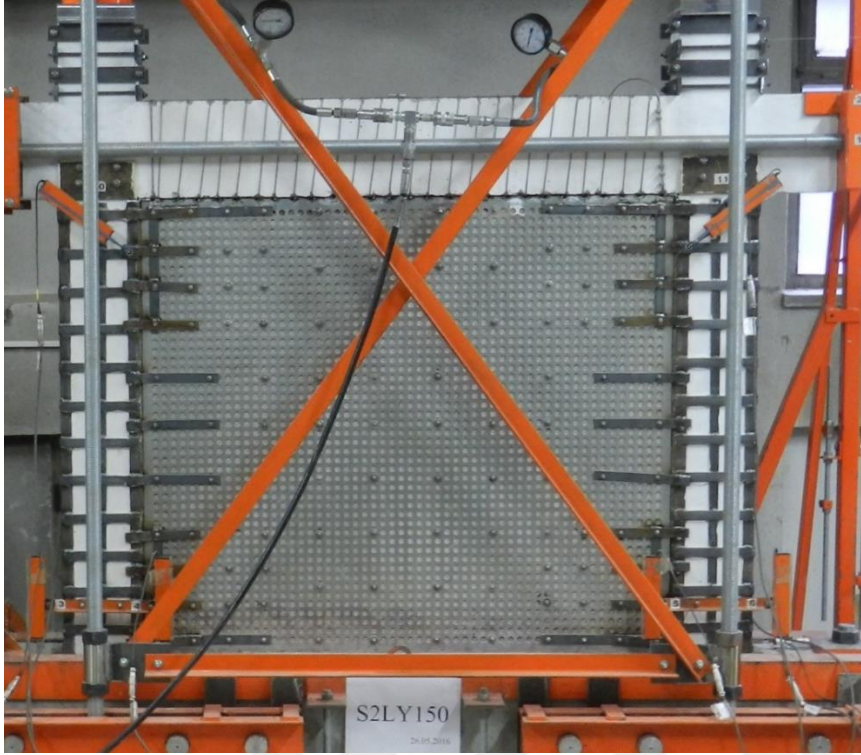
Şekil 5.29. S2HY200 deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi

Kolonlara uygulanan eksenel yük- yatay deplasman değişiminde ise (Şekil 5.29), deney süresince kolonlara uygulanan eksenel yükte artışın görüldüğü çevrimlerde çevrim bittiğinde deney başlangıç konumuna getirilmiş kolon eksenel yükleri başlangıç yüküne getirilerek dengeleme yapılmıştır. İleri deformasyonlarda geri yöndeki yükleme sırasında sağ kolonda maksimum 178 kN eksenel yük değeri okunmuş ve oluşan eksenel yükün başlangıç eksenel yük değerinin yaklaşık 1,19 katı olduğu görülmüştür. S2HY200 elemanı davranış açısından Bölüm 7’de ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

5.15. S2LY150 Deneyi

Eksenel yük düzeyi	: Düşük- 75 (kN/kolon)
Delikli çelik levha kalınlığı	: 2,0 mm
Bulon aralığı	: 150 mm

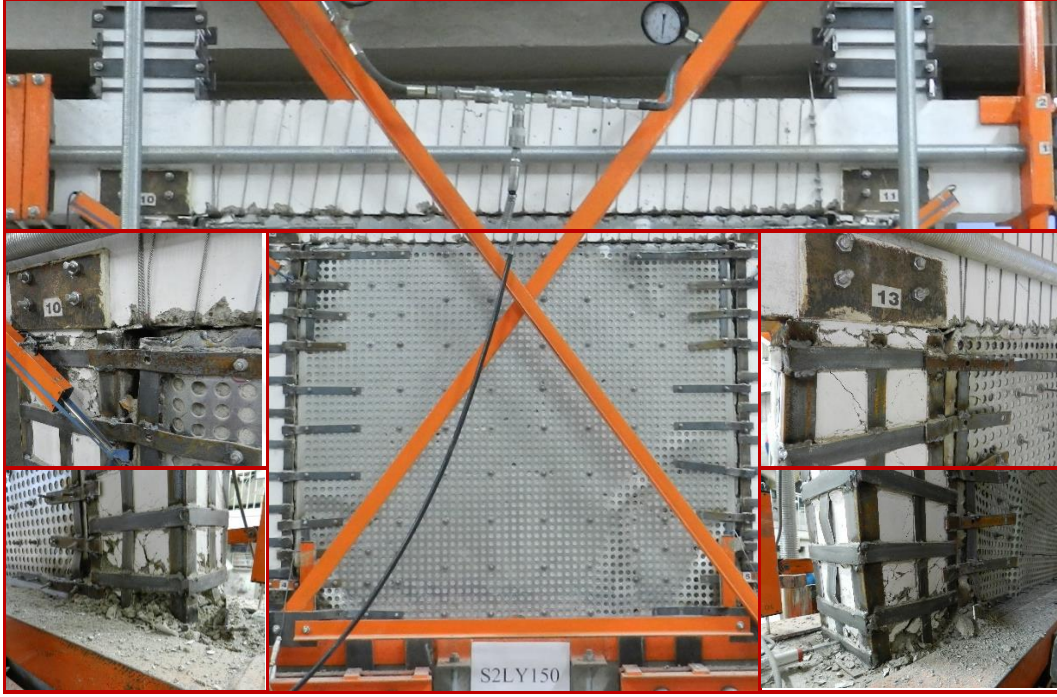
Güçlendirilmiş S2LY150 elemanı, betonarme çerçeve içerisinde imal edilen duvarın (ikinci referans eleman grubu) ön-arka yüzüne 2,0 mm kalınlığındaki delikli çelik levhaların yerleştirilmesi, bu levhaların bulonlarla birbirlerine ve lamalarla kolonlara bağlantısıyla elde edilmiştir. Levhalar, duvar orta bölgesinde 150 mm aralıklı olacak şekilde sonsuz “M6” bulonları ile duvara her iki yüzden karşılıklı bağlanmıştır. Güçlendirilmiş duvarın kolonlara bağlantısı ise duvarın ön-arka yüzünde 25×3 mm kesitli lamalarla, kenar boyunca yatay olarak her bir bulon sırasına yapılmıştır. Bu lamaların bir ucu duvarın kolonlara en yakın aynı hizadaki iki bulonuna bağlanmış, diğer ucu ise kolonlara giydirilen çelik mantonun köşebentleri üzerine alt ve üstten 30 mm uzunluğunda kaynaklanmıştır. Ayrıca duvar köşelerinde oluşacak ezilmeyi geciktirmek için “L” şeklinde çelik takviyeler duvara her iki yüzünden bulonlar ile bağlanmıştır. Önceki elemanlarda olduğu gibi temsili kolonlar ve giriş ucu çelik profiller/levhalar ve ard germeli gijonlarla sargılanmış, güçlendirilmiştir. Deneye hazır hale getirilen S2LY150 elemanı Resim 5.35’te gösterilmiştir.



Resim 5.35. S2LY150 deney elemanı

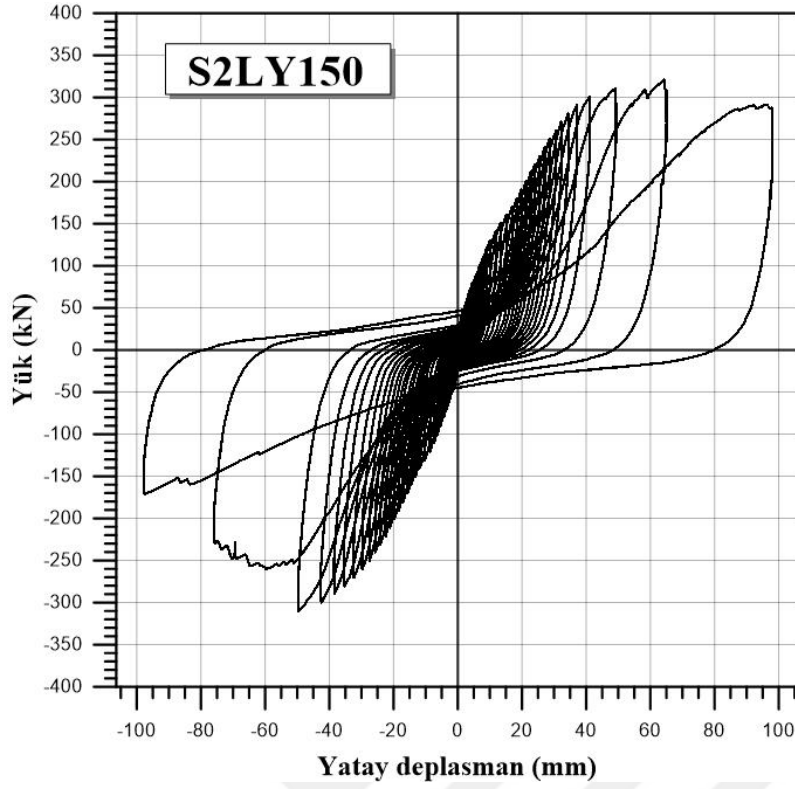
Kolonlarına düşük düzeyde eksenel yük uygulanan S2LY150 elemanının deneyinde, kolon alt uçlarında plastik mafsallar oluşmuş ve ağır hasar almıştır. Çelik kablo sargılanması ile kirişin kolonlara saplandığı uç bölgelerinde kesme hasarı sınırlı kalmış ve kiriş üst yüzeyindeki aderans çatlakların oluşması oldukça engellenmiştir (Resim 5.36). Sisteme uygulanan depremi benzeştiren kuvvet etkisiyle dolgu duvarda oluşan diyagonal basınç kuvvetleri sonucu delikli çelik levhalarda buruşmalar ve dolgu duvarda çeşitli düzeylerde (kılcal ve ana) çatlaklar oluşmuştur. Ancak sistemde oluşan ileri deformasyon düzeylerinde bile delikli çelik levhalar tuğla dolgu duvarın dağılmasını engellemiş tuğla dolgu duvar bütünlüğünün korunmasını sağlamıştır. Deney boyunca duvar ile kolon arasındaki bağlantıların etkin şekilde çalıştığı ve aradaki ayrışma deneyin son aşamalarına kadar sınırlı düzeylerde kalmıştır. Ancak ileri deformasyonlarda duvar köşe sıkılaştırma bulonlarında ve kolon üst ucu bağlantı lamalarında gerçekleşen kopmalardan dolayı kolon duvar bağlantısı kısmen yitirilmiştir. Bir başka deyişle S2LY150 elemanında duvar ile kolonlar arası temas yüzeyi deney boyunca tam olarak yitirilmemiştir. Duvar köşelerindeki ezilmeyi engellemek için kullanılan L şeklindeki lamalar, köşelerde oluşan hasarların sınırlı düzeyde kalmasında oldukça etkili olmuştur. Kirişte uygulanan kablo güçlendirmesi ile kirişte oluşan kesme çatlaklarının gelişmesi sınırlanmış, kirişin kesilerek kırılmasını önlemiştir. Bu deneyde levha kalınlığının artmasıyla duvar rijitliğinin arttığı görülmüştür. Oluşan rijit duvardan dolayı

kolon-kiriş ara kesit yüzeyinde ve kolon-temel ara kesit düzleminde büyük kesme gerilmeleri oluşmuştur. Büyük kesme gerilmeleri S2LY200 ve S2HY200 elemanlarında olduğu gibi S2LY150 elemanında da bu yüzeylerde yatay kesme çatlaklarına neden olmuştur. Betonarme çerçeve ağır hasar almasına rağmen duvar bütünlüğünü korumuştur. Deney, yatay ölçüm cihazının kapasitesinin bitmesiyle sona erdirilmiştir. (Resim 5.36).

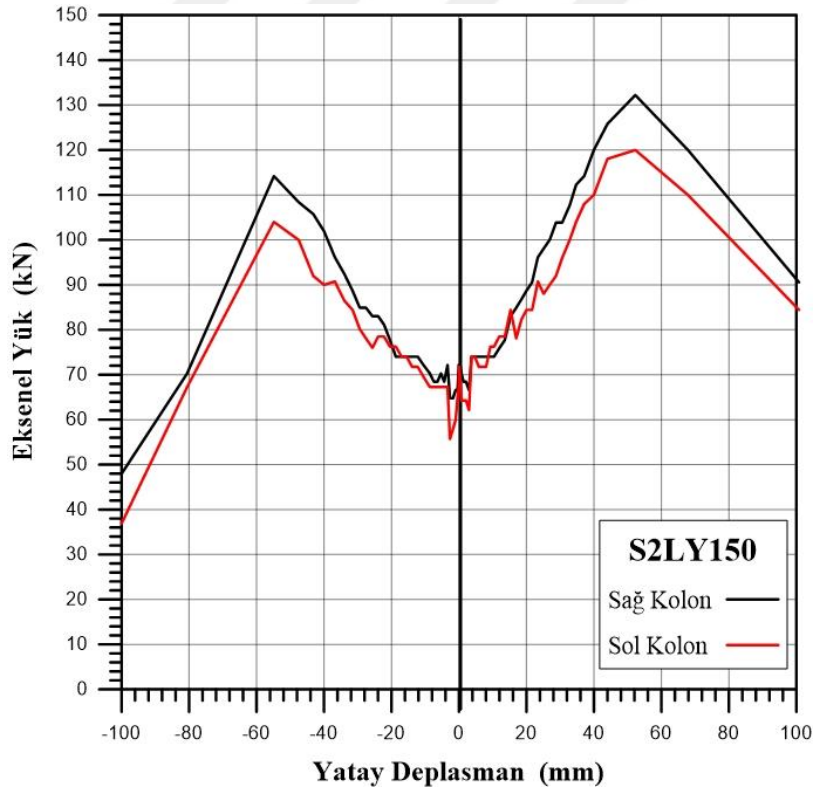


Resim 5.36. S2LY150 deney elemanı göçme modu

S2LY150 deney elemanına ait yatay yükün yatay deplasman ile değişim grafiği Şekil 5.30'da, kolon eksenel yükün de yatay deplasman değişimi ise Şekil 5.31'de verilmiştir. Deney elemanı, tuğla dolgu duvarın güçlendirilmesiyle sünek davranış sergilemiştir. İleri yönde deney elemanı 320 kN dayanıma ulaşırken geri yönde dayanım değeri 310 kN olmuştur. Ayrıca deney elemanı ileri yönde %7,5 ötelenme oranında, geride ise %4,9 ötelenme oranında bile dayanımda önemli kayıp yaşanmamıştır (Şekil 5.30). Bu ötelenme oranları sonrasında dayanımda oluşan yük kaybına duvar kolon bağlantısını sağlayan bulonların çoğunda ve lamalardan bazılarında meydana gelen kopmalar sebep olmuştur. Artan levha kalınlığı ile duvar rijitliği de artmakta olup betonarme çerçevede kolon kiriş birleşimlerinin zorlandığı görülmüştür.



Şekil 5.30. S2LY150 deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi



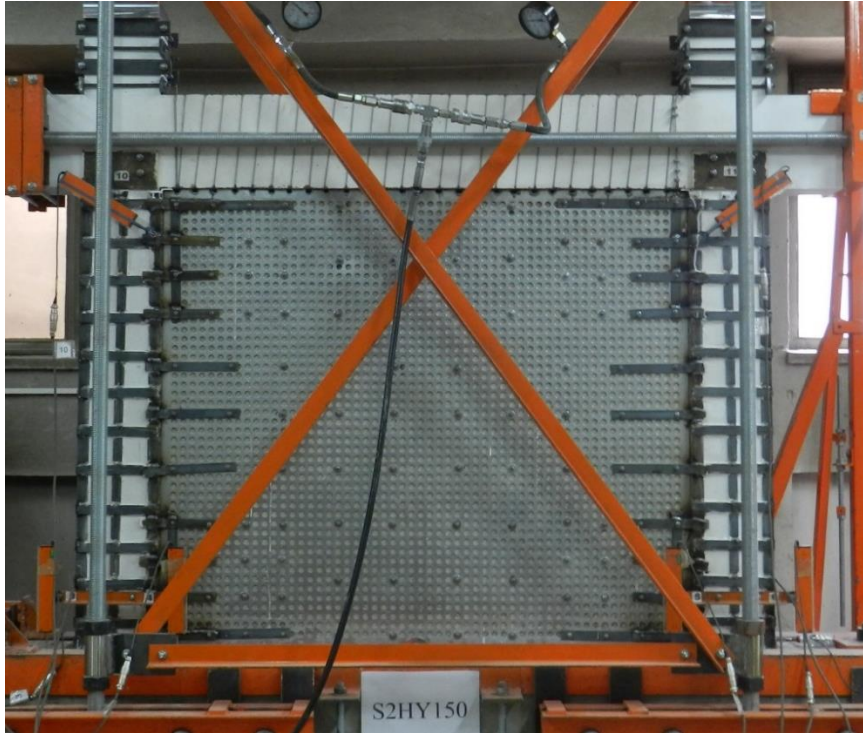
Şekil 5.31. S2LY150 deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi

Kolonlara uygulanan eksenel yük- yatay deplasman değişiminde ise (Şekil 5.31), deney süresince kolonlara uygulanan eksenel yükte artışın görüldüğü çevrimlerde çevrim bittiğinde deney başlangıç konumuna getirilmiş kolon eksenel yükleri başlangıç yüküne getirilerek dengeleme yapılmıştır. İleri deformasyonlarda ileri yöndeki yükleme sırasında sağ kolonda maksimum 132 kN eksenel yük değeri okunmuş ve oluşan eksenel yükün başlangıç eksenel yük değerinin yaklaşık 1,76 katı olduğu görülmüştür. S2LY150 elemanı davranış açısından Bölüm 7’de ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

5.16. S2HY150 Deneyi

Eksenel yük düzeyi	: Yüksek- 150 (kN/kolon)
Delikli çelik levha kalınlığı	: 2,0 mm
Bulon aralığı	: 150 mm

S2HY150 güçlendirilmiş deney elemanı, duvar güçlendirme ve diğer bütün özellikleri S2LY150 elemanı ile aynı olup kolonlarına uygulanacak eksenel yük düzeyi yüksektir. Deneye hazır hale getirilen S2HY150 elemanı Resim 5.37’de gösterilmiştir.



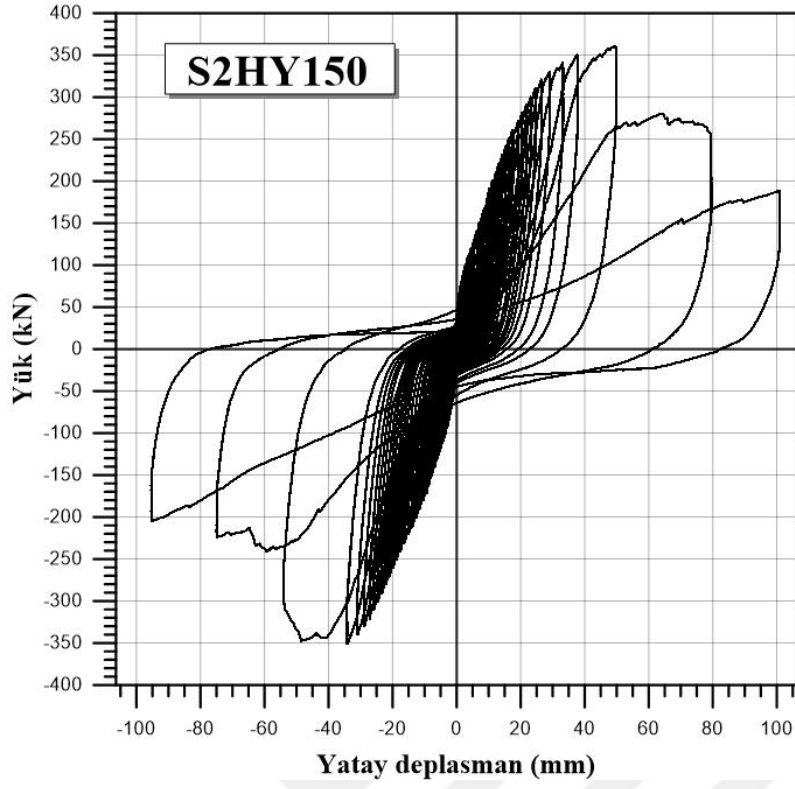
Resim 5.37. S2HY150 deney elemanı

Kolonlarına düşük düzeyde eksenel yük uygulanan S2HY150 elemanının deneyinde, kolon alt uçlarında plastik mafsallar oluşmuş ve ağır hasar almıştır. Çelik kablo sargılanması ile kirişin kolonlara saplandığı uç bölgelerinde kesme hasarı sınırlı kalmış ve kiriş üst yüzeyindeki aderans çatlakların oluşması oldukça engellenmiştir (Resim 5.38). Sisteme uygulanan depremi benzeştiren kuvvet etkisiyle dolgu duvarda oluşan diyagonal basınç kuvvetleri sonucu delikli çelik levhalarda buruşmalar ve dolgu duvarda çeşitli düzeylerde (kılcal ve ana) çatlaklar oluşmuştur. Ancak sistemde oluşan ileri deformasyon düzeylerinde bile delikli çelik levhalar tuğla dolgu duvarın dağılmasını engellemiş tuğla dolgu duvar bütünlüğünün korunmasını sağlamıştır. Deney boyunca duvar ile kolon arasındaki bağlantıların etkin şekilde çalıştığı ve aradaki ayrışma deneyin son aşamalarına kadar sınırlı düzeylerde kalmıştır. Ancak ileri deformasyonlarda duvar köşe sıkılaştırma bulonlarında ve kolon üst ucu bağlantı lamalarında gerçekleşen kopmalardan dolayı kolon duvar bağlantısı kısmen yitirilmiştir. Bir başka deyişle S2HY150 elemanında duvar ile kolonlar arası temas yüzeyi deney boyunca tam olarak yitirilmemiştir. Duvar köşelerindeki ezilmeyi engellemek için kullanılan L şeklindeki lamalar, köşelerde oluşan hasarların sınırlı düzeyde kalmasında oldukça etkili olmuştur. Kirişte uygulanan kablo güçlendirmesi ile kirişte oluşan kesme çatlaklarının gelişmesi sınırlanmış, kirişin kesilerek kırılmasını önlemiştir. Bu deneyde de levha kalınlığının artmasıyla duvar rijitliğinin arttığı görülmüştür. Oluşan rijit duvardan dolayı kolon-kiriş ara kesit yüzeyinde ve kolon-temel ara kesit düzleminde büyük kesme gerilmeleri oluşmuştur. Büyük kesme gerilmeleri S2LY200, S2HY200 ve S2LY150 elemanlarında olduğu gibi S2HY150 elemanında da bu yüzeylerde yatay kesme hasarlarına neden olmuştur. Oluşan kesme kırılması her iki kolonun kirişle birleştiği ara yüzeyde meydana gelmiş ve betonarme çerçeve ağır hasar almasına rağmen duvar bütünlüğünü korumuştur. Deney, yükte büyük kayıp olması nedeniyle sona erdirilmiştir. (Resim 5.38).

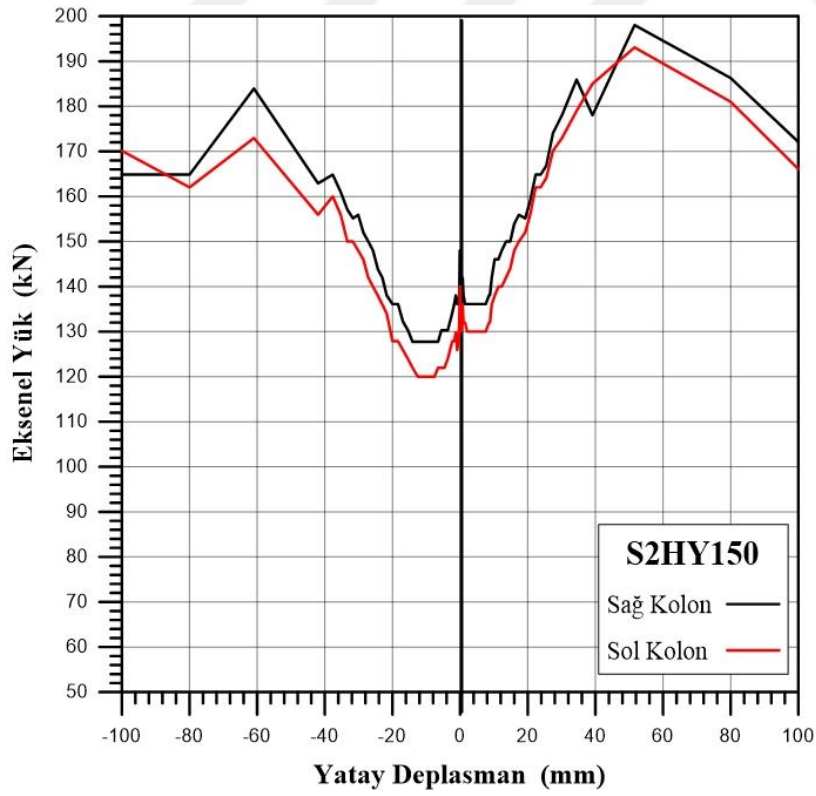


Resim 5.38. S2HY150 deney elemanı göçme modu

S2HY150 deney elemanına ait yatay yükün yatay deplasman ile değişim grafiği Şekil 5.32’de, kolon eksenel yükün de yatay deplasman değişimi ise Şekil 5.33’te verilmiştir. Deney elemanı, tuğla dolgu duvarın güçlendirilmesiyle sünek davranış sergilemiştir. İleri yönde deney elemanı 360 kN dayanıma ulaşırken geri yönde dayanım değeri 350 kN olmuştur. Ayrıca deney elemanı ileri yönde %5,0 ötelenme oranında, geride ise %4,4 ötelenme oranında dahi dayanımda önemli bir kayıp yaşanmamıştır (Şekil 5.32). Bu ötelenme oranları sonrasında dayanımda oluşan yük kaybına duvar kolon bağlantısını sağlayan bulonların çoğunda ve lamalardan bazılarında meydana gelen kopmalar sebep olmuştur. Artan levha kalınlığı ile duvar rijitliği de artmakta olup oluşan rijit duvarın betonarme çerçevedeki kolon kiriş birleşimlerini kesme davranışına zorladığı görülmüştür.



Şekil 5.32. S2HY150 deney elemanı yük-yatay deplasman ilişkisi



Şekil 5.33. S2HY150 deney elemanı eksenel yük-yatay deplasman ilişkisi

Kolonlara uygulanan eksenel yük- yatay deplasman değişiminde ise (Şekil 5.33), deney süresince kolonlara uygulanan eksenel yükte artışın görüldüğü çevrimlerde çevrim bittiğinde deney başlangıç konumuna getirilmiş kolon eksenel yükleri başlangıç yüküne getirilerek dengeleme yapılmıştır. İleri deformasyonlarda ileri yöndeki yükleme sırasında sağ kolonda maksimum 198 kN eksenel yük değeri okunmuş ve oluşan eksenel yükün başlangıç eksenel yük değerinin yaklaşık 1,32 katı olduğu görülmüştür. S2HY150 elemanı davranış açısından Bölüm 7’de ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

5.17. DeneySEL Süreç Özeti

Referans elemanlardan önce test edilen güçlendirilmiş S1LY200 elemanının deneyinde, duvar güçlendirme yönteminin başarılı olabilmesi için sistemde güçlendirilmiş kolon karşısında zayıf düşen kirişte ortaya çıkan kesme kırılması sonucu kirişin güçlendirilme ihtiyacı doğmuştur. Yapılan güçlendirme işlemi için kullanılan malzeme ve yöntem detayları Bölüm 4.3’te verilmiştir.

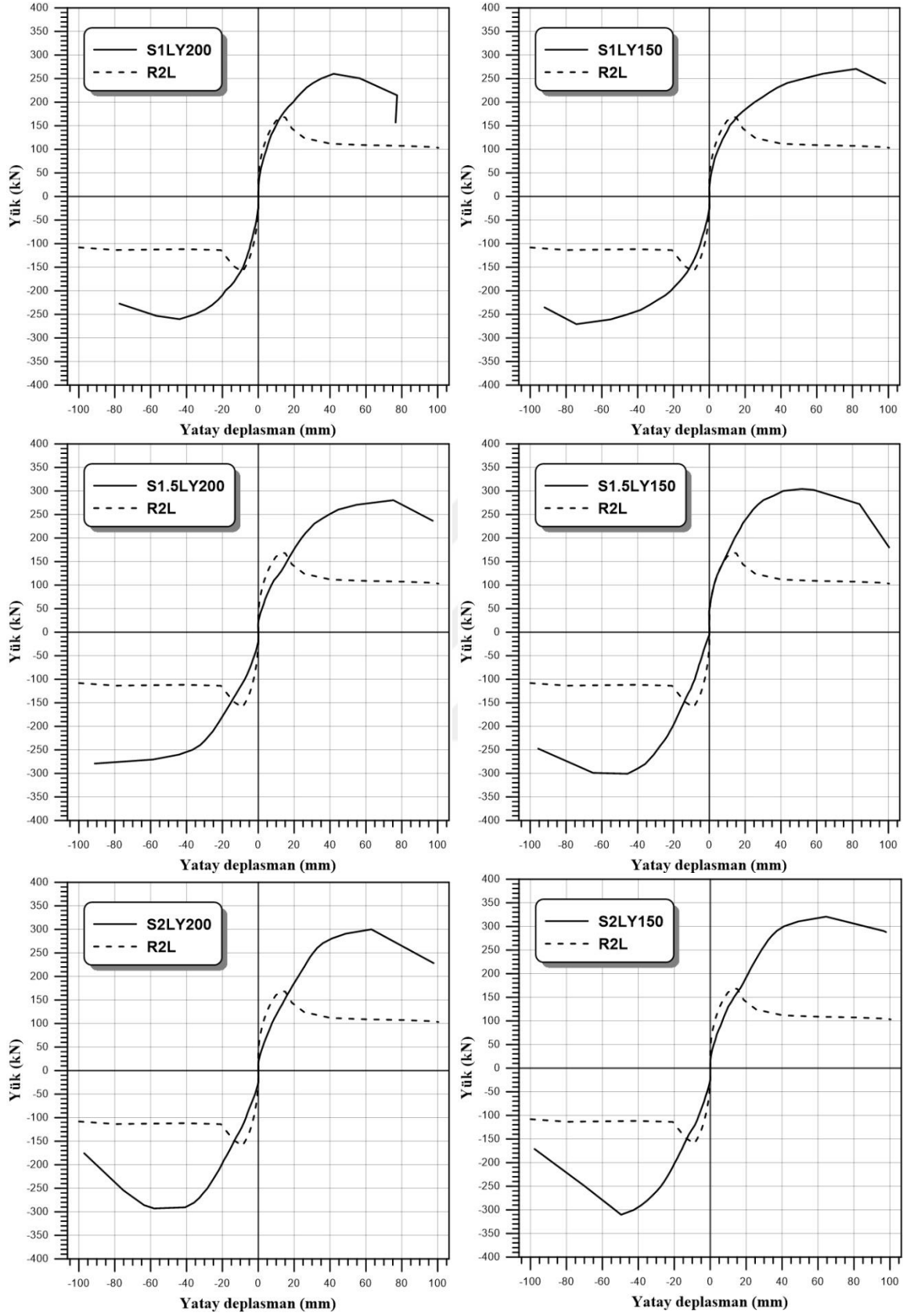
Ayrıca S1LY200 elemanının deneyinde, depremi benzeştiren yatay yükün etkidiği temsili kiriş ucunda ve eksenel yükün uygulandığı kolon başlarında yetersiz etriye sargılaması ve elemanların üretiminde düşük dayanımlı beton kullanılmasında dolayı ezilmeler, dökülmeler oluşmuştu. Bu nedenle yükleme sisteminde sorun oluşturabilecek bu durumların etkisini ortadan kaldırmak amacıyla kiriş ve kolon başları çelik profiller ve ard germeli gijonlarla sargılanmış S1LY200 elemanı hariç bütün deney elemanlarında söz konusu takviye uygulanmıştır.

6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

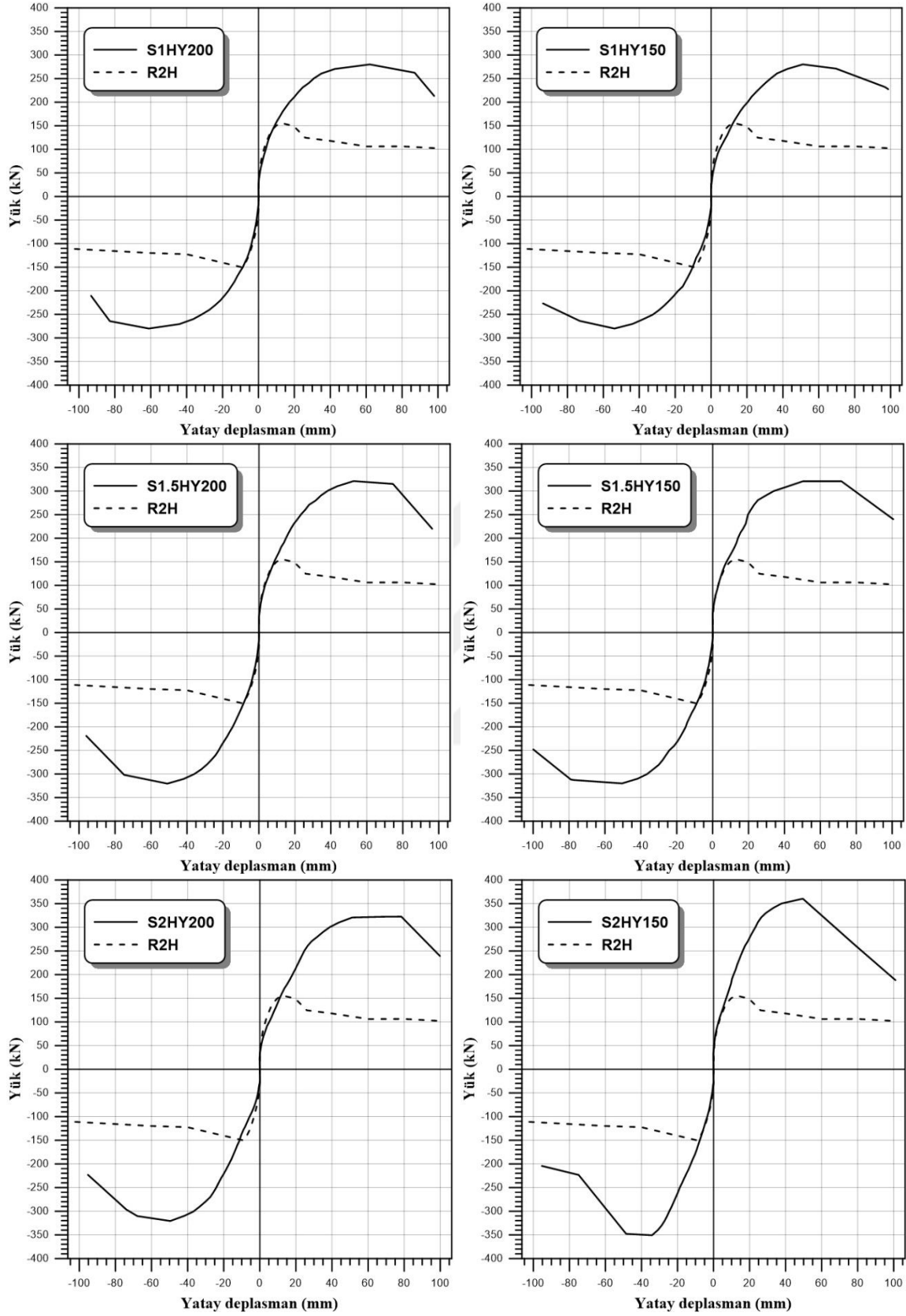
6.1. Genel

Betonarme yapıların tasarımında deprem etkileri dikkate alındığında yapıların dayanımı, süneklikleri ve ötelenme rijitlikleri gibi üç temel karakteristik değerleri yüksek olmalıdır. Bu bölümde referans ve güçlendirilmiş elemanların deney sonuçları analiz edilmiş ve analiz sonuçları yukarıda belirtilen üç temel karakteristik özelliği de içeren davranışı tanımlayan 5 kriterle göre karşılaştırılmıştır. Bu kriterler dayanım, süneklik, rijitlik, görelî kat ötelenme ve dönüştürülebilir enerji dir. Deney sonuçları üzerinde yapılan analizler bu bölüm içerisinde yeri geldikçe detaylı olarak açıklanmıştır. Analizlerde genellikle elemanlara ait yük-yatay deplasman grafikleri ve bu grafiklerden elde edilen zarf eğrileri kullanılmıştır. Zarf eğrileri ise elemana ait yük-yatay deplasman grafiğindeki her bir çevrimin tepe noktalarının birleştirilmesi sonucu ortaya çıkan eğrilerdir.

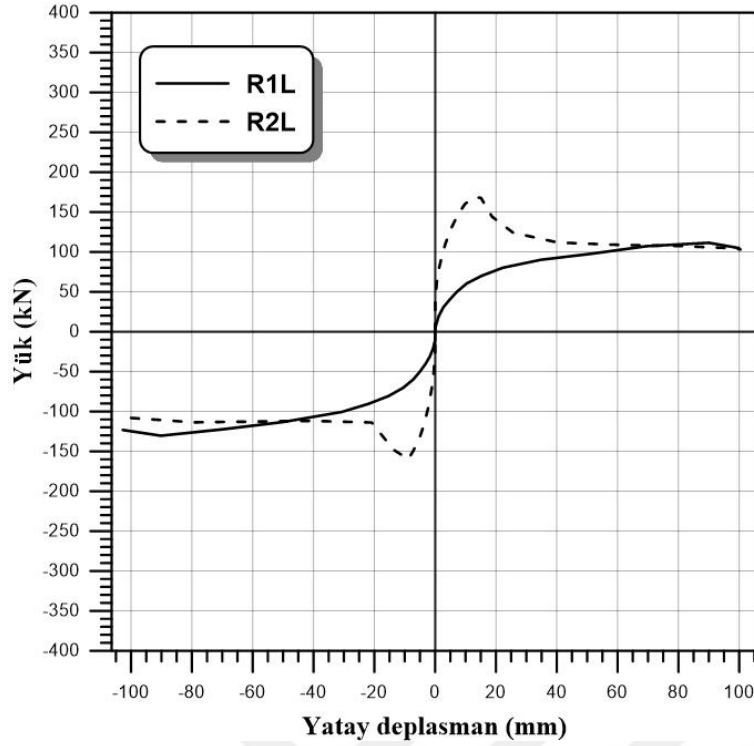
Yapılan karşılaştırmalarda kıyaslamaları kolaylaştırmak amacıyla her bir güçlendirilmiş deney elemanı ile kolonlarına uygulanan eksenel yük düzeyi aynı olan ikinci grup referans elemanına (tuğla dolgu duvarı olan betonarme çerçeve) ait karşılaştırmalı zarf eğrileri eksenel yük düzeyine göre Şekil 6.1 ile 6.2’de ayrı ayrı verilmiştir. Ayrıca kolonlarına uygulanan eksenel yük düzeyi aynı olan tuğla dolgu duvarlı referans elemanı ile yalın betonarme çerçeve olan duvarsız referans elemana ait karşılaştırmalı zarf eğrileri de Şekil 6.3 ve 6.4’ te verilmiştir.



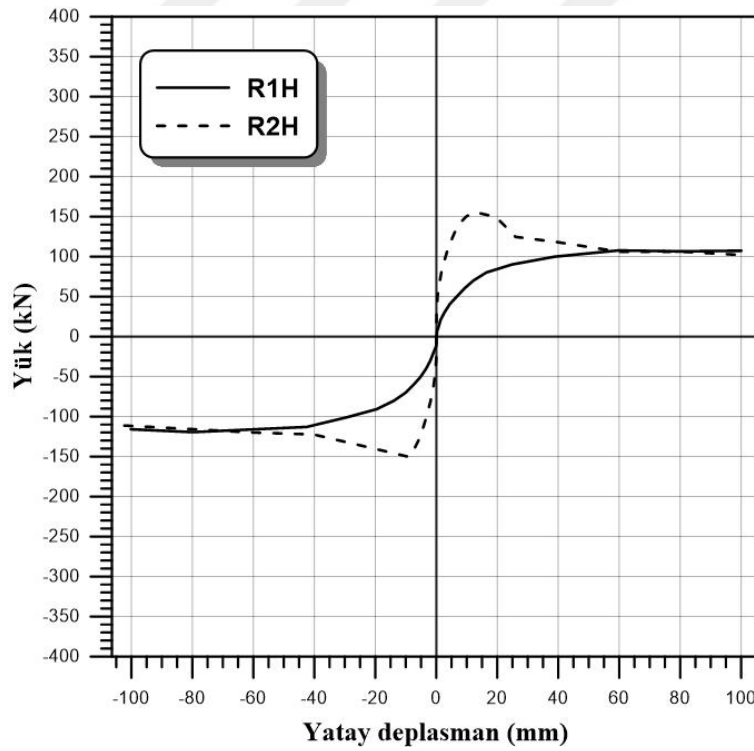
Şekil 6.1. Eksenel yükü düşük (75 kN/kolon) güçlendirilmiş elemanların, eksenel yükü düşük R2L duvarlı referans eleman ile karşılaştırmalı yük- yatay deplasman zarf eğrileri



Şekil 6.2. Eksenel yükü yüksek (150 kN/kolon) güçlendirilmiş elemanların eksenel yükü yüksek R2H duvarlı referans eleman ile karşılaştırmalı yük- yatay deplasman zarf eğrileri



Şekil 6.3. Eksenel yükü düşük (75 kN/kolon) R1L duvarsız referans eleman ile R2L duvarlı referans elemanların karşılaştırmalı yük- yatay deplasman zarf eğrileri



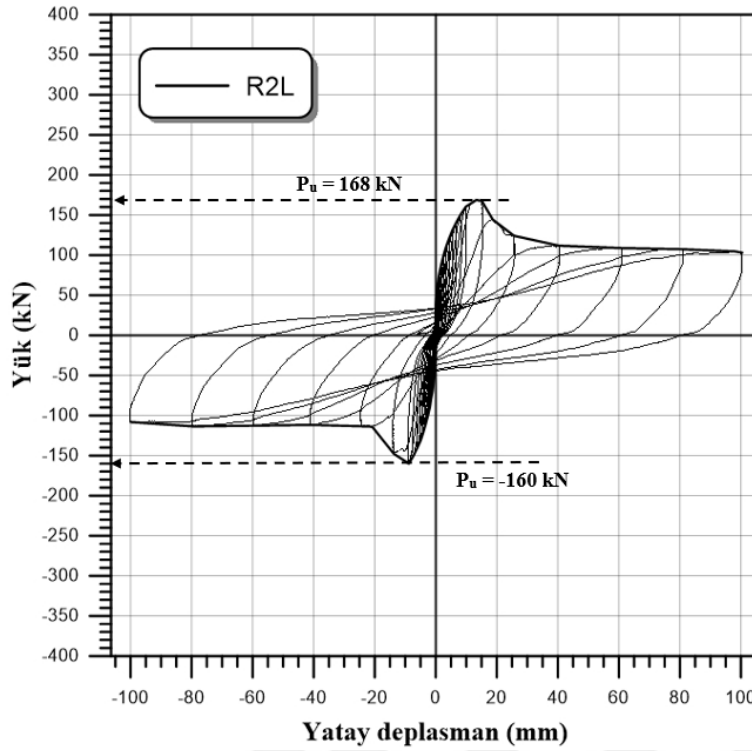
Şekil 6.4. Eksenel yükü yüksek (150 kN/kolon) R1H duvarsız referans eleman ile R2H duvarlı referans elemanların karşılaştırmalı yük- yatay deplasman zarf eğrileri

6.2. Temel Kriterlere Göre Değerlendirmeler

Bu bölümde güçlendirilmiş elemanlar ile referans elemanlarının karşılaştırılması dayanım, süneklik, rijitlik, görelî kat ötelenme ve dönüştürülebilen enerji olarak davranışı tanımlayan kriterlere göre yapılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmalarda uygulanan güçlendirmenin temel davranış sistemi üzerindeki etkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

6.2.1. Dayanım

Deney elemanlarının dayanımları belirlenirken tüm elemanlara ait yük-yatay deplasman grafiklerinden elde edilen zarf eğrileri çıkarılmıştır (Şekil 6.1, 6.2, 6.3 ve 6.4). Bu zarf eğrilerinden elde edilen dayanım, elemanın deney aşamasında ulaştığı en büyük (maksimum) yük (P_u) değeri olup ileri ve geri yönlerde farklılık göstermiştir. Bu nedenle her elemenda ileri ve geri yönleri için dayanım değerleri (P_u) ayrı ayrı hesaplanmıştır. R2L referans elemanına ait yük-yatay deplasman grafiği üzerinden zarf eğrisi çizimi ve dayanım değeri okuması örnek olarak Şekil 6.5'te gösterilmiştir. Bu uygulama ile bütün elemanların ileri ve geri yöndeki maksimum dayanım değerleri (P_u) ve bunların aritmetik ortalaması (P_{uort}) Çizelge 6.1 ve 6.2'de kısaca özetlenmiştir. Kıyaslamaların yapıldığı zarf eğrilerinde eksenel yük durumuna göre iki grup bulunduğundan göreceli dayanım oranları Çizelge 6.1 ve 6.2'de aynı eksenel yük uygulaması olan elemanların dayanım değerlerinin bu grubun referans elemanlarının dayanım değerlerine oranı ile ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu oranların hesaplanmasında iki yöndeki dayanım değerlerinin aritmetik ortalaması (P_{uort}) kullanılmıştır. Kolonlarına uygulanan eksenel yük düzeyi düşük olan deney elemanlarının dayanım değerleri Çizelge 6.1'de, kolonlarına uygulanan eksenel yük düzeyi yüksek olan deney elemanlarının dayanım değerleri ise Çizelge 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.5. R2L deney elemanında dayanımın bulunuşu

Çizelge 6.1. Kolon eksenel yük düzeyi düşük deney elemanlarının dayanım değerleri

Deney Elemanı Adı	Maksimum Dayanım (kN) P_u		Ortalama Dayanım (kN) P_{uort}	Göreceli Dayanım Oranı R2L'ye göre (kN/kN)	Göreceli Dayanım Oranı R1L'ye göre (kN/kN)
	İleri yön (+)	Geri yön (-)			
R1L	+111	-130	121	0,74	1,00
R2L	+168	-160	164	1,00	1,36
S1LY200	+260	-260	260	1,59	1,70
S1LY150	+270	-270	270	1,65	2,23
S1.5LY200	+280	-279	280	1,71	2,31
S1.5LY150	+300	-300	300	1,83	2,48
S2LY200	+300	-290	295	1,80	2,44
S2LY150	+320	-310	315	1,92	2,60

Çizelge 6.1' de kolonlarına uygulanan eksenel yük düzeyi düşük (75kN/kolon) olan elemanların ileri ve geri yöndeki dayanım değerleri ile iki referans elemanına göre göreceli dayanım oranları görülmektedir. Güçlendirilmiş elemanlardan hatırlanacağı gibi S1LY200 elemanı deneyi kırışındaki kesme kırılması sonucu taşıma gücüne ulaşmış duvar güçlendirilmesinin etkisi anlaşılamamıştır. Aynı çizelge incelendiğinde S1LY200'ün

dayanımındaki artış kirişi güçlendirilmiş tuğla dolgu duvarlı R2L referans elemanına göre 1,59 kat olurken, kirişteki güçlendirme sonucu diğer güçlendirilmiş elemanların dayanımındaki artış ise 1,65 ile 1,92 katları arasında olmuştur.

Çizelge 6.2. Kolon eksenel yük düzeyi yüksek deney elemanlarının dayanım değerleri

Deney Elemanı Adı	Maksimum Dayanım (kN) P_u		Ortalama Dayanım (kN) P_{uort}	Göreceli Dayanım Oranı R2H'ye göre (kN/kN)	Göreceli Dayanım Oranı R1H'ye göre (kN/kN)
	İleri yön (+)	Geri yön (-)			
R1H	+107	-119	113	0,74	1,00
R2H	+155	-150	153	1,00	1,35
S1HY200	+280	-280	280	1,83	2,48
S1HY150	+280	-280	280	1,83	2,48
S1.5HY200	+320	-320	320	2,09	2,83
S1.5HY150	+320	-320	320	2,09	2,83
S2HY200	+322	-320	321	2,10	2,84
S2HY150	+360	-350	355	2,32	3,14

Çizelge 6.2' de ise kolonlarına uygulanan eksenel yük düzeyi yüksek (150kN/kolon) olan elemanların ileri ve geri yöndeki dayanım değerleri ve her iki referans elemanına göre göreceli dayanım oranları görülmektedir. Çizelge 6.2 incelendiğinde kirişi güçlendirilmiş tuğla dolgu duvarlı R2H referans elemanına göre duvarları güçlendirilmiş elemanların dayanımındaki artış ise 1,83 ile 2,32 katları arasında olmuştur.

Çizelge 6.3. Kolon eksenel yükü düşük ve yüksek deney elemanlarının duvarlı referans elemanlara göre dayanım değerleri

Deney Elemanı Adı	Maksimum Dayanım (kN) P_u		Ortalama Dayanım (kN) P_{uort}	Göreceli Dayanım Oranı R2L'ye göre (kN/kN)	Göreceli Dayanım Oranı R2H'ye göre (kN/kN)
	İleri yön (+)	Geri yön (-)			
R2L	+168	-160	164	1,00	1,07
R2H	+155	-150	153	0,93	1,00
S1LY200	+260	-260	260	1,59	1,70
S1LY150	+270	-270	270	1,65	1,76
S1.5LY200	+280	-279	280	1,71	1,83
S1.5LY150	+300	-300	300	1,83	1,96
S2LY200	+300	-290	295	1,80	1,93
S2LY150	+320	-310	315	1,92	2,06
S1HY200	+280	-280	280	1,71	1,83
S1HY150	+280	-280	280	1,71	1,83
S1.5HY200	+320	-320	320	1,95	2,09
S1.5HY150	+320	-320	320	1,95	2,09
S2HY200	+322	-320	321	1,96	2,10
S2HY150	+360	-350	355	2,16	2,32

Çizelge 6.3' te de kolonlara uygulanan eksenel yük düzeyinin düşük (75kN/kolon) ve yüksek (150kN/kolon) olan elemanların ileri ve geri yöndeki dayanım değerleri ve tuğla dolgu duvarlı kolonlarındaki eksenel yük düzeyi farklı olan iki referans elemanına göre göreceli dayanım oranları görülmektedir. Çizelge 6.3 incelendiğinde R2L referans elemanına (tuğla dolgu duvarlı) göre kolon eksenel yükü 150 kN olan duvarları güçlendirilmiş elemanların dayanımındaki artış ise 1,71 ile 2,16 katları arasında olmuştur. R2H referans elemanına göre kolon eksenel yükü 75 kN olan duvarları güçlendirilmiş elemanların dayanımındaki artış ise 1,70 ile 2,06 katları arasında olmuştur. Kolonlara uygulanan eksenel yükün artmasıyla beraber kolonların eğilme ve kesme kapasitesi artmış ve bunun doğal sonucu olarak dayanımlarda da genel bir artış gözlenmiştir.

S1LY200 deney elemanı dışında delikli levhalarla güçlendirilmiş elemanların duvarlarında oluşan hasarlar sonucu hiçbir eleman taşıma gücüne ulaşmamıştır. Kesmeye karşı kirişi güçlendirilmemiş ve sistem taşıma gücüne ani kesme kırılmasıyla ulaşan S1LY200 elemanı değerlendirme dışı bırakıldığında R2L'ye göre dayanımındaki artış kolonları 75 kN eksenel yüklü elemanlarda ortalama 1,78 kat, 150 kN eksenel yüklü elemanlarda ise ortalama 1,91

kat olmuştur. R2H'ye göre ise dayanımdaki artış kolonları 75 kN eksenel yüklü elemanlarda ortalama 1,78 kat, 150 kN eksenel yüklü elemanlarda ise ortalama 1,91 kat olmuştur.

Çalışmada parametre olarak üç farklı kalınlıkta (1,0;1,5;2,0) delikli çelik levha kullanılmıştır. Deney elemanlarının, kullanılan levha kalınlıklarına göre gruplandırılarak dayanım değerlerinin aritmetik ortalamaları grubun eksenel yükü ile aynı olan referans elemanına göre karşılaştırmaları yapılmıştır. Kolon eksenel yükü 75 kN olan deney elemanları R2L referans elemanına göre karşılaştırıldığında dayanımın levha kalınlığı 1,0 mm olan elemanlarda %62, 1,5 mm olan elemanlarda %77 ve 2,0 mm olan elemanlarda ise %86 oranında arttığı görülmüştür (Çizelge 6.3). Kolon eksenel yükü 150 kN olan deney elemanları R2H referans elemanına göre karşılaştırıldığında ise dayanımın levha kalınlığı 1,0 mm olan elemanlarda %83, 1,5 mm olan elemanlarda %109 ve 2,0 mm olan elemanlarda %121 oranında arttığı görülmüştür (Çizelge 6.3). Her iki grup elemanları genel olarak incelendiğinde levha kalınlığının artırılması ile paralel olarak dayanımda da artışın olduğu gözlemlenmiştir. Ancak bazı elemanlarda görülen çok düşük ve çok yüksek artışların betonarme çerçeve ile bağlantılı olduğu görülmüştür. Oluşan bu durumların neden-sonuç ilişkileri şöyle yorumlanmaya çalışılmıştır.

Kolonları eksenel yüklü elemanlarda güçlü kolon karşısında kiriş zayıf düşmüş ve kirişte kesme kırılması oluşmuştur (Bkz. S1LY200 deneyi). Kirişin kesmeye karşı güçlendirilmesi ile 1,0 ve 1,5 mm delikli çelik levha kalınlığına sahip elemanların deneylerinde betonarme çerçeve ve tuğla dolgu duvar birlikte etkin şekilde çalıştığı görülmüştür. Bu elemanlar kirişinde yapılan takviye ile kesme sınırlandırılmış mafsalların kolon uçlarında oluşması sağlanmıştır. Tuğla dolgu duvarın güçlendirilmesinde kullanılan 2 mm kalınlığındaki delikli çelik levhaların deneylerinde ise, duvar kısmen daha rijit olmuş, buna karşılık olarak betonarme çerçeve rijit duvar karşısında biraz zayıf kalmıştır. Bunun sonucu olarak kolon uçlarında oluşan eğilme hasarlarına ek kesme hasarları da oluşmuştur. Ayrıca 2 mm levha kalınlığına sahip S2HY150 deney elemanında maksimum dayanım ön görülen dayanımdan biraz fazla (360 kN) çıkmıştır. Bunun nedeninin elemandaki beton dayanımının ortalama 26 MPa çıkması olduğu düşünülmüştür (Bkz. Çizelge 4.4).

Çalışma kapsamında kullanılan bir diğer parametre olan bulon aralığı için geçmiş çalışmaların (Babayani, 2012) sonuçları referans alınmış 150 ve 200 mm olarak kullanılmıştır. Bulon aralıklarına göre deney elemanları gruplandırılıp dayanım değerlerinin

aritmetik ortalamaları grubun eksenel yükü ile aynı olan referans elemanına göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Kolon eksenel yükü 75 kN olan deney elemanları R2L referans elemanına göre karşılaştırıldığında dayanımın bulon aralığı 150 mm olan elemanlarda %80, bulon aralığının 200 mm olan elemanlarda ise %70 oranında arttığı görülmüştür (Çizelge 6.3). Kolon eksenel yükü 150 kN olan deney elemanları R2H referans elemanına göre karşılaştırıldığında dayanımın bulon aralığı 150 mm olan elemanlarda %108, bulon aralığının 200 mm olan elemanlarda ise %101 oranında arttığı görülmüştür (Çizelge 6.3).

Karşılaştırmalar sonucunda 150 mm'den 200 mm'ye çıkarılan bulon aralığı, dayanımda ciddi bir azalma göstermemiştir. Burada dayanım birçok parametreye bağlı olmakla beraber, tuğla duvarların ve betonarme çerçeve malzeme dayanımlarının standart sapmasının çok yüksek olmasından dolayı dayanımdaki %7 ~10'luk bir değişimin tamamen bulon aralığına bağlı olmadığını söylemek daha doğru olacaktır. Ancak geçmişte yapılan tuğla duvarın delikli levha ile güçlendirmesi çalışmasında (Babayani, 2012) bulon aralığının değişiminin duvar dayanımının önemli düzeyde artmasında etkisi olmuştur. Bu çalışmada ise dayanım değerlerinin yaklaşık çıkmasının sebebi eksenel yüklerle birlikte kolon kiriş birleşim bölgelerine doğru yoğunlaşan gerilme yığılmaları için bazı önlemlerin alınması ile açıklanabilir (Bkz. Resim 4.4).

Betonarme çerçeve içerisine imal edilen tuğla dolgu duvar ile elde edilen referans elemanların (R2L, R2H) dayanımlarının, kolonlarına aynı eksenel yük uygulanan duvarsız yalın betonarme çerçeveden oluşan referans elemanların (R1L, R1H) dayanımlarına oranı yaklaşık 1,36 kat daha fazla çıkmıştır. Betonarme çerçeve içerisine imal edilen duvar ile yalın duvarsız betonarme çerçevenin kapasitesi kolon eksenel yükü 75kN olan elemanlarda 121 kN dan 164 kN a çıkarken, kolon eksenel yükü 150 kN olan elemanlarda ise 113 kN dan 153 kN a çıkmıştır (Çizelge 6.1 ve 6.2).

6.2.2. Süneklik

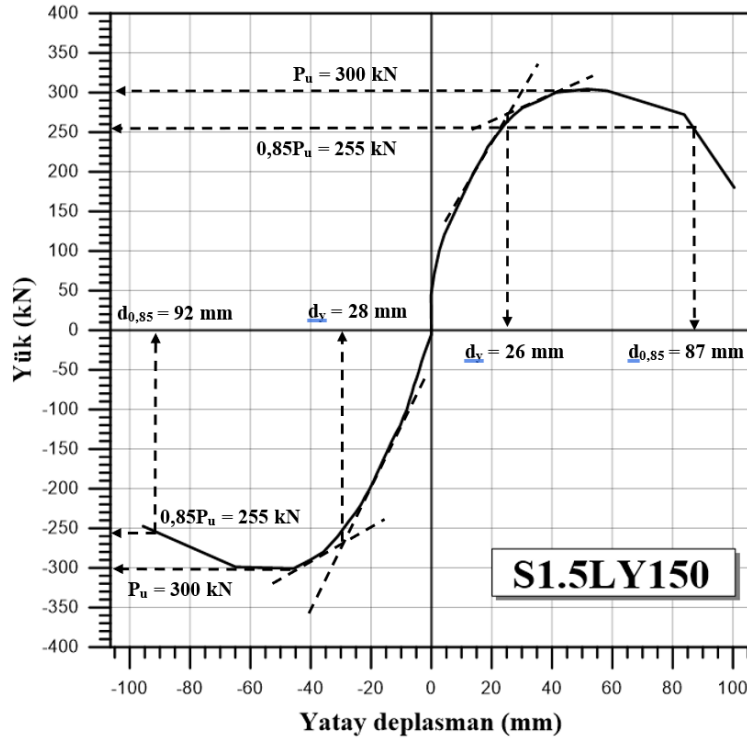
Şiddetli depremlerde yapıların ayakta durabilmesini sağlayan önemli unsurlardan biri de yapının sünek davranış gösterebilmesidir (Atımtay, 2009: 277). Süneklik bilindiği üzere dayanımda ciddi bir kayıp (%15'lik düşüş) olmaksızın elemanın deformasyon yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Elemanların karşılaştırmalarını yapabilmek için elemanların süneklik oranları kullanılmıştır. Süneklik oranı, elemanın maksimum

dayanımından %15 lik azalmanın olduğu dayanım anındaki deformasyon değeri (süneklik deformasyonu) ile elemanın akma anındaki deformasyon değerinin birbirine oranı olarak tarif edilebilir.

Bu çalışma içerisinde süneklik oranlarının hesaplanması için elemanlara ait yatay yük- yatay deplasman zarf eğrilerinden yararlanılmıştır (Şekil 6.1, 6.2, 6.3, 6.4). Eğrilerden elde edilen süneklik deformasyon ($d_{0,85}$) değeri bulunurken maksimum yüke göre %15 lik azalmanın olduğu dayanım anındaki deformasyon değeridir. Akma deformasyonu (d_y) için de elemanın rijitliğinin değişmeye başladığı, eğri eğiminin yatay doğrultuya geçtiği andaki deformasyon değeri akma deformasyonu olmaktadır. Ancak bu çalışmadaki elemanlara ait zarf eğrileri incelendiğinde akmanın gerçekleştiği alan bir bölgeye karşılık geldiğinden akma deformasyonunu süneklik deformasyonunda olduğu gibi tek bir nokta ile belirlemek mümkün değildir (Şekil 6.1, 6.2, 6.3, 6.4). Bir başka deyişle, *“akma bir süreç içinde gerçekleşerek akmanın başladığı nokta ile bittiği nokta uzun ve doğrusal olmayan bölge oluşturmuştur. Bu durumda yaklaşık bir akma noktası belirlemek amacıyla, akmanın başladığı ve bittiği kestirilen noktalardan zarf eğrisine en uygun doğrusal dış teğetler geçirilmiş ve bu teğetlerin kesiştiği tepe noktasına karşı gelen deformasyon değeri, akma deformasyonu (d_y)”* olarak kabul edilmiştir (Özbek, 2015).

S1.5LY150 deney elemanı için süneklik ve akma deformasyon değerlerinin bulunuşu Şekil 6.6’da örnek bir uygulama ile gösterilmiştir. Verilen örnekte olduğu gibi hesaplanacak süneklik oranının doğruluğu, zarf eğrisinden elde edilecek olan akma deformasyonu değerinin doğruluğuna bağlı olduğu görülmektedir. Elemanlara ait deney süreçleri ve yük-deplasman zarf eğrileri incelendiğinde bütün elemanların aynı davranışı göstermediği farklı göçme modlarının (eğilme, kesme veya eğilme+kesme davranışı) olduğu görülmektedir. Birbirinden farklı davranışların olduğu bu elemanlarda akma deformasyonları kullanılarak yapılan karşılaştırmaların doğru kıyaslamalar olmayacağı düşüncesi oluşmuştur.

Ancak fikir oluşturması açısından bütün deney elemanlarının süneklik ile akma deformasyon değerleri, hesaplanan süneklik oranları ve duvarlı referans elamanına göre hem ileri yön hem de geri yöndeki göreceli oranları kolon eksenel yükü 75 kN olan elemanlar için Çizelge 6.4 ve kolon eksenel yükü 150 kN olan elemanlar için de Çizelge 6.5’te ayrı ayrı gösterilmiştir.



Şekil 6.6. S1.5LY150’de akma ve süneklik deformasyonları analizi

Çizelge 6.4. Eksenel yük düzeyi düşük (75 kN/kolon) elemanların süneklik terimleri ve oranları

Deney Elemanı Adı	Süneklik Deformasyonu ($d_{0,85}$) (mm)		Akma Deformasyonu (d_y) (mm)		Süneklik oranları ($d_{0,85}/d_y$) (mm/mm)		Göreceli Süneklik Oranı (R2L’ye göre)	
	İleri yön (+)	Geri yön (-)	İleri yön (+)	Geri yön (-)	İleri yön (+)	Geri yön (-)	İleri yön (+)	Geri yön (-)
R1L	>100	>100	15	13	>6,7	>7,7	>3,5	>3,7
R2L	19	17	10	8	1,9	2,1	1,0	1,0
S1LY200	73	80	18	22	4,1	3,6	2,2	1,7
S1LY150	>100	>90	20	24	>5,0	>3,8	>2,6	>1,8
S1.5LY200	97	>95	25	29	3,9	>3,3	2,1	>1,6
S1.5LY150	87	92	26	28	3,4	3,3	1,8	1,6
S2LY200	85	78	29	27	2,9	2,9	1,5	1,4
S2LY150	>100	65	28	27	>3,6	2,4	>1,9	1,1

Çizelge 6.5. Eksenel yük düzeyi yüksek (150 kN/kolon) elemanların süneklik terimleri ve oranları

Deney Elemanı Adı	Süneklik Deformasyonu ($d_{0,85}$)		Akma Deformasyonu (d_y)		Süneklik oranları ($d_{0,85}/d_y$)		Göreceli Süneklik Oranı	
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm/mm)	(mm/mm)	(R2H'ye göre)	(R2H'ye göre)
	İleri yön (+)	Geri yön (-)	İleri yön (+)	Geri yön (-)	İleri yön (+)	Geri yön (-)	İleri yön (+)	Geri yön (-)
R1H	>100	>100	16	15	>6,3	>6,7	>3,3	>1,7
R2H	23	35	12	9	1,9	3,9	1,0	1,0
S1HY200	92	88	20	20	4,6	4,4	2,4	1,1
S1HY150	92	88	24	22	3,8	4,0	2,0	1,0
S1.5HY200	85	83	23	22	3,7	3,8	1,9	1,0
S1.5HY150	90	93	26	24	3,5	3,9	1,8	1,0
S2HY200	91	82	31	27	2,9	3,0	1,5	0,8
S2HY150	66	58	24	22	2,8	2,6	1,5	0,7

Çizelge 6.4 ve 6.5 incelenirken bazı değerlerin önünde büyüktür (>) işareti yer almaktadır. Bu işaret bir nedenle ya da yatay ölçüm cihazının kapasitesinin dolmasıyla deneyin sonlandırıldığını, bu aşamada elemanın maksimum yükünde %15'lik bir azalmanın olmadığını ifade etmek için kullanılmıştır. Süneklik deformasyonu ($d_{0,85}$) >90 ve üstü olan sayılarda, elemanların deneylerinde yatay ölçüm cihazının kapasitesi dolmuş ve deney sonlandırılmıştır. S1LY200 elemanı deneyinde ise hatırlanacağı gibi kirişte kesme kırılması meydana geldiği için elemanın deneyine devam edilememiş ve deneyin durdurulduğu andaki yük değerine kadar herhangi bir kayıp olmamıştır.

Çizelge 6.4 ve 6.5 incelendiğinde duvarsız yalnızca betonarme çerçeveden oluşan referans deney elemanları (R1L ve R1H) sünek davranmış ve süneklik oranları ise yaklaşık 6,3-7,7 arasında çıkmıştır. Betonarme çerçeve içerisine dolgu tuğla duvar yapılmasıyla elde edilen referans elemanları (R2L ve R2H), duvar köşelerinde oluşan ezilmeler sonucu duvar taşıma gücünü yitirmiş ve yükte %15 ten büyük yük kaybı oluşmuştur. Yalın duvarsız betonarme çerçevenin gösterdiği sünek davranış, içerisine örülen tuğla duvarın etkisiyle gevrek davranışa dönüşmüştür (Bkz. Çizelge 6.4 ve 6.5).

Çizelge 6.4 ve 6.5 ortak incelendiğinde, kolonlarındaki eksenel yükten bağımsız olarak deney elemanları içerisinde en düşük süneklik oranları 2 mm kalınlığındaki çelik levha ile

güçlendirilmiş S2LY200, S2LY150, S2HY200 ve S2HY150 deney elemanlarına aittir. Bu elemanların deneylerinde rijitleşen duvar, kolon üst uçlarında yatay doğrultuda kesme hasarı oluşturmuş ve ötelenmeyle birlikte ikinci mertebe momentleri yükte büyük kayıplara neden olmuştur. Bu nedenle 2 mm lik levha ile güçlendirilen elemanların süneklik oranları 1 ve 1,5 mm' lik levha ile güçlendirilmiş elemanlara göre daha düşük olmuştur.

Çizelge 6.4' te kolonlara uygulanan aksenal yük 75kN/kolon elemanlarda göreceli süneklik oranları 2,0 mm kullanılan elemanlar dışında en düşük 1,6 olurken en yüksek >2,6 kat olmuştur. Çizelge 6.5 incelendiğinde kolonlara uygulanan aksenal yük 150kN/kolon elemanlarda, güçlendirilmiş elemanların ileri ve geri yönlerdeki süneklik oranlarının yaklaşık eşit olduğu görülmektedir. Aynı çizelgede R2H'nin geri yöndeki süneklik oranı ileri yöndeki süneklik oranından yaklaşık 2 kat büyüktür. Bu büyüklükten dolayı R2H'ye göre hesaplanan geri yöndeki göreceli süneklik oranlarında, güçlendirilmiş elemanların süneklik oranları R2H'nin süneklik oranına yaklaşık eşit çıkmıştır. Güçlendirilmiş elemanların ileri yöndeki göreceli süneklik oranları 2,0 mm kullanılan elemanlar dışında en düşük 1,8 kat olurken en yüksek 2,4 kat olmuştur.

Duvarlarda delikli levhalarla yapılan güçlendirmenin davranış üzerindeki etkisinin görülebilmesi için kolonlarda ve kirişte kesmeye karşı alınan önlemler sonucu delikli levhalarla güçlendirilen bütün elemanların sünek davrandığı görülmüştür. Kısaca gevrek davranış gösteren aksenal yükten bağımsız olarak tuğla duvarlı betonarme çerçevelerin güçlendirme sonucunda sünek davranmaya başladığı görülmüştür. Bazı elemanların deneylerinde süneklik deformasyonunun $(d_{0,85}) > 100$ mm de bile dayanımda kayıp oluşmamıştır (Bkz. Çizelge 6.4 ve 6.5).

Bilindiği gibi S1LY200 deneyinde, çelik manto ile kesmeye karşı güçlendirilen kolonlar karşısında kiriş zayıf düşmüş ve kirişte oluşan kesme kırılması sonucu eleman taşıma gücüne ulaşmıştı. Bununla beraber tuğla duvar üzerinde delikli levhalarla yapılan güçlendirmenin davranışa etkisi tam olarak görülememiş, elemanın sünekliği sınırlı kalmıştır. Ancak sonraki referanslar dahil bütün elemanlarda delikli çelik levhalarla güçlendirilen elemanlar kirişte kesmeye karşı önlem (çelik halat) alınması ile sünek davranmışlardır. Yapılan çalışma ile delikli levhalar ile yapılan güçlendirmenin süneklik konusunda etkisinin görülebilmesi için kolonların ve kirişin yeterli kesme güvenliğine sahip olması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak delikli levhalarla güçlendirilen tuğla duvarlar, betonarme çerçevenin

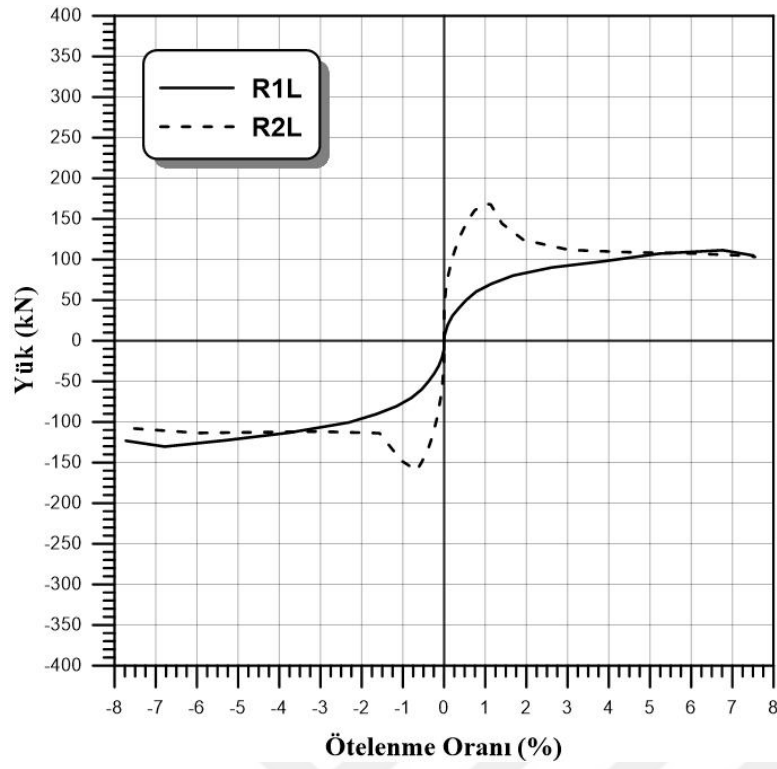
kolonlarında ve kirişinde yapılacak güçlendirmeyle birlikte gevrek davranış sergileyen bir sistemi sünek duruma getirmiştir.

6.2.3. Ötelenme oranı

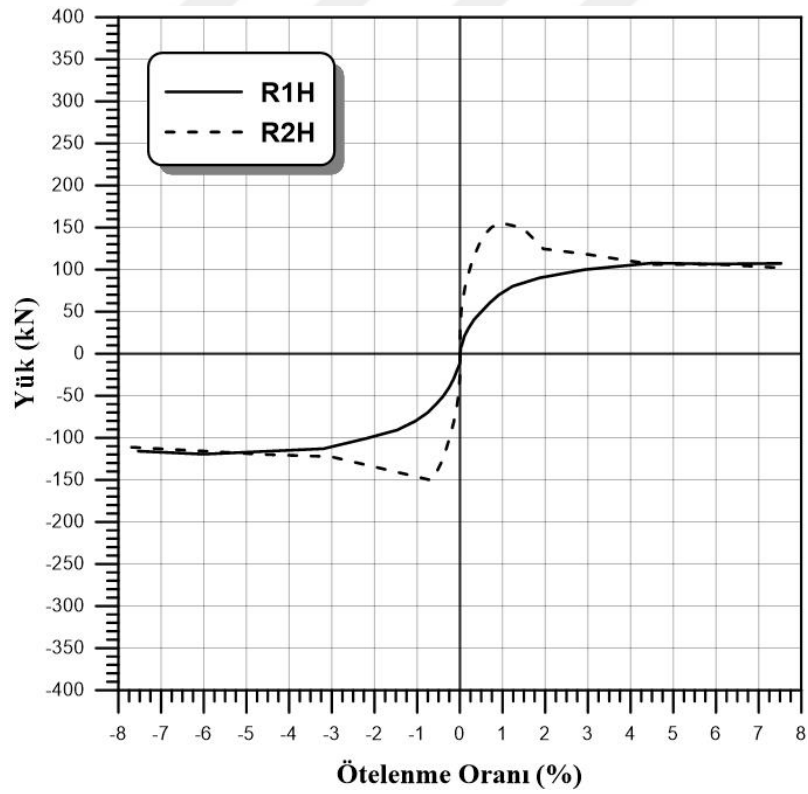
“Görelî kat ötelenmesi; mevcut deprem yönetmeliğinde kolon veya perdenin alt ve üst uçları arasındaki yer değiştirme farkının elemanın yüksekliğine bölünmesiyle elde edilmektedir” (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2018: 55). Deneysel çalışma kapsamında uygulanan yatay yüke karşılık oluşan yatay ötelenmeler, yatay yükün uygulandığı kiriş uç kısmından kiriş merkez eksenî doğrultusunda alınmıştır. Alınan bu verilerin ölçüm alınan kiriş uç noktasından dönmenin gerçekleştiği temel üst yüzüne olan mesafeye (1330 mm) bölünmesiyle de ötelenme oranları hesaplanmıştır.

Test edilen deney elemanlarının en yüksek yatay ötelenme oranlarını hesaplamak için bütün deney elemanlarının yatay yüke karşılık gelen ötelenme oranı zarf eğrileri oluşturulmuştur. Oluşturulan zarf eğrileri yük-yatay deplasmanlardan elde edilen zarf eğrileri ile benzerlik göstermektedir. Yatay eksenî yatay deplasman yerine her yatay yüke karşı oluşan yatay deplasmanın sabit değer olan ötelenme yüksekliğine oranından elde edilen yüzdesel ötelenme oranı bulunmaktadır. Güçlendirilmiş deney elemanlarının ve duvarsız betonarme çerçeveden oluşan referans elemanların zarf eğrileri kıyaslamalarda kolaylık sağlamak amacıyla kolonlarında eksenel yük düzeyi aynı olan tuğla duvarlı referans elemanına ait zarf eğrisi ile birlikte çizdirilmiş, Şekil 6.7-6.20 arasında topluca verilmiştir.

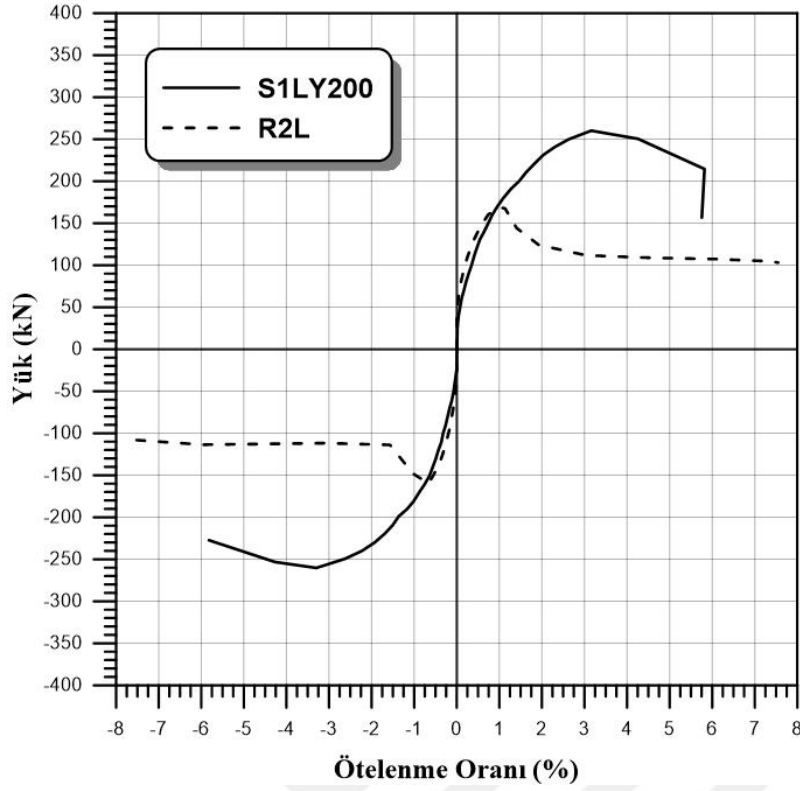
Zarf eğrilerinde ulaşılan maksimum yüke karşılık %15’lik yük kaybının yaşandığı yüke karşılık gelen yatay deformasyon ile hesaplanan ötelenme oranı eleman için en yüksek ötelenme oranı olarak alınmıştır. S1.5LY150 elemanı üzerinde ileri ve geri yöndeki ötelenme oranlarının bulunuşu Şekil 6.21’de örnek olarak gösterilmiştir. Bu uygulama ile bütün elemanların ileri ve geri yöndeki en yüksek ötelenme oranları, ileri ve geri yöndeki ötelenme oranların aritmetik ortalamaları ile duvarlı referans elemana göre hesaplanan göreceli ötelenme oranları Çizelge 6.6 ve 6.7’de kısaca özetlenmiştir.



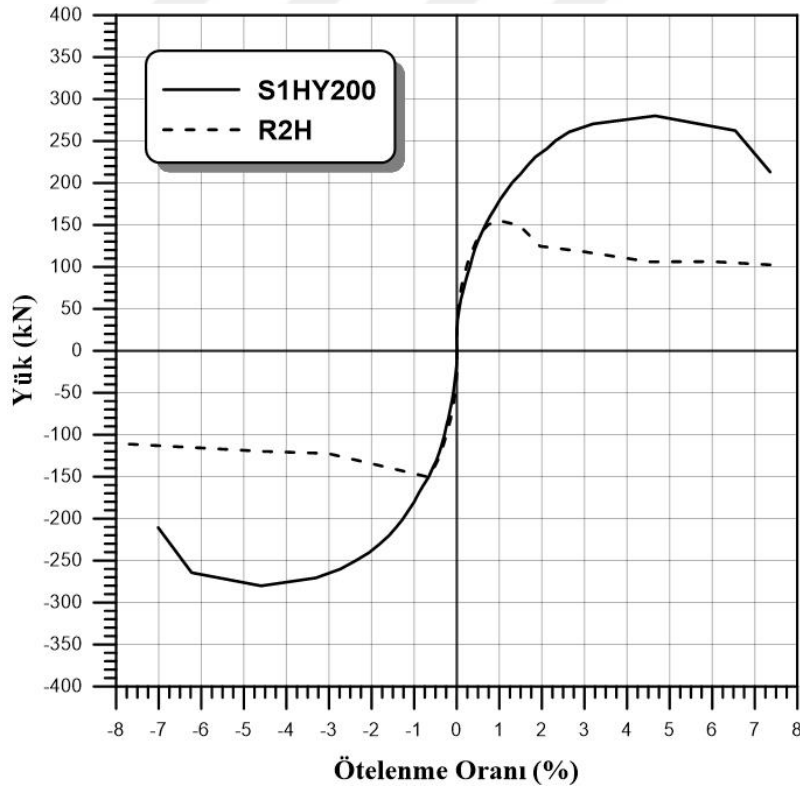
Şekil 6.7. R1L ve R2L elemanlarının yük-ötelenme oranı zarf eğrileri



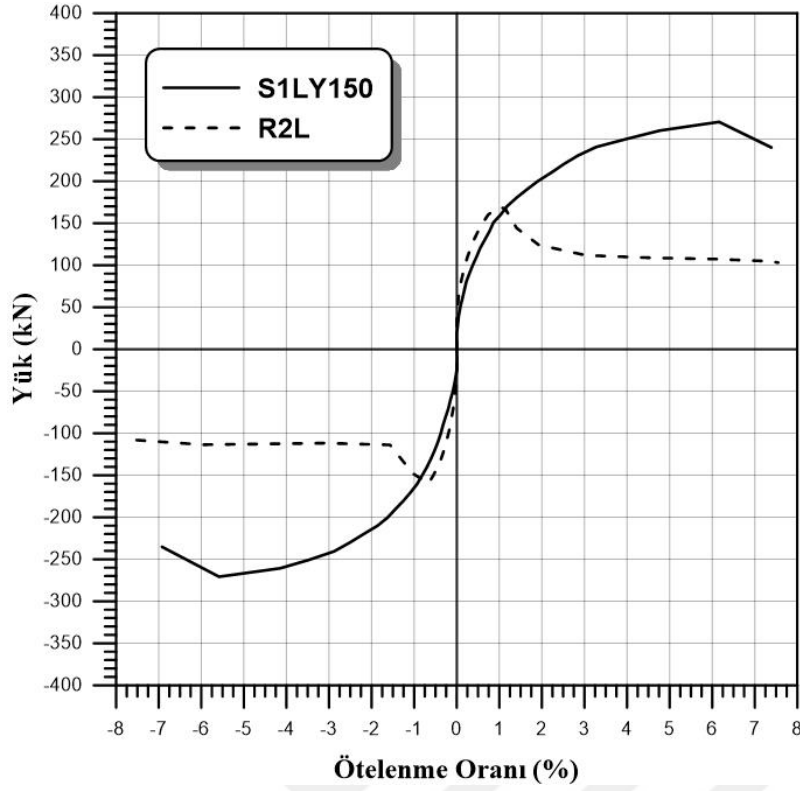
Şekil 6.8. R1H ve R2H elemanlarının yük-ötelenme oranı zarf eğrileri



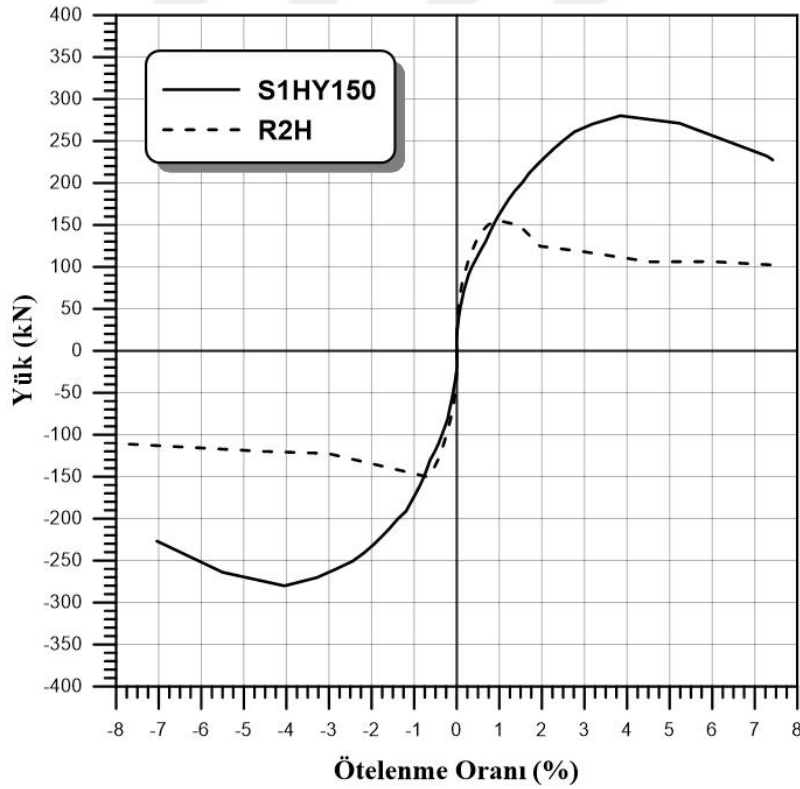
Şekil 6.9. S1LY200 ve R2L elemanlarının yük-ötelenme oranı zarf eğrileri



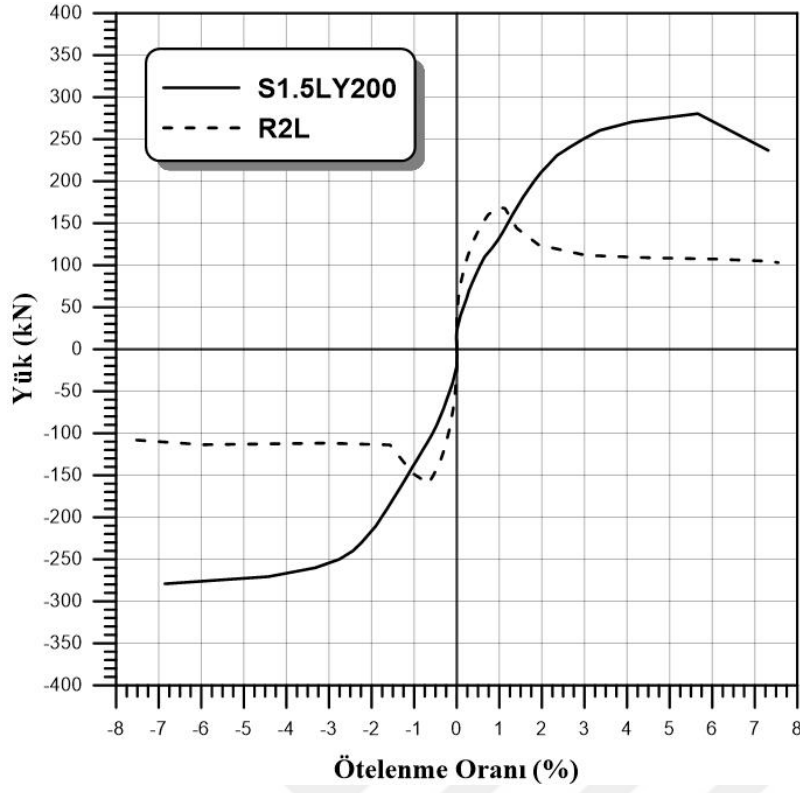
Şekil 6.10. S1HY200 ve R2H elemanlarının yük-ötelenme oranı zarf eğrileri



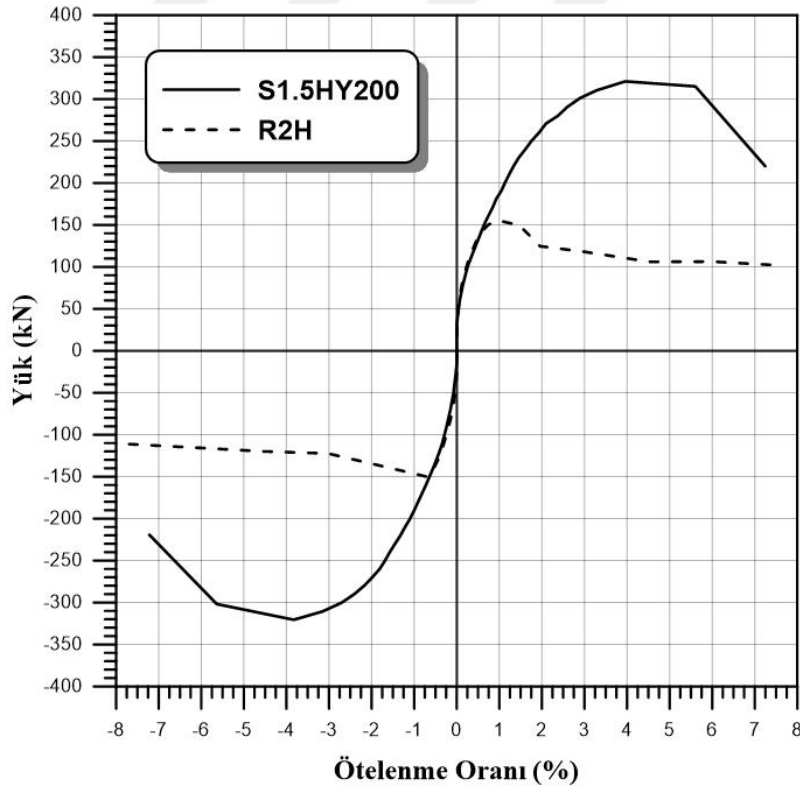
Şekil 6.11. S1LY150 ve R2L elemanlarının yük-ötelenme oranı zarf eğrileri



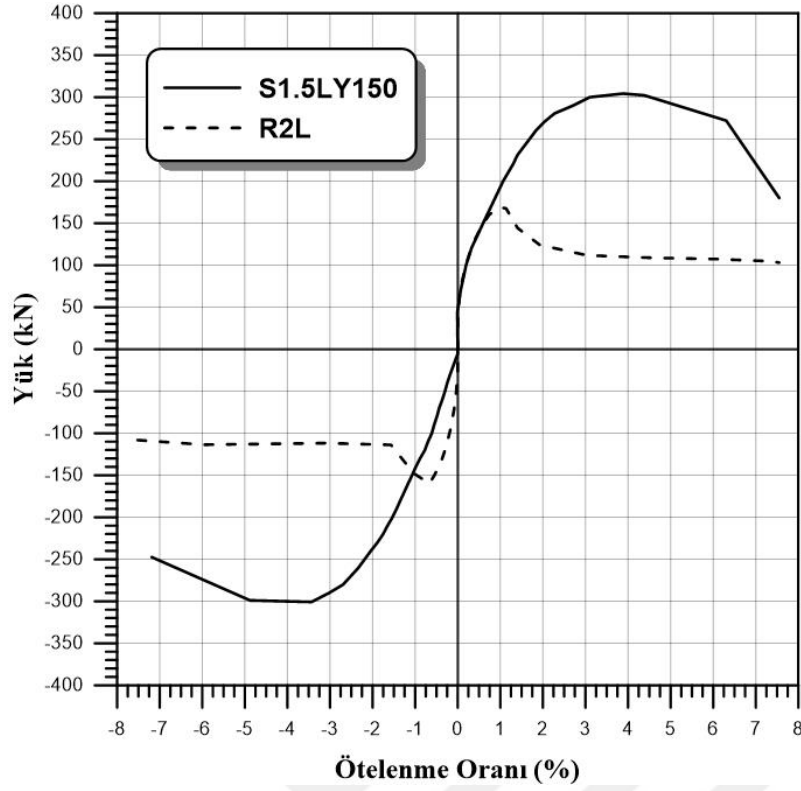
Şekil 6.12. S1HY150 ve R2H elemanlarının yük-ötelenme oranı zarf eğrileri



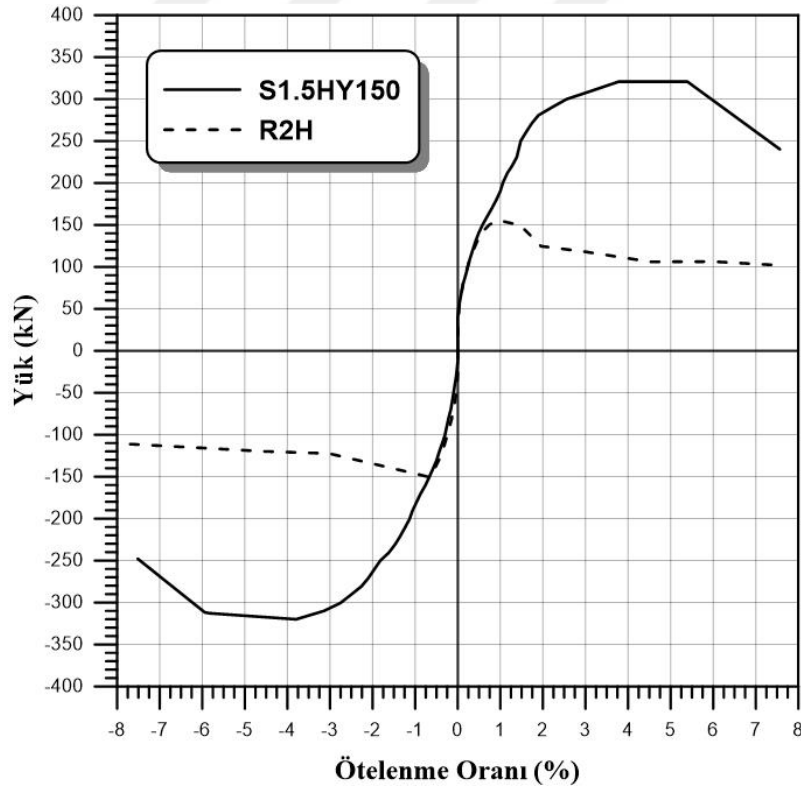
Şekil 6.13. S1.5LY200 ve R2L elemanlarının yük-ötelenme oranı zarf eğrileri



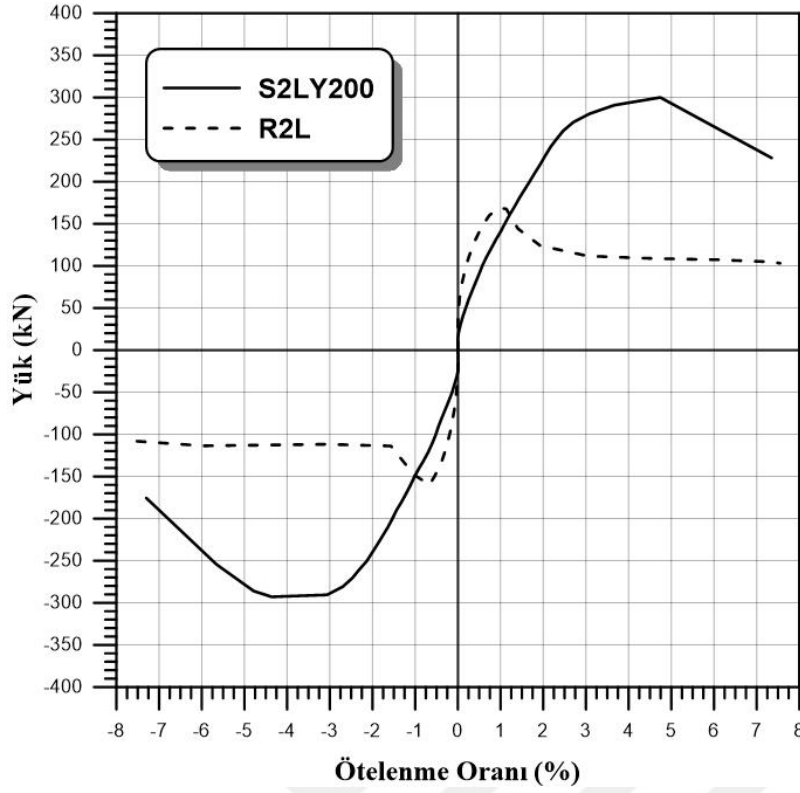
Şekil 6.14. S1.5HY200 ve R2H elemanlarının yük-ötelenme oranı zarf eğrileri



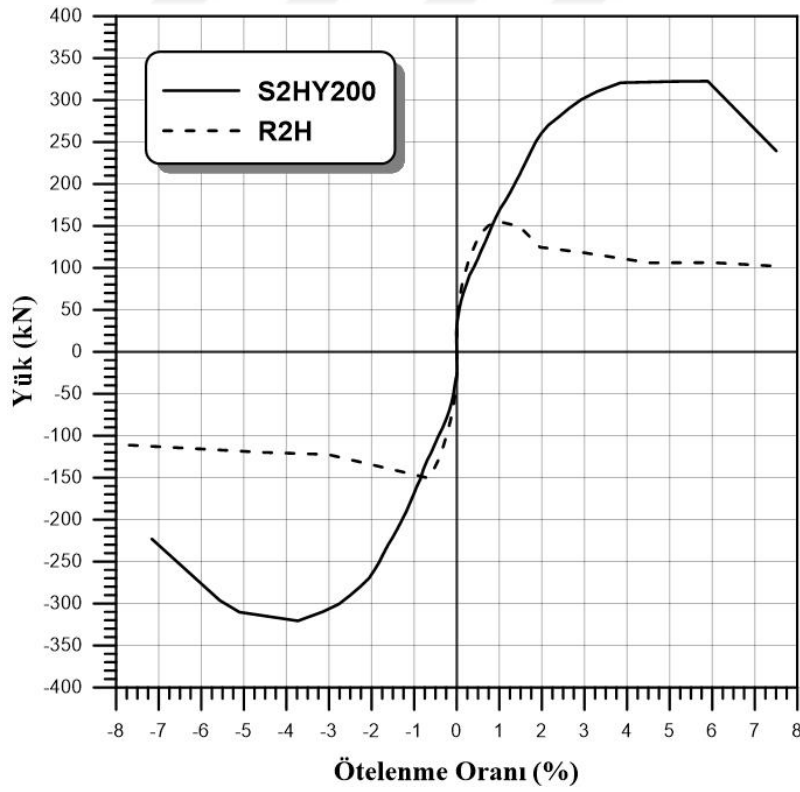
Şekil 6.15. S1.5LY150 ve R2L elemanlarının yük-ötelenme oranı zarf eğrileri



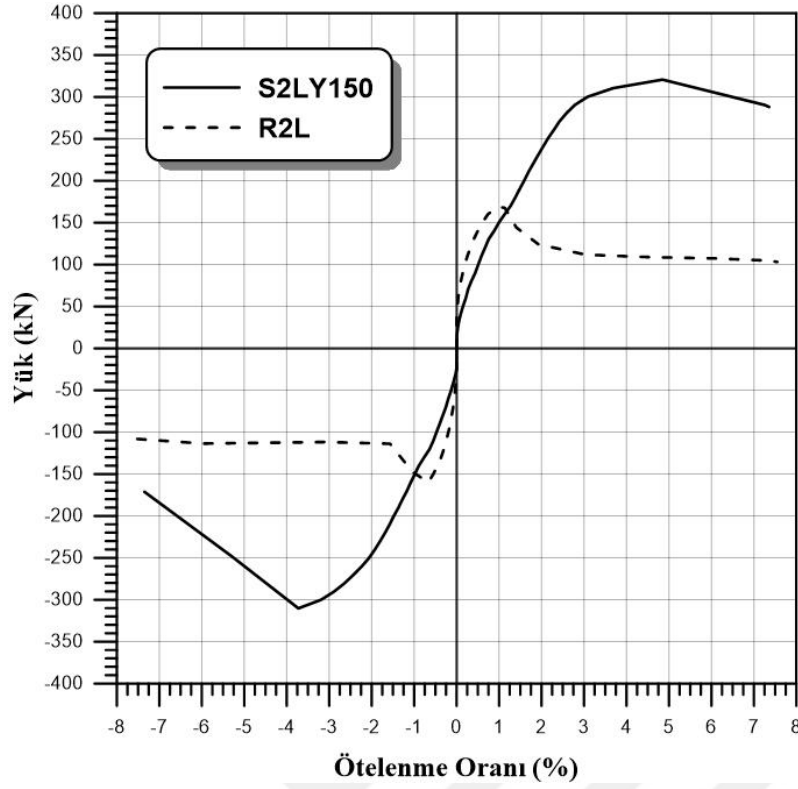
Şekil 6.16. S1.5HY150 ve R2H elemanlarının yük-ötelenme oranı zarf eğrileri



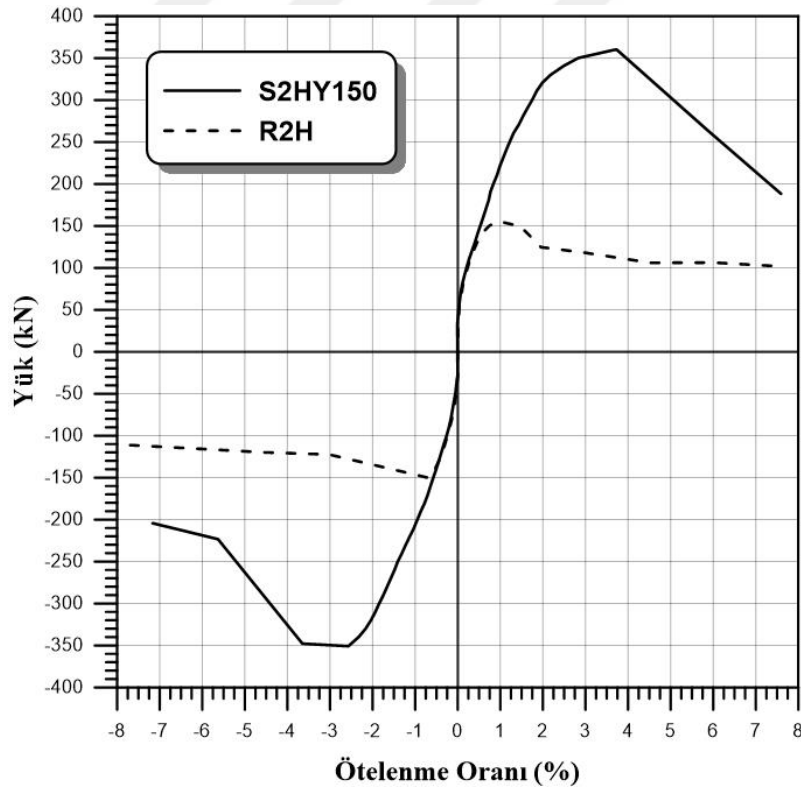
Şekil 6.17. S2LY200 ve R2L elemanlarının yük-ötelenme oranı zarf eğrileri



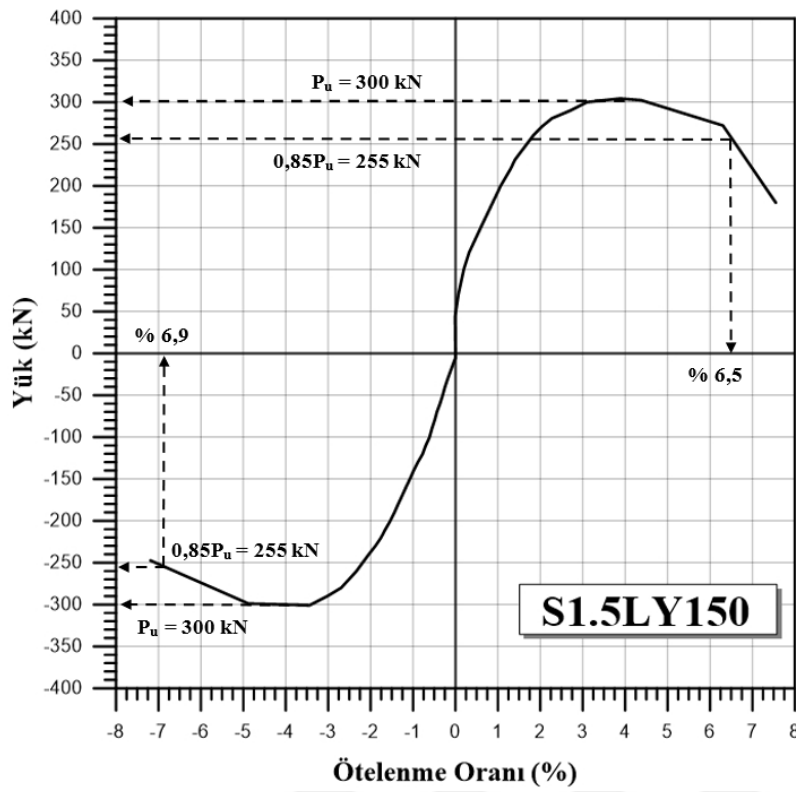
Şekil 6.18. S2HY200 ve R2H elemanlarının yük-ötelenme oranı zarf eğrileri



Şekil 6.19. S2LY150 ve R2L elemanlarının yük-ötelenme oranı zarf eğrileri



Şekil 6.20. S2HY150 ve R2H elemanlarının yük-ötelenme oranı zarf eğrileri



Şekil 6.21. S1.5LY150’de en yüksek ötelenme oranı analizi

Çizelge 6.6. Eksenel yük düzeyi düşük (75 kN/kolon) elemanların en yüksek ötelenme oranları

Deney Elemanı Adı	Süneklik Deformasyonu ($d_{0,85}$) (mm)		En yüksek ötelenme oranı (%)		Ortalama en yüksek ötelenme oranı (%)	Ortalama göreceli ötelenme oranı (R2L’ye göre)
	İleri yön (+)	Geri yön (-)	İleri yön (+)	Geri yön (-)		
R1L	>100	>100	>7,5	>7,5	>7,5	>5,4
R2L	19	17	1,4	1,3	1,4	1,0
S1LY200	73	80	5,5	6,0	5,8	4,1
S1LY150	>100	>90	>7,5	>6,8	>7,1	>5,1
S1.5LY200	97	>95	7,3	>7,1	>7,2	>5,1
S1.5LY150	87	92	6,5	6,9	6,7	4,8
S2LY200	85	78	6,4	5,9	6,1	4,4
S2LY150	>100	65	>7,5	4,9	>6,2	>4,4

Çizelge 6.7. Eksenel yük düzeyi yüksek (150 kN/kolon) elemanların en yüksek ötelenme oranları

Deney Elemanı Adı	Süneklik Deformasyonu ($d_{0,85}$)		En yüksek ötelenme oranı		Ortalama en yüksek ötelenme oranı (%)	Ortalama göreceli ötelenme oranı (R2H'ye göre)
	(mm)		(%)			
	İleri yön (+)	Geri yön (-)	İleri yön (+)	Geri yön (-)		
R1H	>100	>100	>7,5	>7,5	>7,5	>3,4
R2H	23	35	1,7	2,6	2,2	1,0
S1HY200	92	88	6,9	6,6	6,8	3,1
S1HY150	92	88	6,9	6,6	6,8	3,1
S1.5HY200	85	83	6,4	6,2	6,3	2,9
S1.5HY150	90	93	6,8	7,0	6,9	3,1
S2HY200	91	82	6,8	6,2	6,5	3,0
S2HY150	66	58	5,0	4,5	4,8	2,2

Çizelge 6.6 ve 6.7 incelenirken bazı değerlerin önünde büyüktür (>) işareti yer almaktadır. Bu işaret bir nedenle ya da yatay ölçüm cihazının kapasitesinin dolmasıyla deneyin sonlandırıldığını, bu aşamada elemanın maksimum yükünde %15'lik yük kaybının olmadığını ifade etmek için kullanılmıştır. Ötelenme oranı, ileri ya da geri yönde % ">6,8" ve üstü olan sayılarda, elemanların deneylerinde yatay ölçüm cihazının kapasitesi dolmuş ve deney sonlandırılmıştır. S1LY200 elemanının deneyinde ise hatırlanacağı gibi kirişte oluşan kesme kırılması sonucu elemanın deneyine devam edilememiş ve deneyin durdurulduğu andaki yük değerine kadar herhangi bir kayıp olmamıştır.

Çizelge 6.6 ve 6.7 ortak incelendiğinde, kolonlarındaki eksenel yükten bağımsız olarak deney elemanları içerisinde en düşük ötelenme oranları 2 mm kalınlığındaki çelik levha ile güçlendirilmiş S2LY200, S2LY150, S2HY200 ve S2HY150 deney elemanlarına aittir. Bu elemanların deneylerinde rijitleşen duvar, kolon üst uçlarında yatay doğrultuda kesme hasarı oluşturmuş ve ötelenmeyle birlikte ikinci mertebe momentleri yükte büyük kayıplara neden olmuştur. Bu nedenle 2 mm lik levha ile güçlendirilen elemanların ötelenme oranı 1 ve 1,5 mm' lik levha ile güçlendirilmiş elemanlara göre daha düşük olmuştur.

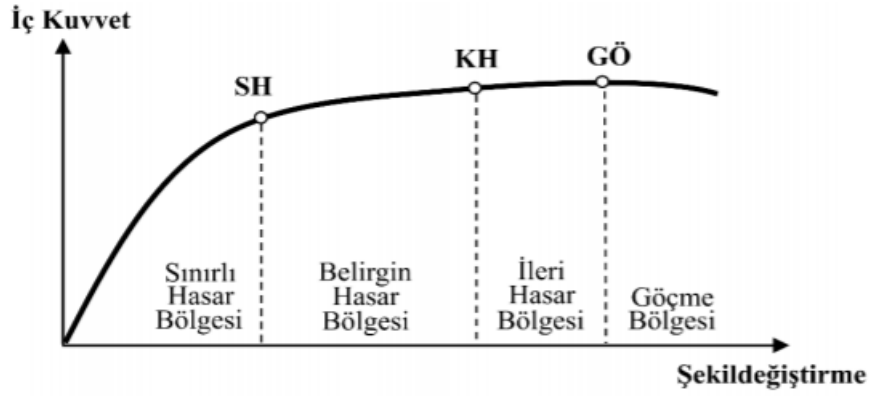
Çizelge 6.6’ da kolonlara uygulanan eksenel yük 75kN/kolon elemanlarda göreceli ötelenme oranları 2mm kullanılan elemanlar dışında en düşük 4,8 olurken en yüksek >5,1 kat olmuştur. Çizelge 6.7 incelendiğinde kolonlara uygulanan eksenel yük 150kN/kolon elemanlarda, güçlendirilmiş elemanların ileri ve geri yönlerdeki $d_{0,85}$ süneklik deformasyonlarının yaklaşık eşit olduğu görülmektedir. Aynı çizelgede R2H’nin geri yöndeki $d_{0,85}$ süneklik deformasyonu ileri yöndeki deformasyondan yaklaşık 2 kat büyüktür. Bu büyüklükten dolayı R2H’ye göre hesaplanan göreceli ötelenme oranlarında, güçlendirilmiş elemanların göreceli ötelenme oranları 2mm kullanılan elemanlar dışında en düşük 2,9 en yüksek 3,1 kat olmuştur.

Hatırlanacağı gibi kirişte oluşan kesme kırılması sonucu deneye son verilen S1LY200 elemanında ise dayanımda %15’lik kayıp olmadan ulaşılan ötelenme oranındaki artış, tuğla dolgu duvarlı referans elemanı R2L’ye göre 4,1 kat olmuştur (Çizelge 6.6). Aynı şekilde 2 mm kalınlığındaki çelik levha ile güçlendirilmiş S2LY200, S2LY150, S2HY200 ve S2HY150 deney elemanlarının ötelenme oranlarındaki artış incelendiğinde, eksenel yük düzeyi düşük elemanlarda 4,4 kat artış oluşurken eksenel yük düzeyi yüksek elemanlarda R2H’ ye rağmen 2,2-3,0 kat arasında artış olmuştur.

Bu çalışmanın temel amaçlarından biri olan güçlendirilmiş dolgu duvarları süneklik davranışı bakımından ideal bir betonarme eleman davranışına yaklaştırmaktır. Bu çalışma doğrultusunda süneklik açısından ulaşılan değerler Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2018)’e göre incelenmeye çalışılacaktır.

“Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç hasar durumu ve hasar sınırı tanımlanmıştır. Bunlar Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) durumları ve bunların sınır değerleridir. Sınırlı hasar ilgili kesitte sınırlı miktarda elastik ötesi davranışı, kontrollü hasar kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranışı, göçme öncesi hasar durumu ise kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışı tanımlamaktadır” (DBYBHY, 2018: 312).

“Kritik kesitlerinin hasarı SH’ya ulaşmayan elemanlar Sınırlı Hasar Bölgesi’nde, SH ile KH arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi’nde, KH ile GÖ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi’nde, GÖ’yü aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi’nde yer alırlar (Şekil 6.22)” (DBYBHY, 2018: 312).



Şekil 6.22. Kesit hasar bölgeleri (DBYBHY, 2018: 312)

“4.9.1.3 – Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i’inci katındaki kolon veya perdelerde, $\delta_i^{(x)}$ etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri $\delta_{i,max}^{(x)}$, aşağıda “a” da verilen koşulları sağlayacaktır.

(a) Gevrek malzemeden yapılmış boşluklu veya boşluksuz dolgu duvarlarının ve cephe elemanlarının çerçeve elemanlarına, aralarında herhangi bir esnek derz veya bağlantı olmaksızın, tamamen bitişik olması durumunda:

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(x)}}{h_i} \leq 0,008\kappa \quad (4,34a)$$

4.9.1.4 – Denk.(4.34)’te yer alan λ katsayısı, binanın gözönüne alınan deprem doğrultusundaki hakim titreşim periyodu için 2.2’de tanımlanan DD-3 deprem yer hareketinin 2.3.4.1’e göre hesaplanan elastik tasarım spektral ivmesi’nin, DD-2 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesi’ne oranıdır. Denk.(4.34)’te yer alan κ katsayısı ise betonarme binalarda $\kappa=1$, çelik binalarda $\kappa=0.5$ alınacaktır” (DBYBHY, 2018: 56).

Yukarıdaki DBYBHY (2018: 56)’ye göre betonarme binalarda ($\kappa=1$) kolon ve perde tasarımında izin verilen görelî kat öteleme oranı %0,8 olmaktadır. Bu çalışmada kapsamında deney elemanları tasarım yüklerine göre test edilmemiştir. Yapılan deneylerde deney elemanlarında ağır hasarlar oluşuncaya kadar etki eden yatay yük sürekli arttırılmıştır. Deneylerde ulaşılan öteleme oranı sonuçlarından betonarme çerçevenin tasarım yükleri altında görelî kat öteleme sınırı olan %0,8 sınırının aşıldığı anlaşılmamalıdır. Tasarım yükleri altında test edilmesi durumunda öteleme oranlarının deneylerde ulaşılan öteleme

oranlarından daha düşük seviyede olacağı bilinmektedir. Ayrıca tasarım yükleri yapıların bulunduğu deprem bölgesi, kat sayısı ve alanı, süneklik düzeyi, binanın kullanım amacı vb. yapısal özelliklere bağlı olduğundan oluşacak deprem yüklerinin, betonarme çerçeve ile taşınacak yüzdesel oranı bilinmemektedir. Bu çalışmada önemli olarak görülen %0,8 öteleme oranı sınırının aşılp aşılmadığı olmayıp yapılan güçlendirme ile dayanımda %15 lik kayıp oluşmadan ulaşılabilen ötelenme oranıdır.

Bu çalışma kapsamında test edilen delikli çelik levhalarla güçlendirilen tuğla dolgu duvar deney elemanların %85 P_u yüklerine karşı gelen ötelenme oranları, deprem şartnamesindeki güçlendirilmiş duvarlar için Sınırlı Hasar bölgesinin görelî kat öteleme oranı limit değeri olan %0,3'ten çok daha ötededir (Çizelge 6.6, 6.7). Deprem yönetmeliğinde (DBYBHY, 2018: 317) güçlendirilmiş dolgu duvarların performans sınırlarını tanımlayan görelî kat öteleme oranları Çizelge 6.8 incelenebilir.

“15.7.3. Güçlendirilen Bölme Duvarlarının Şekil değiştirme Sınırları

Betonarme binalardaki güçlendirilmiş bölme duvarlarının deprem performanslarının belirlenmesinde Çizelge 15.2’de verilen kayma açısı sınırları gözönüne alınacaktır. Kayma açısı, ilgili katta hesaplanan en büyük görelî kat ötelemesinin kat yüksekliğine bölünmesi ile elde edilecektir.”

Çizelge 6.8. Güçlendirilen bölme duvarlar için performans sınırlarını tanımlayan kayma açıları (DBYBHY, 2018: 317)

Kayma açısı (Görelî kat öteleme oranı) (%)	Performans Sınırı		
	SH	KH	GÖ
	0,3	0,5	1,0

Çizelge 6.6 incelendiğinde kolonlarına 75 kN/kolon eksenel yük uygulanan elemanlarda, kirişte oluşan kesme kırılması nedeniyle deneyi durdurulan S1LY200 elemanı dışında, ulaşılan en küçük yatay ötelenme oranı %6,1 olup, güçlendirilmiş dolgu duvarlar ile SH sınırını en az $6,1/0,3 = 20,3$ kat ötelenmiştir. Aynı şekilde Çizelge 6.7 incelendiğinde ise kolonlarına 150 kN/kolon eksenel yük uygulanan elemanlarda ulaşılan en küçük yatay ötelenme oranı %4,8 olup, güçlendirilmiş duvarlar ile SH sınırı en az $4,8/0,3 = 16$ kat ötelenmiştir.

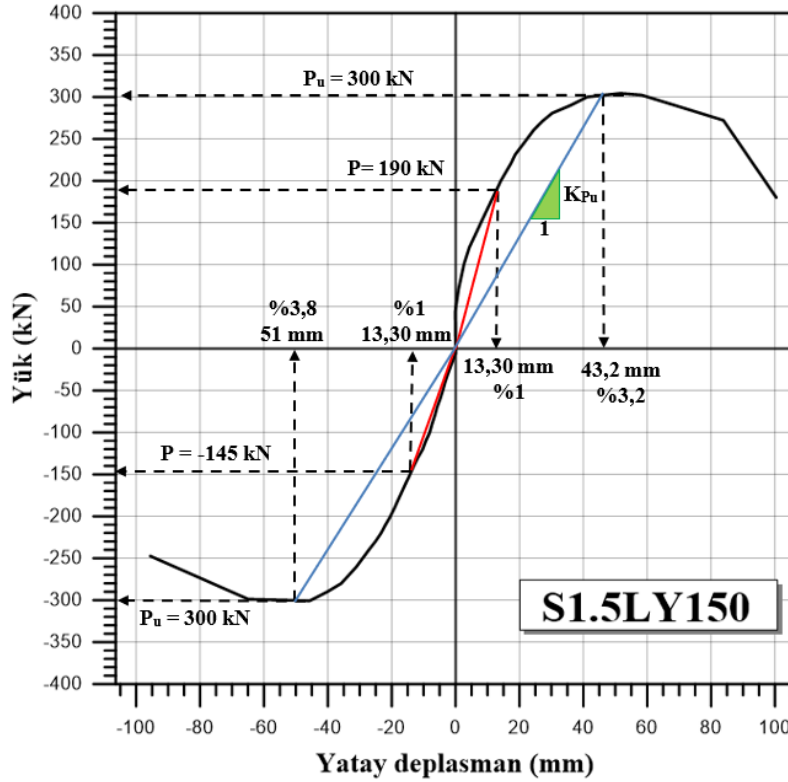
6.2.4. Rijitlik

Rijitlik; elemanların kuvvet etkisinde şekil değiştirmeye karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Eğilme rijitliği de moment-eğrilik grafiğinin eğimi olup bu eğim, elemanın etkin kesit atalet momenti ve malzeme elastisite modülüne göre değişmektedir.

Bu çalışma kapsamında her iki kolon ve duvar üzerinden eğrilik ölçümleri lvdltler ile alınmıştır. Ancak alınan ölçümler ile hesaplanan rijitlikler davranış belirleme açısından yanıltıcı sonuçlar verebilir. Çünkü betonarme için artan yüklerle birlikte elastisite modülünün doğrusal olmayan değişimi ve ölçüm alınan eleman üzerinde oluşacak çatlakların yönü ve sayısı ile rijitlik değişmektedir. Sistem olarak düşünüldüğünde ise etkiyen yatay yükün, elemanın taşıyıcı parçaları olan kiriş, kolon, duvar ve temel içerisindeki dağılımı da oluşan yatay deformasyonla birlikte sürekli değişmektedir. Bu değişkenlerden dolayı moment-eğrilik fonksiyonunun bileşenleri olan yük ve deplasmandan faydalananarak elemanlar arasında göreceli karşılaştırma yapılmasına karar verilmiştir. Bu çalışmada deney elemanlarının genel davranışını açıklayabilmek için elemanlara ait yük-yatay deplasman zarf eğrilerinden öteleme rijitlikleri hesaplanmış ve sonuçlar analiz edilmeye çalışılmıştır. Deney elemanlarının rijitlik karşılaştırmalarında, Deprem yönetmeliğinde (DBYBHY, 2018: 317) güçlendirilen bölme duvarlar için performans sınırlarını tanımlayan üç hasar durumu (SH, KH, GÖ) ve bunların sınır değerleri hedef alınmıştır (Çizelge 6.8).

Çizelge 6.8'e göre Deprem yönetmeliğinde (DBYBHY, 2018: 317) "güçlendirilen bölme duvarlar için göreceli kat öteleme oranı %0,3 sınırlı hasarı (SH), %0,5 kontrollü hasarı (KH), %1' de göçme öncesi hasarı (GÖ)" olarak tanımlanmıştır. Deney elemanlarına ait yatay yüke karşılık gelen yatay deplasmandan elde edilen zarf eğrileri üzerinden tanımlanan bu üç hasar sınırına karşılık gelen yatay deplasman ve bu yatay deplasmanı oluşturan yükün birbirlerine oranı ile rijitlik (K) değerleri hesaplanmıştır. Deneysel çalışmada uygulanan yatay yüke karşılık oluşan yatay ötelenmelerin ölçüm alınan yüksekliğe bölünmesiyle elde edilen ötelenme oranlarında, %0,3 öteleme oranına 3,99 mm deplasman değeri ile ulaşılırken %0,5 öteleme oranına 6,65 mm ve %1 öteleme oranına da 13,30 mm deplasman değeriyle ulaşılmıştır. Örneğin $K_{0.010}$ rijitlik değerleri deney elemanının %1 ötelenme oranına ulaştığı anda ya da 13,30 mm yatay deplasmanı oluşturan yükün, %1 öteleme oranını oluşturan 13,30 mm yatay deplasman değerine bölünmesiyle hesaplanmıştır. Ayrıca $K_{0.010}$ ve K_{Pu} rijitlik

değerlerinin yük-yatay deplasman zarf eğrisi üzerinden nasıl bulunduğu Şekil 6.23 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.23. S1.5LY150 elemanı yük-yatay deplasmanı üzerinde rijitlik analizi ($K_{0,01}$ ve K_{Pu})

Üç hasar sınır durumu (%0,3; %0,5 ve %1,0) ve en büyük yük (P_u) anında oluşan deplasman durumu için bütün deney elemanlarının rijitlikleri hem ileri hem geri yönler için tek tek hesaplanmış ve hesaplanan değerler Çizelge 6.9' da özetlenmiştir.

Çizelge 6.10' da kolonlarına uygulanan eksenel yük düzeyi düşük (75 kN/kolon) olan elemanların ileri ve geri yönlerdeki $K_{0,003}$, $K_{0,005}$, $K_{0,01}$, K_{Pu} rijitliklerin aritmetik ortalamaları ve bu grubun tuğla dolgu duvarlı referans elemanı olan R2L'ye göre göreceli rijitlik oranları gösterilmiştir. Aynı şekilde Çizelge 6.11' de ise kolonlarına uygulanan eksenel yük düzeyi yüksek (150 kN/kolon) olan elemanların ileri ve geri yönlerdeki $K_{0,003}$, $K_{0,005}$, $K_{0,01}$, K_{Pu} rijitliklerin aritmetik ortalamaları ve bu grubun tuğla dolgu duvarlı referans elemanı olan R2H'ye göre göreceli rijitlik oranları da gösterilmiştir.

Çizelge 6.9. Deney elemanlarının rijitlik değerleri

Deney Elemanı Adı	%0,3 ötelenmede rijitlik ($K_{0,003}$) (kN/mm)		%0,5 ötelenmede rijitlik ($K_{0,005}$) (kN/mm)		%1,0 ötelenmede rijitlik ($K_{0,01}$) (kN/mm)		Pu'da rijitlik (K_{Pu}) (kN/mm)	
	İleri yön (+)	Geri yön (-)	İleri yön (+)	Geri yön (-)	İleri yön (+)	Geri yön (-)	İleri yön (+)	Geri yön (-)
R1L	8,8	11,0	7,2	8,6	5,0	5,7	1,2	1,4
R1H	10,0	11,3	7,5	8,4	5,4	5,9	1,8	1,5
R2L	28,8	28,8	20,9	20,8	12,0	11,3	10,5	14,9
R2H	27,6	27,6	20,0	20,2	11,3	10,7	14,7	16,3
S1LY200	22,6	25,1	17,0	19,8	12,0	13,1	5,7	5,5
S1HY200	25,1	21,3	19,5	16,5	13,0	11,8	4,3	4,1
S1LY150	22,6	21,6	16,5	16,5	12,0	11,5	3,2	3,3
S1HY150	22,6	22,6	17,1	17,0	13,2	10,8	5,5	4,6
S1.5LY200	17,5	17,0	14,0	13,5	9,8	9,8	3,6	2,8
S1.5HY200	25,8	25,6	19,2	19,5	13,8	13,1	5,6	5,7
S1.5LY150	28,1	12,5	19,5	12,3	14,3	10,9	7,0	5,9
S1.5HY150	27,6	25,1	21,1	19,5	14,3	13,5	5,5	7,6
S2LY200	15,0	16,3	13,2	14,3	10,2	10,8	4,5	6,3
S2HY200	22,6	21,6	16,5	16,5	12,6	12,4	4,0	5,7
S2LY150	18,8	18,8	15,0	15,0	11,3	11,3	4,7	5,7
S2HY150	28,8	26,1	21,8	19,5	16,5	13,9	7,0	5,9

Çizelge 6.10. Eksenel yük düzeyi düşük (75 kN/kolon) elemanların ortalama rijitlik değerleri ve R2L'ye göre oranları

Deney Elemanı Adı	Ortalama ($K_{0,003}$) (kN/mm)	Ortalama ($K_{0,005}$) (kN/mm)	Ortalama ($K_{0,01}$) (kN/mm)	Ortalama (K_{Pu}) (kN/mm)	R2L'ye göre ortalama ($K_{0,003}$)	R2L'ye göre ortalama ($K_{0,005}$)	R2L'ye göre ortalama ($K_{0,01}$)	R2L'ye göre ortalama (K_{Pu})
R1L	9,9	7,9	5,3	1,3	0,34	0,38	0,45	0,10
R2L	28,8	20,8	11,7	12,7	1,00	1,00	1,00	1,00
S1LY200	23,8	18,4	12,6	5,6	0,83	0,88	1,08	0,44
S1LY150	22,1	16,5	11,8	3,3	0,77	0,79	1,01	0,26
S1.5LY200	17,3	13,8	9,8	3,2	0,60	0,66	0,84	0,25
S1.5LY150	20,3	15,9	12,6	6,5	0,70	0,76	1,08	0,51
S2LY200	15,7	13,8	10,5	5,4	0,55	0,66	0,90	0,43
S2LY150	18,8	15,0	11,3	5,2	0,65	0,72	0,97	0,41

Çizelge 6.11. Eksenel yük düzeyi yüksek (150 kN/kolon) elemanların ortalama rijitlik değerleri ve R2H'ye göre oranları

Deney Elemanı Adı	Ortalama (K _{0,003}) (kN/mm)	Ortalama (K _{0,005}) (kN/mm)	Ortalama (K _{0,01}) (kN/mm)	Ortalama (K _{Pu}) (kN/mm)	R2H'ye göre ortalama (K _{0,003})	R2H'ye göre ortalama (K _{0,005})	R2H'ye göre ortalama (K _{0,01})	R2H'ye göre ortalama (K _{Pu})
R1H	10,7	8,0	5,6	1,7	0,39	0,40	0,51	0,11
R2H	27,6	20,1	11,0	15,5	1,00	1,00	1,00	1,00
S1HY200	23,2	18,0	12,4	4,2	0,84	0,90	1,13	0,27
S1HY150	22,6	17,1	12,0	5,1	0,82	0,85	1,09	0,33
S1.5HY200	25,7	19,4	13,4	5,7	0,93	0,97	1,22	0,36
S1.5HY150	26,3	20,3	13,9	6,6	0,95	1,01	1,26	0,42
S2HY200	22,1	16,5	12,5	4,9	0,80	0,82	1,14	0,31
S2HY150	27,4	20,7	15,2	6,5	0,99	1,03	1,38	0,42

Çizelge 6.12. Deney elemanlarının ortalama beton basınç dayanımları

Deney Elemanı Adı	Ortalama beton basınç dayanımı f _c (Mpa)	Deney Elemanı Adı	Ortalama beton basınç dayanımı f _c (Mpa)
R1L	32,30	R1H	25,56
R2L	28,90	R2H	23,80
S1LY200	19,59	S1HY200	17,36
S1LY150	13,79	S1HY150	14,80
S1.5LY200	15,07	S1.5HY200	25,36
S1.5LY150	24,91	S1.5HY150	18,72
S2LY200	14,88	S2HY200	12,35
S2LY150	17,80	S2HY150	26,55

Kolonlarına eksenel yük uygulanan elemanların aynı grubun duvarlı referans elemanına (R2L/R2H) göre karşılaştırılmasında, Çizelge 6.12 de verilen elemanların ortalama beton basınç dayanımları incelendiğinde beton dayanımlarının Çizelge 6.10 ve 6.11 de hesaplanan K_{0,003}, K_{0,005}, K_{0,01} rijitlik değerleri üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Beton dayanımlarındaki düşüklük, betonarmenin kesit kayma rijitliğini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Hesaplanan rijitlik değerlerinde kullanılan deplasman değerleri %0,3 öteleme oranı için 3,99 mm ve %0,5 öteleme oranı için 6,65 mm olup bu değerlerde oluşan yüklere güçlendirilmiş duvarın etkisinin henüz yansımadığını düşünebiliriz. Ancak %1 öteleme oranına karşılık gelen 13,30 mm deplasman değerinde elemanın beton dayanımı

düşse bile güçlendirilmiş duvarın etkisini $K_{0,01}$ rijitlik oranlarındaki artışla görebiliyoruz. Duvarlı referans elemana göre elde edilen bu artışlar eksenel yük düzeyi düşük olanlarda 1,0 kat civarında iken eksenel yük düzeyi yüksek olanlarda en yüksek 1,38 kat civarında oluşmuştur. Güçlendirilmiş elemanların duvarlı referans elemanına göre hesaplanan K_{Pu} rijitlik oranı değerlerinin düşük olmasının sebebi ise güçlendirilmiş elemanlarda ulaşılan en büyük yük değerine karşılık gelen deformasyonunun da büyük olması ve bununla beraber duvarlı referans elemana göre daha sünek davranmasıdır.

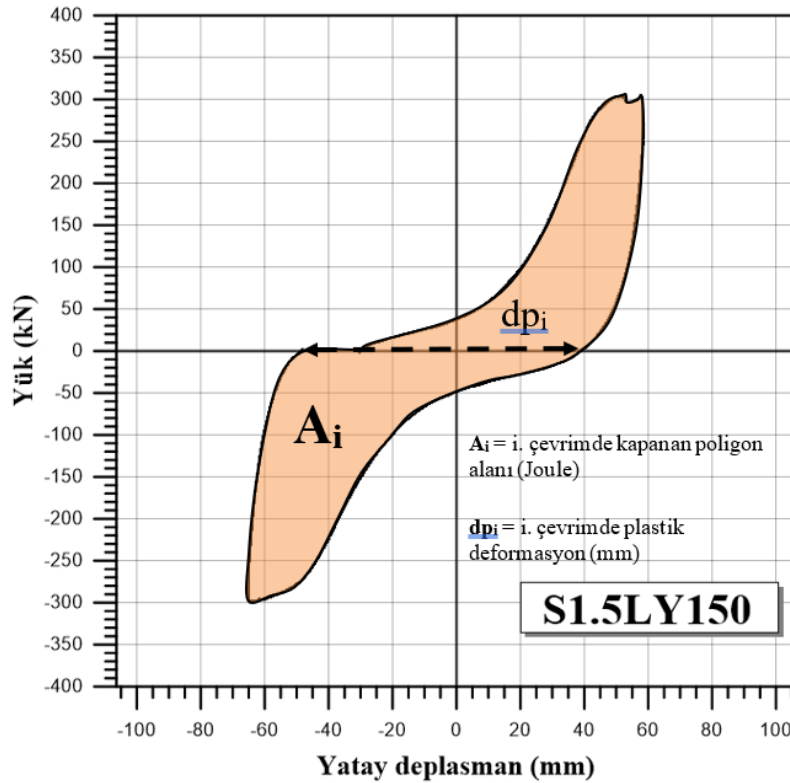
Eksenel yükten bağımsız olarak betonarme çerçeve, 1,0 ile 1,5 mm delikli çelik levha kalınlığına sahip tuğla dolgu duvarlar ile etkin şekilde çalışmış ve deney elemanlarının kolon uçlarında mafsallar oluşmuştur. Duvarların güçlendirilmesinde 2,0 mm kalınlığına sahip delikli çelik levhalar kullanıldığında ise duvar çerçeveye göre kısmen rijit olmuş ve betonarme çerçeve güçlendirilmiş duvar karşısında biraz zayıf kalmıştır. Bu elemanların deneylerinde ise kolon uçlarında eğilme hasarlarına ek olarak kesme hasarları da oluşmuştur. Oluşan kesme hasarların sonucunda sistem yatay ötelenme karşısında zayıf düşmüş ve bu durumun sonucu olarak yük-yatay deplasmanlardan elde edilen zarf eğrilerinde rijitlik kaybı olarak görülmüştür.

Özet olarak güçlendirilmiş deney elemanlarına ait ileri hasar bölgesinin üst sınırı olan $K_{0,01}$ rijitlik değerlerinin, duvarlı referans elemana göre genel bir değerlendirmesi yapıldığında; duvarlar üzerinde yapılan güçlendirme işlemi ile %0,01 ötelenme oranlarına ulaşılması durumunda dahi duvarda uygulanan yöntem nedeniyle 104 ya da 118 arası sayıda açılmış deliklere rağmen duvarın rijitliğinin düşmediği görülmüştür. Ayrıca sistemin kapasitesinin de ortalama 1,2 kata kadar da artabileceği anlaşılmıştır.

6.2.5. Enerji dönüşümü

“Betonarme yapılar ve taşıyıcı yapı elemanları sünek olarak tasarlandıklarında elasto-plastik davranış gösterirler. Böyle bir sisteme gelen deprem enerjisi yeterince büyükse yapı plastik davranış bölgesine geçerek, deprem tarafından yapıya aktarılan enerjinin büyük bir kısmını deformasyon enerjisine dönüştürür. Bir başka deyişle yapı ne kadar sünekse deformasyonla dönüştürebildiği enerji de o kadar fazla olur. Bu nedenle taşıyıcı sistem elemanlarının enerji dönüştürme kapasiteleri deprem yükleri altında yapının ayakta kalması açısından oldukça önemlidir” (Aykaç, 2000).

Kuvvetin yaptığı iş dönüştürdüğü enerjiye eşittir. Ayrıca iş, enerji ile aynı birimle (Joule) ifade edilirken negatif değeri de yoktur. Yani yönden bağımsızdır. Bu açıklamalar ile birlikte deney elemanlarına ait yük yatay deplasman grafiklerinin her bir çevriminin, ileri ve geri yöndeki, kapalı alanlarının toplamını dönüştürülen enerji olarak söyleyebiliriz. S1.5LY150 elemanına ait örnek bir şematik görsel ile herhangi bir çevrimdeki dönüştürülen enerji, kapalı poligon içerisindeki alan olarak Şekil 6.24 de gösterilmiştir.



Şekil 6.24. S1.5LY150 elemanına ait bir çevrimde enerji dönüştürme analizi yöntemi

Bütün çevrimler için ayrı ayrı hesaplanan alanların kümülatif toplanmasıyla dönüştürülen enerji (joule) ve elemanın dönüştürülen toplam enerjiye karşılık yapmış olduğu toplam plastik yatay deformasyonlar da (mm) olarak hesaplanmıştır. Dönüştürülen bu toplam enerjilerin eksenel yük düzeyi düşük olan grubun kendi referans (R1L ve R2L) elemanlarına göre göreceli oranları Çizelge 6.13'te, eksenel yük düzeyi yüksek olan grubun kendi referans (R1L ve R2L) elemanlarına göre göreceli oranları ise Çizelge 6.14'te hesaplanarak verilmiştir. Çizelgeler de enerjilerin ve oranların önünde yer alan ">" işareti o elemanların deneylerinde deney sistemindeki sınırlı ölçüm kapasitelerinden dolayı sonlandırılmış olduğunu ve deney elemanının tam kapasitesinin ölçülemediğini göstermektedir. Bu nedenle

güçlendirilmiş elemanlarda hesaplanmış olan toplam enerjinin, Çizelge 6.13 ve 6.14'te elemanların gerçekte dönüştürülebileceği toplam enerjiden daha az olduğu için “>” işaretleri kullanılmıştır.

Çizelge 6.13. Dönüştürülen toplam enerji miktarları ve kümülatif plastik deformasyonlar

Deney Elemanı Adı	Dönüştürülen Toplam Enerji (Joule)	Plastik Yatay Deformasyonlar Toplamı (mm)	Göreceli Enerji Dönüştürme (R2L'ye göre)	Göreceli Enerji Dönüştürme (R1L'ye göre)
R1L	58621	344	1,06	1,00
R2L	55310	311	1,00	0,94
S1LY200	78487	483	1,42	1,34
S1LY150	>114272	>709	>2,07	>1,95
S1.5LY200	>91908	>650	>1,66	>1,57
S1.5LY150	111880	607	2,02	1,91
S2LY200	107740	710	1,95	1,84
S2LY150	>120016	>806	>2,17	>2,05

Çizelge 6.14. Dönüştürülen toplam enerji miktarları ve kümülatif plastik deformasyonlar

Deney Elemanı Adı	Dönüştürülen Toplam Enerji (Joule)	Plastik Yatay Deformasyonlar Toplamı (mm)	Göreceli Enerji Dönüştürme (R2H'ye göre)	Göreceli Enerji Dönüştürme (R1H'ye göre)
R1H	45204	160	0,87	1,00
R2H	52019	165	1,00	1,15
S1HY200	119880	652	2,30	2,65
S1HY150	115683	645	2,22	2,56
S1.5HY200	137653	668	2,65	3,05
S1.5HY150	151786	732	2,92	3,36
S2HY200	140393	789	2,70	3,11
S2HY150	142431	741	2,74	3,15

Kirişi kesmeye karşı güçlendirilmemiş ve ani kesme kırılmasıyla taşıma gücüne ulaşan S1LY200'ün enerji dönüştürme yeteneğinde, kirişi güçlendirilmiş olan referans elemanlara (R1L ve R2L) göre yine de %30-40 oranında artış görülmüştür (Çizelge 6.13). Bu çalışma kapsamında delikli levhaların sistemin enerji dönüştürme kapasitesini arttırabildiği görülmüş, ancak güçlendirilmiş kolonlar karşısında zayıf düşen kirişte oluşan kesme

kırılması ile güçlendirilmiş duvarın tam kapasitesi görülememiştir. Bu S1LY200 elemanına ait deneyden sonra referanslar dahil duvarları güçlendirilmiş elemanlarda Bölüm 5.4.1’de anlatılan yöntemlerle kirişin kesme güvenliği arttırılmıştır.

Genel olarak Çizelge 6.13 ve Çizelge 6.14 incelendiğinde; betonarme çerçevedeki kirişin kesmeye karşı güçlendirilmesiyle duvarlara delikli levhalarla yapılan takviye ile sistemin enerji dönüştürme kapasitesinde, duvarlı referans elemanlara göre ortalama 2-2,5 kat artış görülmüştür. Bu büyük artışlara genel olarak dayanımda önemli bir kayıp oluşmadan ulaşılmıştır.

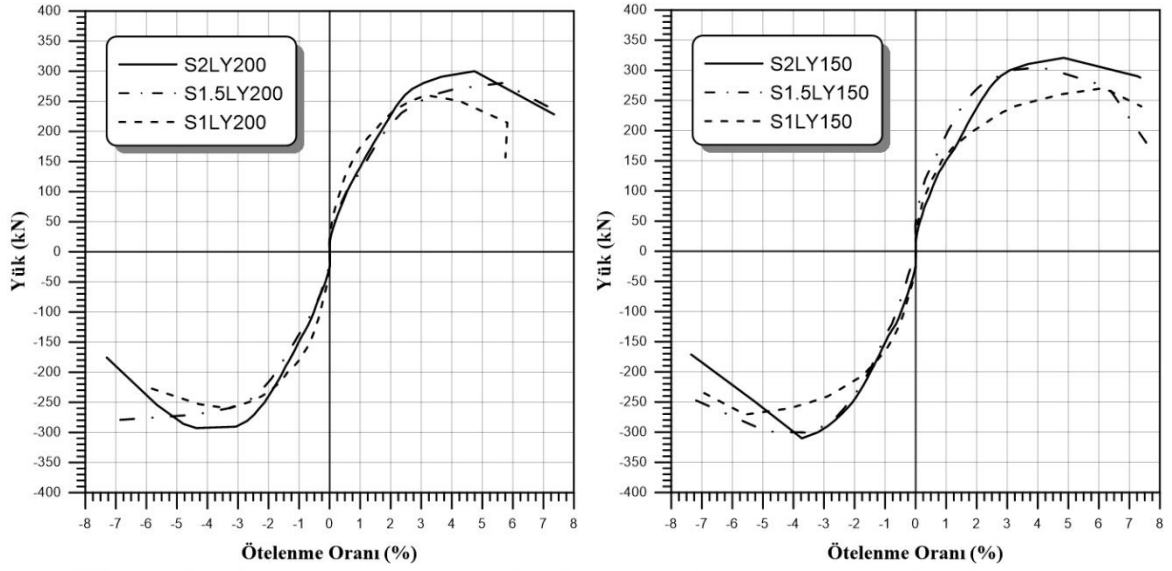
Sonuç olarak yapılan çalışmada, delikli çelik levhalarla yapılan güçlendirmenin enerji dönüştürebilme konusunda katkı sağlayabilmesi için betonarme çerçevedeki kolonlar ve kirişin kesmeye karşı yeterli güvenliklerinin olması gerektiği ortaya çıkmıştır. Ayrıca kolonlar ve kirişi kesmeye karşı güçlendirilmiş betonarme çerçeve, delikli çelik levhalarla güçlendirilen tuğla dolgu duvarları yüksek enerji dönüştürebilen seviyelere ($R2L/H'$ ye göre 2,0-2,5 kat) ulaştırmıştır.

6.3. Güçlendirilmiş Deney Elemanları Arasında Karşılaştırma

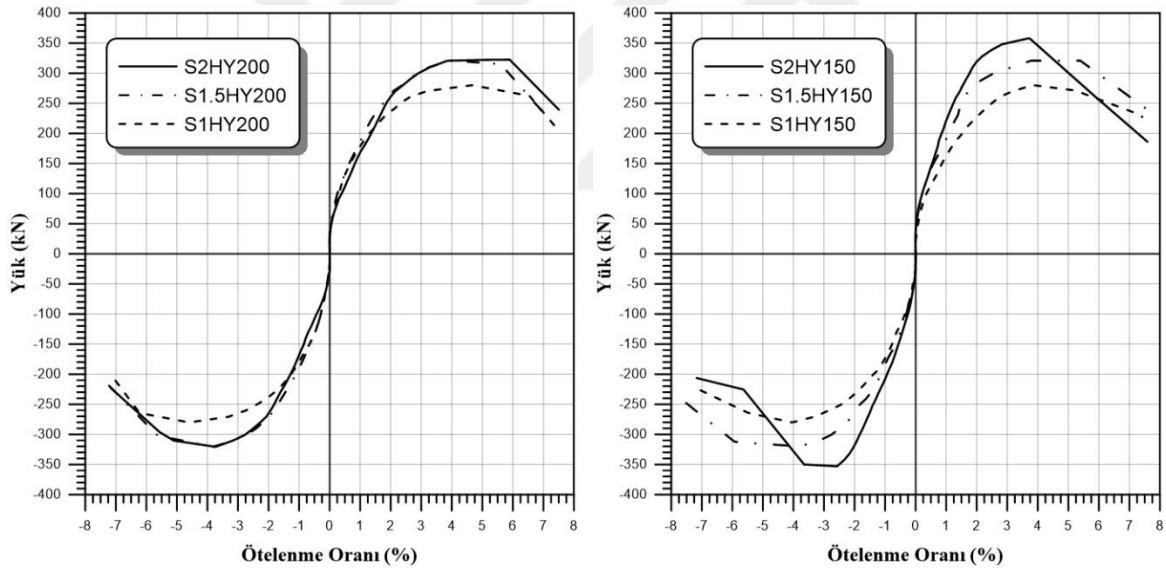
Karşılaştırmaların bu aşamasında ise güçlendirilmiş deney elemanlarının birbiri içerisinde deney parametrelerinin davranışı nasıl değiştirdiği araştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar yapılırken genel davranışı belirleyen temel değerlendirmelerden dayanım, rijitlik, süneklik, ötelenme oranları ve enerji dönüştürme kapasitesinden yararlanılmıştır.

6.3.1. Delikli çelik levha kalınlıklarına göre karşılaştırma

Bu çalışma kapsamında üç farklı (1,0-1,5-2,0 mm) kalınlıkta delikli çelik levha kullanılmıştır. Çalışma kapsamındaki deney elemanlarına ait yapısal özelliklere Bölüm 4.3’te ayrıntılı olarak yer verilmiştir (bkz. Çizelge 4.1). Değişken olarak seçilen levha kalınlıklarının eleman davranışına olan etkisini anlayabilmek için levha kalınlığı haricindeki diğer parametrelerin sabit tutulduğu elemanlar için yatay yüke karşılık gelen yatay ötelenme oranı zarf eğrileri kendi içinde gruplandırılmış ve karşılaştırmalı olarak çizilerek ayrı ayrı Şekil 6.40, 6.41’de gösterilmiştir.



Şekil 6.25. Eksenel yük düzeyi düşük (75 kN/kolon) elemanların levha kalınlıklarına göre karşılaştırılması



Şekil 6.26. Eksenel yük düzeyi yüksek (150 kN/kolon) elemanların levha kalınlıklarına göre karşılaştırılması

Yorumlara geçilmeden önce S1LY200 elemanının kirişinde kablo sargılamasının olmadığı ve kirişte kesme kırılmasının oluşması sonucu elemanın dayanım olarak zorlanamadığı tekraren hatırlatılır. Karşılaştırmaların kolay ve anlaşılabilir olması adına levha kalınlıklarının etkilerinin görülebilmesi için elemanların ortalama dayanım, ortalama ötelenme oranı, SH (sınırlı hasar) bölgesi rijitliği ve toplam enerji dönüştürme değerleri

özetlenerek Çizelge 6.15’ te sunulmuştur. Çizelge 6.15’ te kullanılan “>” işaretlerinin açıklaması Bölüm 6.2.3 ve 6.2.5’te ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Çizelge 6.15. Güçlendirilmiş elemanların levha kalınlıklarına göre performans özetleri

Deney Elemanı Adı	Ortalama dayanım (P_{uort}) (kN)	Ortalama en yüksek ötelenme oranı ($d_{0,85}$ ’de) (%)	%0,3 Ötelenmedeki (SH) Ortalama Rijitlik ($K_{0,003}$) (kN/mm)	Toplam Enerji Dönüştürme (Joule)
S1LY200*	260	5,8	23,8	78487
S1.5LY200	280	>7,2	17,3	>91908
S2LY200	295	6,1	15,7	107740
S1LY150	270	>7,1	22,1	>114272
S1.5LY150	300	6,7	20,3	111880
S2LY150	315	>6,2	18,8	>120016
S1HY200	280	6,8	23,2	119880
S1.5HY200	320	6,3	25,7	137653
S2HY200	321	6,5	22,1	140393
S1HY150	280	6,8	22,6	115683
S1.5HY150	320	6,9	26,3	151786
S2HY150	355	4,7	27,4	142431

Kolonlarında düşük veya yüksek düzeyde eksenel yük bulunan deney elemanlarının nihai dayanımları delikli levha kalınlığı ile birlikte sürekli artan şekilde olmuştur. Kolonlarına uygulanan eksenel yük düzeyi düşük elemanlarda 1,0 mm lik levha kalınlığı kullanılan eleman referans kabul edilecek olursa, 1,5 mm lik levha dayanımında %9 artış sağlarken; 2,0 mm lik levhada, %15 artış sağlamıştır. Aynı şekilde kolonlarına uygulanan eksenel yük düzeyi yüksek elemanlarda aynı şekilde 1,0 mm delikli levha kalınlığı referans olduğunda, 1,5 mm lik levhada, dayanımında %14 artış sağlarken; 2,0 mm lik levhada, %20 artış sağlamıştır. Bu elemanların kolonlarında eksenel yük düzeyinin artmasıyla, kolonların üst ve alt uçlarındaki ara kesitlerde yatay ötelenme sınırlı düzeyde kalmış ve her iki yük düzeyi içinde 2,0 mm levha kalınlığının duvar rijitliğini arttırması sonucunda elemanların dayanımında artış gözlenmiştir. Ancak bu artış sınırlı düzeyde olup levha kalınlığının 1,5 mm’den 2,0 mm’ye çıkmasıyla ortalama %5 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.15).

Her bir levha grubundaki deney elemanları için hesaplanan sınırlı hasar bölgesini tanımlayan $K_{0,003}$ rijitliğinin aritmetik ortalaması alındığında rijitlik değerleri yaklaşık eşit çıkmaktadır. Ancak aynı levha kalınlığına sahip farklı eksenel yüke sahip elemanlarda ise eksenel yükün artmasıyla ötelenmenin sınırlandığı ve rijitlik değerlerinin de arttığı görülmüştür. 2 mm kalınlığa sahip levhalarla takviye edilen elemanların deneylerinde duvarın çok rijit olmasıyla kolon ile temelin birleştiği ara kesitte kısa konsollarda oluşan kesme hasarlarına benzer hasarlar oluşmuştur. Kolon uç bölgelerinde oluşan kesme hasarı sonucunda sistemde yatay ötelenmeye karşı dirençte azalma olmuş, rijitlik düşmüş ve yük-yatay ötelenme zarf eğrilerinde bu durum görülmektedir (Şekil 6.40-41). Farklı levha kalınlıklarına göre güçlendirilen elemanların deney sonu dolgu duvar hasar durumları incelendiğinde 2,0 mm levha kalınlığına sahip elemanlarda hasarın belirgin biçimde en hafif düzeyde kaldığı ve delikli levhalarda buruşmaların en az neredeyse hiç oluşmadığı, şekil değiştirmelerin ise neredeyse sıfıra yakın olduğu gözlemlenmiştir (bkz. Resim 5.36, 5.39, 5.43, 5.46).

Kirişi kesmeye karşı güçlendirilmemiş ve taşıma gücüne ani kesme kırılmasıyla ulaşan S1LY200 elemanı değerlendirme dışı bırakıldığında, ortalama enerji dönüştürme kapasiteleri incelendiğinde 1,0 ve 1,5 mm levha kalınlığına sahip elemanların yaklaşık birbirine denk olduğu görülmüştür. 2,0 mm kalınlığındaki delikli levhalar ile takviye edilen elemanların, eksenel yük düzeyi yüksek olanların dönüştürdükleri enerji miktarları oldukça yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu grubun enerji dönüştürme yetenekleri diğer gruplara göre %17'lere kadar artış göstermiştir (Çizelge 6.15).

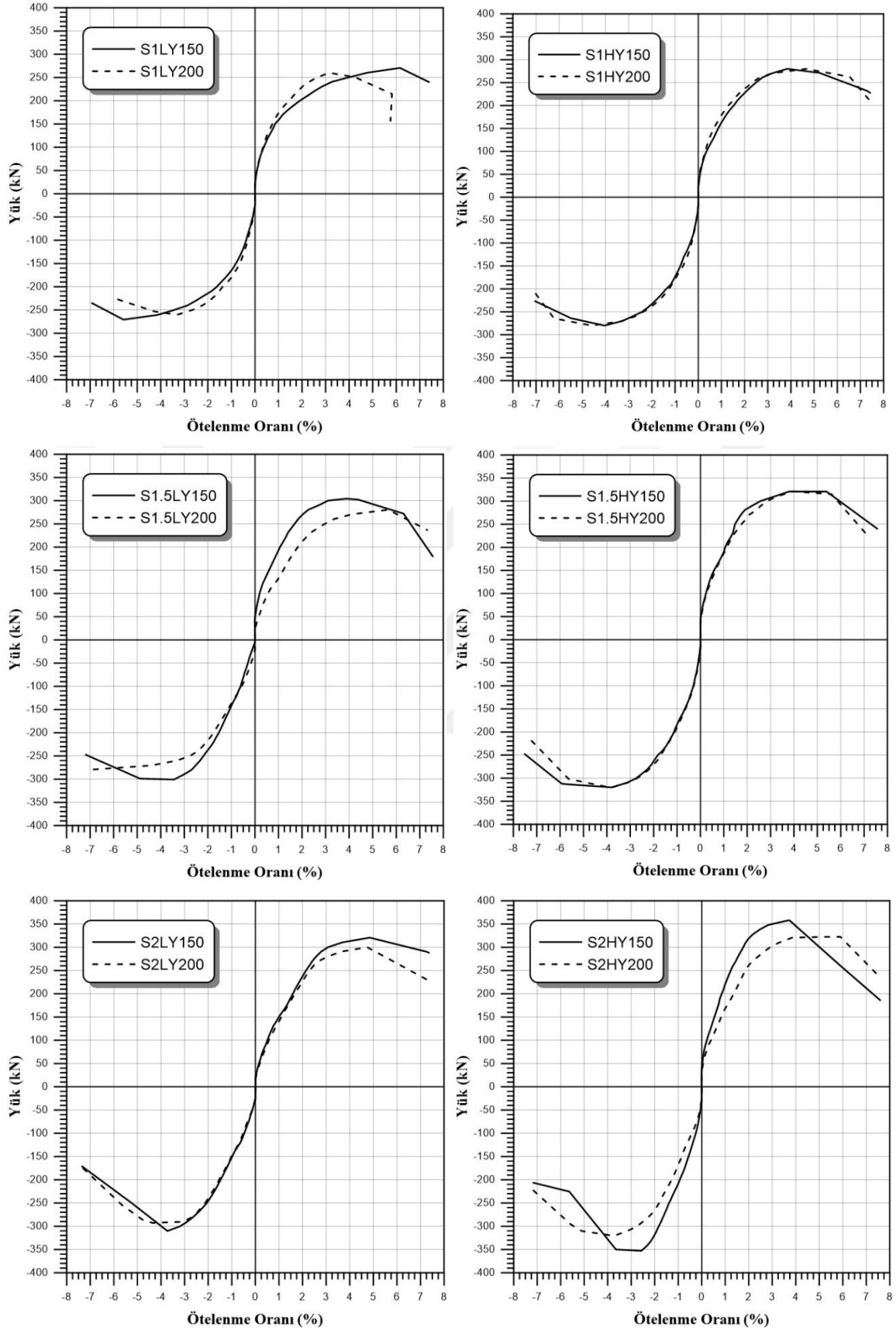
6.3.2. Delikli çelik levhaları bulonlama aralığına göre karşılaştırma

Çalışma kapsamında delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş tuğla dolgu duvarlı deney elemanlarında belirlenen bir diğer parametre olan bulon aralığı 200 mm ve 150 mm olarak ayarlanmıştır. Bu aralıklar daha önce yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar doğrultusunda duvar orta bölgesinde geçerli olup, bulon aralığı duvar köşelerinde sıklaştırma yapılarak 100 mm sabit tutulmuştur (bkz Resim 4.4). Deney elemanlarına ait genel özellikler Bölüm 4.3'te ayrıntılı şekilde anlatılmıştır (bkz. Çizelge 4.1). Seçilen iki tip bulon aralığının değişmesiyle elemanların davranışlarına olan etkisi, çalışma kapsamındaki diğer parametreler sabit tutulmuş, elemanlara ait yük-yatay ötelenme oranı zarf eğrileri çizilerek Şekil 6.27'de gösterilmiştir.

Bulon aralığı değişiminin deney elemanları üzerindeki etkilerinin kolay ve anlaşılabilir olması için aynı özelliklere sahip ancak bulon aralığı değişken kabul edilen elemanlar bir araya getirilmiş, ortalama dayanım, ortalama ötelenme oranı, SH (sınırlı hasar) bölgesi rijitliği ve toplam enerji dönüştürme değerleri özetlenerek Çizelge 6.16’da sunulmuştur. Çizelge 6.16’da kullanılan “>” işaretlerinin açıklaması daha önce Bölüm 6.2.3’te ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Çizelge 6.16. Güçlendirilmiş elemanların bulon aralığına göre performans özetleri

Deney Elemanı Adı	Ortalama dayanım (P_{uort}) (kN)	Ortalama en yüksek ötelenme oranı ($d_{0,85}$ ’de) (%)	%0,3 Ötelenmedeki (SH) Ortalama Rijitlik ($K_{0,003}$) (kN/mm)	Ortalama Enerji Dönüştürme (Joule)
S1LY200	260	5,8	23,8	78487
S1LY150	270	>7,1	22,1	>114272
S1HY200	280	6,8	23,2	119880
S1HY150	280	6,8	22,6	115683
S1.5LY200	280	>7,2	17,3	>91908
S1.5LY150	300	6,7	20,3	111880
S1.5HY200	320	6,3	25,7	137653
S1.5HY150	320	6,9	26,3	151786
S2LY200	295	6,1	15,7	107740
S2LY150	315	>6,2	18,8	>120016
S2HY200	321	6,5	22,1	140393
S2HY150	355	4,7	27,4	142431



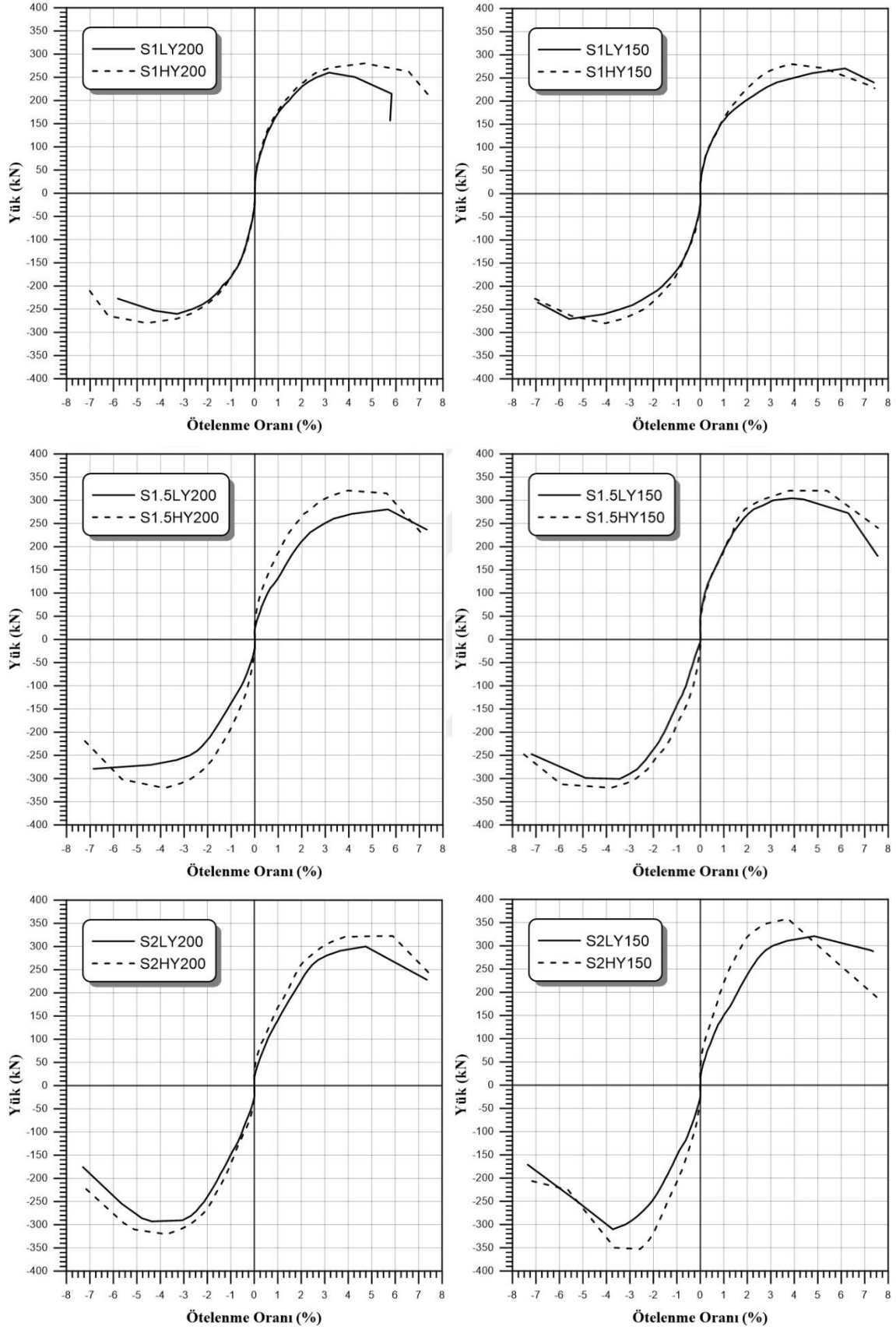
Şekil 6.27. Güçlendirilmiş eksenel yüklü elemanların bulon aralığına göre karşılaştırılması

Çizelge 6.16 ve Şekil 6.27 beraber incelendiğinde bulon aralığının değiştirilmesi durumunda elemanın genel davranışını etkin biçimde değiştirmedeği görülmüştür. Şekil 6.27 detaylı incelendiğinde eğrilerin neredeyse üst üste çakışmış olduğu görülmektedir. Aynı şekilde Çizelge 6.16 incelendiğinde de 200 mm ve 150 mm bulon aralığına sahip aynı özelliklerdeki elemanların dayanım, ötelenme oranı, sınırlı hasar bölgesi rijitliği ve enerji dönüştürme değerleri yaklaşık eşit çıkmıştır. Oluşan küçük farklılıkların her eleman için düzenli bir şekilde devam etmemesi ve bu farklılıkların deneysel betonarme eleman çalışmalarına özgü nedenlerden dolayı oluşabildiğini göstermiştir.

Bu araştırmanın ön çalışmalarından biri olan yalnızca tuğla duvarlar üzerinde yapılan deneylerde, parametre olan bulon aralığının eleman davranışını etkileyen önemli faktörlerden biri olduğu belirtilmektedir (Babayani, 2012; Seydanlıoğlu, 2013). Ancak bu çalışmada köşe bölgelerde standart 100 mm sıkılaştırma uygulaması haricinde (bkz. Resim 4.4) orta bölgede uygulanan bulon aralığının 150 mm'den 200 mm'ye düşürülmesi eleman davranışında olumsuz bir değişikliğe neden olmamıştır.

6.3.3. Delikli çelik levhaları eksenel yük düzeyine göre karşılaştırma

Çalışma kapsamında delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş tuğla dolgu duvarlı deney elemanlarında belirlenen parametrelerden kıyaslama olarak son olarak betonarme çerçevenin kolonlarına verilen eksenel yük değerleri “75 kN ve 150 kN” olarak ayarlanmış ve isimlendirmede sırasıyla “L ve H” harfleriyle temsil edilmiştir. Eksenel yük düzeyinin değişmesiyle elemanların davranışlarına olan etkisi, çalışma kapsamındaki diğer parametreler sabit tutulmuş elemanlara ait yük-yatay ötelenme oranı zarf eğrileri çizilerek Şekil 6.27’de gösterilmiştir. Eksenel yük düzeyinin davranışa olan etkisinin incelemesi yapılırken öncelikle S1LY200 elemanının deneyinde kirişte kesme kırılması oluşmasından dolayı elemanın yeterince zorlanamadığı tekrardan belirtmek faydalı olacaktır. Bu nedenle söz konusu elemana bazı değerlendirmelerde yer verilmemiştir. Eksenel yük değişiminin deney elemanları üzerindeki etkilerinin kolay ve anlaşılabilir olması için aynı özelliklere sahip ancak eksenel yükü değişken kabul edilen elemanlar bir araya getirilemiş ortalama dayanım, ortalama ötelenme oranı, SH (sınırlı hasar) bölgesi rijitliği ve toplam enerji dönüştürme değerleri özetlenerek Çizelge 6.17’de sunulmuştur. Çizelge 6.17’de kullanılan “>” işaretlerinin açıklaması daha önce Bölüm 6.2.3’te ayrıntılı olarak anlatılmıştır.



Şekil 6.28. Güçlendirilmiş elemanların eksenel yük düzeyine göre karşılaştırılması

Çizelge 6.17. Güçlendirilmiş elemanların eksenel yük düzeyine göre performans özetleri

Deney Elemanı Adı	Ortalama dayanım (P_{uort}) (kN)	Ortalama en yüksek ötelenme oranı ($d_{0,85}$ 'de) (%)	%0,3 Ötelenmedeki (SH) Ortalama Rijitlik ($K_{0,003}$) (kN/mm)	Ortalama Enerji Dönüştürme (Joule)
S1LY200	260	5,8	23,8	78487
S1HY200	280	6,8	23,2	119880
S1LY150	270	>7,1	22,1	>114272
S1HY150	280	6,8	22,6	115683
S1.5LY200	280	>7,2	17,3	>91908
S1.5HY200	320	6,3	25,7	137653
S1.5LY150	300	6,7	20,3	111880
S1.5HY150	320	6,9	26,3	151786
S2LY200	295	6,1	15,7	107740
S2HY200	321	6,5	22,1	140393
S2LY150	315	>6,2	18,8	>120016
S2HY150	355	4,7	27,4	142431

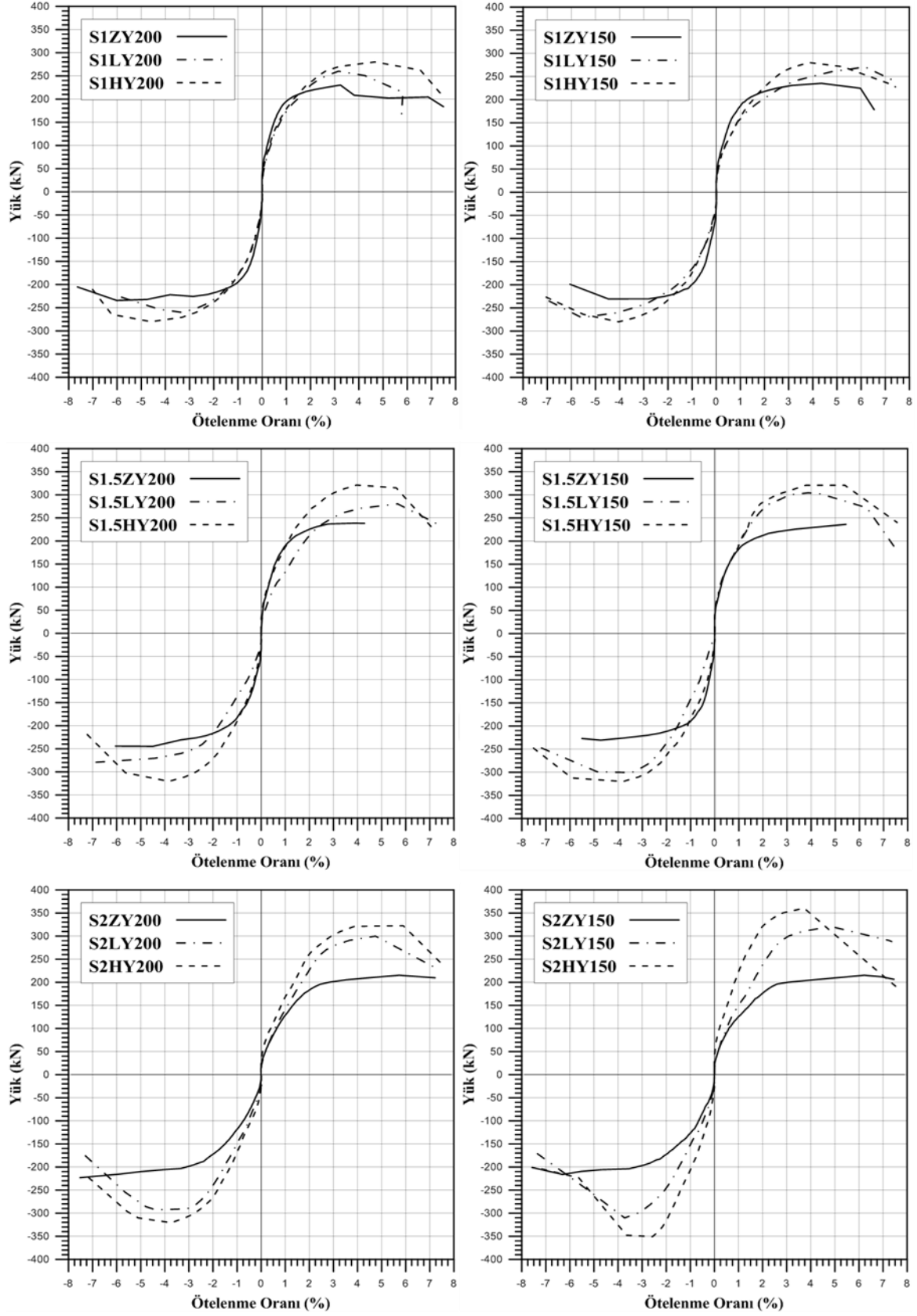
Çizelge 6.17. ve Şekil 6.28 beraber değerlendirildiğinde kolonlara uygulanan eksenel yükün (75 kN, 150 kN) dayanıma etkisinin genel sonucuna bakılacak olursa, eksenel yük arttıkça dayanımın da beklendiği gibi arttığı görülmüştür. Betonarme çerçevenin kolonlarına uygulanan eksenel yükün 75 kN'dan 150 kN'a çıkmasıyla dayanımda %4-14 aralığında artış görülmüştür. Bununla beraber dayanımda oluşan en az fark 1,0 mm levha kalınlığındaki elemanlar arasında yapılan karşılaştırmada gözlenmiştir (Çizelge 6.17).

Kolonlarda eksenel yükün artmasıyla dayanımda sağlanan artışların doğal sonucu olarak ulaşılan en yüksek ötelenme oranlarında da bir miktar azalma meydana gelmiştir. Bunun sebebi güçlendirilmiş duvar sünekliğinin azalması değil betonarme kolon sünekliğinin azalmasıdır. Deneylerde, kolonlara deprem yönetmeliğinde izin verilen maksimum eksenel yüklere yakın yükler verilmiştir. Ancak kolonları gerçek anlamda zorlayan bu yüklere rağmen sistem, delikli levhaların etkisiyle oldukça sünek davranmıştır. Ulaşılan ötelenme oranları, çok iyi donatılandırılmış bir döküm perde duvarlar kadar yüksek çıkmıştır. Bir başka ifadeyle deney elemanları sünek betonarme perde duvar davranışı göstermiştir.

Şekil 6.28’ de eğrilerin çıkış kolları incelendiğinde eksenel yükün artması ile sınırlı hasar bölgesi rijitliğinin de arttığı görülmüştür. Ayrıca artan eksenel yüklerle beraber eleman dayanımlarının artması ve süneklikte de oluşan kaybın oldukça az olması enerji dönüştürmelerin de artmasına neden olmuştur.

Çizelge 6.18. Özbek’in (2015) çalışması ile bu çalışmadaki güçlendirilmiş elemanların eksenel yük düzeyine göre gruplandırılmış performans özetleri

Deney Elemanı Adı	Ortalama dayanım (Puort) (kN)	Ortalama en yüksek ötelenme oranı (d0,85’ de) (%)	Ortalama Enerji Dönüştürme (Joule)
S1ZY200	232	>7,3	>93800
S1LY200	260	5,8	78487
S1HY200	280	6,8	119880
S1ZY150	233	>6,1	>85500
S1LY150	270	>7,1	>114272
S1HY150	280	6,8	115683
S1.5ZY200	241	>5,2	>76950
S1.5LY200	280	>7,2	>91908
S1.5HY200	320	6,3	137653
S1.5ZY150	233	>5,8	>82600
S1.5LY150	300	6,7	111880
S1.5HY150	320	6,9	151786
S2ZY200	219	>7,5	>96100
S2LY200	295	6,1	107740
S2HY200	321	6,5	140393
S2ZY150	216	>7,5	>101750
S2LY150	315	>6,2	>120016
S2HY150	360	4,7	142431



Şekil 6.29. Özbek'in (2015) çalışması ile bu çalışmadaki güçlendirilmiş elemanların eksenel yük düzeyine göre karşılaştırılması

Çizelge 6.18 incelendiğinde kolonlara uygulanan eksenel yükün (0 kN, 75 kN, 150 kN) dayanıma etkisinin genel sonucuna bakılacak olursa, eksenel yük arttıkça dayanımında beklendiği gibi arttığı görülmüştür. Aradaki fark betonarme çerçevenin kolonlarında eksenel yükün sıfır olduğu duruma göre, kolonlardaki eksenel yük 75 kN olduğunda ortalama %44 ve kolonlardaki eksenel yük 150 kN olduğunda ortalama %57 olmakla beraber, en az dayanım farkının 1,5 mm levha kalınlığındaki deney elemanlarının arasında yapılan karşılaştırmada olduğu gözlenmiştir (Çizelge 6.18).

Kolonlarda eksenel yükün artmasıyla dayanımda sağlanan artışların doğal sonucu olarak ulaşılan en yüksek ötelenme oranlarında da bir miktar azalma meydana gelmiştir. Bunun sebebi güçlendirilmiş duvar sünekliğinin azalması değil betonarme kolon sünekliğinin azalmasıdır. Deneylerde, kolonlara deprem yönetmeliğinde izin verilen maksimum eksenel yüklere yakın yükler verilmiştir. Ancak kolonları gerçek anlamda zorlayan bu yüklere rağmen sistem, delikli levhaların etkisiyle oldukça sünek davranmıştır. Ulaşılan ötelenme oranları, çok iyi donatılandırılmış bir döküm perde duvarlar kadar yüksek çıkmıştır. Bir başka ifadeyle deney elemanları sünek betonarme perde duvar davranışı göstermiştir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında; kolonları eksenel yüklü betonarme çerçeve içerisindeki tuğla dolgu duvarların delikli çelik levhalarla güçlendirilmesi ile sistem davranışı üzerindeki etkilerini araştırmak için bir dizi deney yapılmıştır. Çalışmada laboratuvar şartları göz önüne alınarak üretilen elemanlar $\frac{1}{2}$ ölçekli, tek açıklıklı, tek katlı olup 4'ü referans olmak üzere 16 adet deney elemanı laboratuvarında test edilmiştir. Hazırlanan deney elemanları kolon-kiriş ve rijit temelden oluşan betonarme çerçevenin içerisine tuğla dolgu duvar örülmesiyle elde edilmiştir. Çalışma için üretilen betonarme çerçeveler ve duvarlarda güçlendirme için gerçek bir durumda karşılaşılabilecek en olumsuz durum yansıtılmaya çalışılmıştır. Bunun için eleman üretiminde, en sık rastlanan kusurların başında gelen düşük beton dayanımı, kolon ve kirişlerde seyrek/ eksik etriye ve duvarlarda da kontrolsüz yapılan duvar iççiliği hedef alınmıştır.

Betonarme çerçeve içerisindeki dolgu duvarla oluşan elemanlar delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş ve depremi simüle eden yatay yükler altında testleri yapılmıştır. Test edilen referans ve güçlendirilmiş elemanların deney sonuçları analiz edilmiş ve analiz sonuçları dayanım, süneklik, rijitlik, görelî kat ötelenme ve dönüştürülebilir enerji kapasitelerine göre değerlendirilmiş, birbirleriyle ve eksenel yük açısından kolonlarında eksenel yük bulunmayan Özbek' e (2015) ait çalışmadaki sonuçlarla da karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın bu bölümünde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar kısaca özetlenmiş ve bu sonuçların çalışmanın hedeflerine uygunluğu belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca ileride buna benzer çalışma yapmayı planlayan araştırmacı(lara) yön gösterebilmek için bazı öneriler de sunulmuştur.

7.1. Sonuçlar

- Tuğla dolgu duvarlara uygulanan güçlendirme yöntemi ile betonarme yapıların depreme karşı kolaylıkla güçlendirilebileceğini, depremli durumda yaşanacak olası göçmelerin önüne geçebileceği, yaşanacak can ve mal ile ilgili kayıplarında azaltılabileceği düşünülmektedir.

- Delikli levhalarla güçlendirilmiş deney elemanlarında, eksenel yük düzeyi düşük elemanlarda dayanımda önemli (%15) bir kayıp olmadan ortalama (ileri/geri yön) %7,2' den büyük ötelenme oranlarına ulaşılırken eksenel yük düzeyi yüksek olan elemanlarda maksimum ortalama %6,8 değerlerine ulaşılabilmiştir. Bununla beraber deney tamamlanana kadar güçlendirilmiş elemanların duvarlarında eleman dayanımını etkileyecek dayanım kaybı yaratacak bir hasar oluşmamıştır. Buradan yola çıkarak ulaşılan ötelenme oranlarını duvarlar değil betonarme çerçeve ile deney sisteminin kapasitesi belirlemiştir.
- Bilindiği gibi deprem afetinin yaşandığı sırada yapıdaki duvarların maruz kaldığı yatay yük ile parçalanarak dağıldığı, bina içinde ve çevresindeki yaşayan canlıların üzerine bu parçaların düşmesi sonucu can kayıpları oluşmaktadır. Çalışma kapsamında güçlendirme yöntemi olarak kullanılan delikli levhalar, duvarlarda oluşan gevrek kırılmayı önlemekte ve ulaştığı ileri deformasyonlarda (>%7,2 ötelenme oranlarında) dahi sargılama etkisiyle ile duvar bütünlüğünün korunmasını sağlamıştır. Aynı zamanda önerilen bu güçlendirme yöntemi ile sadece duvarların yapısal kapasitesinin artırılması değil, en önemlisi can ve mal güvenliğinin artırılmasında alınabilecek bir önlem olduğu da görülmektedir.
- Bu araştırmada, yapının davranışında güçlendirme yönteminin katkısının olabilmesi için duvarlarda yapılacak güçlendirme ile duvarın bulunduğu betonarme çerçevede yeterli kesme güvenliğinin sağlanması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Eğer sistem elemanlarında yeterli kesme güvenliği yoksa ya da alınmamışsa, kolon kirişler için bu çalışmada önerilen yöntemlerle ya da geçerliliği kanıtlanmış başka bir yöntemle çerçeve kesme kapasitesi kesinlikle artırılmalıdır.
- Delikli çelik levhalarla yapılan güçlendirme yöntemi ile çerçevenin enerji dönüştürme kapasitesi, duvarlı referans elemana göre eksenel yük düzeyi düşük elemanlarda maksimum 2,17 kattan büyük olurken, eksenel yük düzeyi yüksek elemanlarda ise 2,92 kat olmuştur. Bu çalışmadaki deney elemanları kolonları eksenel yüksüz elemanlarla kıyaslandığında enerji dönüşümünde 7,0 kattan büyük artışlar dayanımda önemli (%15) kayıp olmadan görülmüştür.

- Dolgu duvarların çerçeve rijitliğine olan katkısı hem geçmişteki çalışmalarda hem de bu çalışmada tekrar ortaya konulmuştur. Bununla beraber bu çalışmada uygulanan güçlendirme yönteminin hedeflerinin başında sistem rijitliğini attırmak olmadığı başta belirtilmiş buna rağmen güçlendirme yönteminin sistem rijitliğine katkısı 1,0-1,4 arasında değişmektedir. Ayrıca duvarlarda açılan deliklere rağmen bütün elemanlarda mevcut rijitliğin genel olarak korunduğu da görülmüştür.
- Kolonların taşıdığı eksenel yük düzeyi düşük ya da yüksek olsun elemanların ulaştığı nihai dayanımlar, delikli levha kalınlığının artmasıyla paralel olarak sürekli bir artış göstermiştir. 1 mm lik levha kalınlığı referans kabul edilecek olursa 1,5 mm' lik levha kullanılan elemanların dayanımında ortalama artış %12 olurken; 2 mm'lik levhada ise artış %18 olmuştur. Bu elemanların kolonlarında eksenel yük olması, kolonların alt ve üst uçlarındaki ara kesitlerde ötelenme hasarını oldukça engellemiştir. Özbek'e ait çalışmada kolonları eksenel yüksüz 2 mm levha kalınlığına sahip elemanlarda elde edilemeyen dayanım artışının bu çalışmadaki eksenel yüklü elemanlarda gözlemlendiği görülmüştür.
- Delikli levhalarla güçlendirilmiş duvarlardan kolonlara duvar yüksekliğince yapılan kolon-duvar bağlantısı ile betonarme çerçeve ve dolgu duvar arasındaki ayrışma deney süresince oldukça sınırlı kalmış, ayrıca iki kolonu da duvar sayesinde giriş haricinde birbirine bağlamıştır. Gerçekte yapıya gelen yükler tek bir doğrultudan gelmeyeceği için duvarların kolonlara bağlantısının yapılması ile söz konusu güçlendirilmiş tuğla duvarın yapı içinde hem stabil durabilmesini hem de kararlı bir şekilde üzerine gelecek yükü taşıyabileceği anlaşılmaktadır.
- Duvar-kolon bağlantısı için kullanılan lamalar, kolon mantosuna ve duvar köşelerinde ezilmeyi önlemek için yerleştirilen "L" şeklindeki çelik lamalara kaynaklanmıştır. Bu kaynak işlemi sonucunda duvarın düşey kenar bölgesinde lamaların duvardaki bulonlarla bağlantısı sayesinde çerçevenin duvarla beraber çalışması sağlanmıştır. Bu sayede duvar köşelerindeki bulonlarda oluşan gerilme yığılmaları yapılan kaynak ile azaltılmış, ileri deformasyonlarda bulonların kesilerek kopmaları geciktirilmiştir.
- Duvar köşe bölgelerinde uygulanan önlemler sistem davranışında çok iyi çalışmış ve duvar orta bölgesinde değişikliği yapılan bulon aralığının 200 mm'den 150mm'ye

düşürülmesi eleman davranışında olumsuz bir etki oluşturmamıştır. Bulon aralığındaki değişimin, eleman davranışını etkin biçimde değiştirmedeği görülmüş olup elemanların dayanım, ötelenme oranı, sınırlı hasar bölgesi rijitliği ve enerji dönüştürme değerleri yaklaşık eşit çıkmıştır.

- Deneylerde, kolonlara deprem yönetmeliğinde izin verilen maksimum eksenel yüklere yakın eksenel yükler verilmiştir. Ancak kolonları gerçek anlamda zorlayan bu yüklere rağmen sistem, delikli levhaların etkisiyle oldukça sünek davranmıştır. Ulaşılan ötelenme oranları, çok iyi donatılandırılmış bir döküm perde duvarlar kadar yüksek çıkmıştır. Bir başka ifadeyle deney elemanları sünek betonarme perde duvar davranışı göstermiştir.
- Özbek'e (2015) ait çalışmada önerilen kolon mantosuna bu çalışmada kolay uygulanabilen küçük ilavelerle yeni oluşturulan manto, kesme kuvvetinin haricinde eksenel yük de taşıyacak hale getirilmiş ve sistem kapasitesi arttırılmıştır.
- Kirişlerin çelik kablo ile sarılarak kesmeye karşı güçlendirilmesi yöntemi oldukça etkin çalışmıştır. Bununla beraber yöntemin oldukça kolay uygulanabilir olduğu görülmüştür.
- Deneyler sonucunda en iyi davranışı sergileyen elemanların 1,5 mm kalınlığına sahip levha ile güçlendirilmiş elemanlar olduğu ve duvar köşe bölgelerinde yapılan sıklaştırma sabit olduğu sürece duvar orta bölgesindeki bulon aralığının 150 mm ya da 200 mm olması eleman davranışında bir değişiklik oluşturmamaktadır.

7.2. Öneriler

- Özbek'in (2015) çalışmasında olduğu gibi önerilen güçlendirme yönteminde kolonlarla güçlendirilen tuğla dolgu duvarların bağlantısının yapılması, davranışı iyileştirmekte ve depremli durumda duvarın çerçeve içerisinde stabil kalması yönünde önerilmektedir.
- Davranışın daha iyi anlaşılabilmesi ve ölçek etkisinin yarattığı boyut etkilerini ortadan kaldırmak adına 1/1 ölçekli deneyler ileride mutlaka yapılmalıdır.

- Kirişlerin kablo ile sarılarak kesmeye karşı güçlendirilmesi yöntemi oldukça özgün olup çalışma kapsamındaki deneylerde ilk defa ortaya atılmış ve test edilmiştir. Elde edilen başarılı sonuçlar bu yöntemin kapsamlı başka bir çalışmada ele alınarak detaylı bir şekilde araştırılabileceğini göstermiştir.
- Kolonların kesmeye karşı güçlendirilmesinde kullanılan çelik profiller ile oluşturulan manto Özbek'e ait çalışmada olduğu gibi bu çalışmadaki deneylerde de küçük ilave takviyelerle geçerliliğini kanıtlamıştır ve gerçek yapıda uygulaması da önerilebilir. Kolon mantolamasına ait detaylar için Özbek' in çalışmasında açıkça belirtilmiştir. Güçlendirmede kullanılan delikli levhalar gibi kolon kesitinde önemli bir değişiklik yaratmayan kolon mantosu da güçlendirmeden sonra uygulanacak alçı sıva ile kolaylıkla gizlenebilir.
- Delikli levhalarla güçlendirme yönteminin uygulanacağı duvarın boşluksuz olmasına ve betonarme çerçeve içerisinde olmasına dikkat edilmelidir. Üretimi standart boyut olan ve gerçek yapıdaki duvarların boyutlarında levhanın olmaması durumunda duvar yüzeyinde bindirmeli ekin yapılabileceği Babayani' ye (2012) ait çalışmada araştırılmış ve sakıncasının olmadığı görülmüştür.



KAYNAKLAR

- Afet ve Acil Durum Başkanlığı (2018). *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, 56, 312, 317.
- Akın, E. (2011). *Strengthening of brick infilled RC frames with CFRP reinforcement-general principles*. PhD thesis, The Graduate School Of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara.
- Akkurt, S. (2020). *Tel Örgü İle Güçlendirilmiş Tuğla Duvar Panellerin Davranışı*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Aksoylu, C. ve Kara, N. (2019). *Güçlendirme Tekniği Olarak Yeni Nesil Ön Üretimli Beton Panel Uygulamasının Araştırılması* Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknik Dergisi, 7(2), 346-361.
- Aktaş, M. (2017). *Sıvanmış Tuğla Dolgu Duvarların Beton/Betonarme Plakalarla Güçlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Altın, S., Anil, Ö., Kara, M.E., Kaya, M. (2008). An Experimental Study on Strengthening of Masonry Infilled RC Frames Using Diagonal CFRP Strips. *Composites: Part B*, 39, 680-693.
- Altın, S., Anil, Ö., Koprıman, Y. ve Belgin, Ç. (2010). *Strengthening Masonary Infill Walls With Reinforced Plaster*. Proceedings of the Institution of Civil Engineering Structures and Buildings, 163(5), 331-342.
- Anil, Ö. and Altın S. (2007). An Experimental Study on Reinforced Concrete Partially Infilled Frames. *Engineering Structures*, 29, 449-460.
- Atımtay, E. (2009). *Depremde Çökmeyen Bina Nedir? Nasıl Projelendirilir?* Ankara:Ajans-Türk, 277.
- Aykaç, S. (2000). *Onarılmış/Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Deprem Davranışı*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 242-251.
- Aykaç, S., Aykaç, B., Kalkan, İ. ve Özbek, E. (2012). Strengthening of RC T-Beams with Perforated Steel Plates. *Magazine of Concrete Research*, 65(1), 37-51.
- Babayani, R. (2012). *Delikli Çelik Levhalarla Güçlendirilmiş Tuğla Duvarların Tersinir Tekrarlanır Yükler Altındaki Davranış ve Dayanımı*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Choi, I. and Park, H. (2011). Cyclic Loading Test for Reinforced Concrete Frame with Thin Steel Infill Plate. *Journal of Structural Engineering*, 137(6), 654–664.

- Cumhur, A., Altundal, A., Kalkan, İ., ve Aykaç, S. (2015). *Genişletilmiş Çelik Levhalarla Güçlendirilmiş Yatay Boşluklu Tuğla Duvarların Davranışı*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 6. Çelik Yapılar Sempozyumu, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Erdem, İ., Akyüz, U., Ersoy, U. ve Özcebe, G. (2006). An Experimental Study on Two Different Strengthening Techniques for RC Frames, *Engineering Structures*, 28, 1843-1851.
- FEMA 356. (2000). *Pre-standard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*. Washington DC, Federal Emergency Management Agency, 7-25.
- Hashemi, A., ve Mosalam, K.M. 2006. Shake-table experiment on reinforced concrete structure containing masonry infill wall. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 35(14), 1827–1852.
- Koutromanos, I., Kyriakides, M., Stavridis, A., Billington, S., ve Shing, P. (2013). Shake-Table Tests of a 3-Story Masonry-Infilled RC Frame Retrofitted with Composite Materials. *Journal of Structural Engineering*, 139,1340–1351.
- Kyriakides, M. ve Billington, S. (2014). Cyclic Response of Nonductile Reinforced Concrete Frames with Unreinforced Masonry Infills Retrofitted with Engineered Cementitious Composites. *Journal of Structural Engineering*, 140(2).
- Marjani, F. ve Ersoy, U. (2002). *Behavior of Brick Infilled Reinforced Concrete Frames Under Reversed Cyclic Loading*. ECAS2002 International Symposium on Structural and Earthquake Engineering, ODTU, Ankara, 143-150.
- Özbek, E. (2015). *Delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş tuğla duvarların çerçeve davranışı üzerindeki etkisi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özbek, E. ve Can, H. (2012). Dolgu Tuğla Duvarların Çelik Profillerle Güçlendirilmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27(4), 921-929.
- Özdemir, H. ve Eren, İ. (2009). Bölme duvarının ve bölme duvar güçlendirilmesinin çerçeve davranışına etkisi. *İTÜ Dergisi, Seri: D Mühendislik*, 8(6), 133-145.
- Pul, S., and Arslan, M. E. (2019). Cyclic behaviors of different type of hollow brick infill walls: A hinged rigid frame approach. *Construction Building Materials*, 211, 899–908.
- Sevil, T., Baran, M. ve Canbay E. (2010). Tuğla Dolgu Duvarların B/A Çerçeve Yapıların Davranışına Etkilerinin İncelenmesi; Deneysel ve Kuramsal Çalışmalar. *International Journal of Engineering Research and Development*, 2(2), 35-42.
- Seydanlioğlu, M. (2013). *Delikli Çelik Levhalarla Güçlendirilmiş Tuğla Duvarların Davranış ve Dayanımı*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Strepelias, E., Palios, X., Bousias, S. and Fardis, M. (2014). Experimental Investigation of Concrete Frames Infilled with RC for Seismic Rehabilitation. *Journal of Structural Engineering*, 140(1).
- Tekeli, H., Akyürek, O., Deniz, M., Hersat, E., Kara, N., Tosun, U., ve Kaya, F. (2014). Betonarme Çerçeve de Dolgu Duvarların Hasır Çelik Donatılı Sıva ile Güçlendirilmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 179-191.
- Yuksel, E., Ozkaynak, H., Buyukozturk, O., Yalcin, C., Dindar, A.A., Surmeli, M., ve Tastan, D. (2010). Performance of alternative CFRP retrofitting schemes used in infilled RC frames. *Construction and Building Materials*, 24, 596-609.





GAZİ GELECEKTİR..