



**TEL ÖRGÜ İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ TUĞLA DUVAR PANELLERİN
DAVRANIŞI**

Süleyman AKKURT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2020

Süleyman AKKURT tarafından hazırlanan “TEL ÖRGÜ İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ TUĞLA DUVAR PANELLERİN DAVRANIŞI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Sabahattin AYKAÇ

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Eray ÖZBEK

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. A. Samet ARSLAN

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Mehmet BARAN

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Gökhan TUNÇ

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Atılım Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 10/12/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Cevriye GENCER

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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.

Süleyman AKKURT

10/12/2020

TEL ÖRGÜ İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ TUĞLA DUVAR PANELLERİN DAVRANIŞI
(Yüksek Lisans Tezi)

Süleyman AKKURT

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2020

ÖZET

Ülkemiz konum itibariyle deprem kuşağı üzerinde yer aldığı için depremlerin meydana gelmesi kaçınılmaz bir gerçektir. Bu yüzden geçmişten günümüze birçok şiddetli deprem meydana gelmiştir. Meydana gelen şiddetli depremlerin yol açtığı can ve mal kayıpları, ileride meydana gelebilecek yeni depremler öncesinde yeni tedbirlerin alınmasını zorunlu kılmıştır. Bu nedenle mevcut binaların güçlendirilmesi önemli bir konu haline gelmektedir. Bugüne kadar yapılan güçlendirme yöntemlerinden birisi de mevcut tuğla duvarın karbon lifli kumaş ile güçlendirilmesi olmuştur. Ancak karbon lifli kumaşların maliyetli olması, gevrek davranışa sahip olması ve yurt dışından ithal ediliyor olması bu yöntemin pratik ve uygulanabilir olmasını engellemektedir. Bu çalışmada, yapılan güçlendirme yöntemlerine alternatif olarak ucuz, yerli üretim olan kaynaklı tel örgülerle mevcut tuğla duvar güçlendirilerek, sistemin deprem performansının artırılması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında 3'ü referans 6'sı güçlendirme olmak üzere toplamda 9 adet ½ ölçekli deney elemanı üretilmiş olup tersinir-tekrarlanır yükler altında testi gerçekleştirilmiştir. Tel örgülerle güçlendirilmiş olan deney elemanlarında dayanım, rijitlik ve enerji dönüştürme kapasitelerinde oldukça artış olduğu görülmüştür. Bununla birlikte tuğla dolgu duvarın gevrek kırılma sonucu parçalanarak duvarın dağılmasının önüne geçilmiştir. Böylelikle olası bir deprem riskine karşı olabilecek göçmelerin önlenebileceği, can ve mal kayıplarının da azalacağı kanaatine varılmıştır.

Bilim Kodu : 91130
Anahtar Kelimeler : Tel örgü, Rehabilitasyon, Güçlendirme, Tuğla duvar
Sayfa Adedi : 117
Danışman : Prof. Dr. Sabahattin AYKAÇ
İkinci Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Eray ÖZBEK

BEHAVIOUR OF BRICK WALL PANELS STRENGTHENED WITH WELDED WIRE MESH

(M. Sc. Thesis)

Süleyman AKKURT

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2020

ABSTRACT

Since our country is located on an earthquake zone, it is an inevitable fact that earthquakes occur. Therefore, many severe earthquakes have occurred over the years. Loss of life and property caused by severe earthquakes, caused new measures to be taken before earthquakes happen in the future. Therefore, strengthening of existing structures becomes an important issue. One of the strengthening methods made up to now have been to strengthen the existing brick wall with CFRP carbon fiber fabric. However, the cost of CFRP carbon fiber fabrics, having quite brittle stress-strain behavior and being imported from abroad prevent this method from being practical. In this study, it is aimed to increase the earthquake resistance of the system by strengthening the existing brick wall with cheap, home produced welded wire mesh as an alternative to reinforcement methods. Within the scope of the study, a total of 9 half-scale test specimens, 3 of which are references and 6 of which are strengthened specimens, were tested under reversed cyclic lateral loading. It has been observed that the strength, stiffness and energy absorption of the test specimens, which are strengthened with wire mesh, have increased significantly. In addition to this, the welded wire mesh prevented brittle failure of the brick filling wall. It was concluded that the destruction of several structures can be prevented and loss of life and property can be reduced in this way.

Science Code : 91130
Key Words : Welded wire mesh, Seismic rehabilitation, Strengthening, Brick wall
Page Number : 117
Supervisor : Prof. Dr. Sabahattin AYKAÇ
Co-Supervisor : Dr. Lecturer Eray ÖZBEK

TEŞEKKÜR

Bu tez, beni bugünlere getiren ve hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini bir an bile esirgemeyen annem Zekiye AKKURT'a ve babam Abdulğani AKKURT'a adanmıştır.

Bu çalışmayı yöneten, yönlendiren ve benim için bir hocadan çok daha fazlası olan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Sabahattin AYKAÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmamda katkı ve yardımlarını benden esirgemeyen fikir ve görüşleriyle beni yönlendiren ikinci danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Eray ÖZBEK'e teşekkür ederim. Gerek deneyler sırasında ve gerek deneylerden önce yardımını esirgemeyen tez çalışmamda katkısı büyük olan Arş. Gör. Meryem BÖCEK'e teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmamda ve deneylerde yardımlarından dolayı Yapı Mekaniği Laboratuvarımızın sorumluları Uzm. Faruk OGÜN'e ve Arş. Gör. Hüseyin KALKAN'a çok teşekkür ederim.

Bu çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için katkılarından dolayı Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Birimine teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca bu tezi oluşturmamda katkısı olan ve adını burada sayamadığım herkese teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN ÇİZELGESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. AMAÇ VE KAPSAM.....	3
3. GEÇMİŞTEKİ ÇALIŞMALAR	5
3.1. Karbon Lifli Kumaşlarla (CFRP) Güçlendirme	5
3.2. Çelik Yapı Elemanları ile Güçlendirme	6
3.3. Çeşitli Polimer Malzemelerle Güçlendirme	15
3.4. Beton Panellerle Güçlendirme	16
3.5. Çelik Lif Katkılı Sıva ile Güçlendirme	16
3.6. Mevcut Tuğla Duvarın Yıkılıp Yerine Yeni Bir Betonarme Perde Duvar Üretilerek Güçlendirme.....	16
4. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	19
4.1. Genel İlkeler.....	19
4.2. Deney Elemanlarının Özellikleri.....	19
4.3. Deney Elemanlarında Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	20
4.3.1. Tuğla	21
4.3.2. Derz harcı	24
4.3.3. Sıva harcı.....	25

	Sayfa
4.3.4. Alçı sıva	26
4.3.5. Tel örgü	27
4.3.6. Gijon ve lamalar	28
4.4. Tel Örgülerle Güçlendirme Tekniği	29
4.5. Deney Elemanlarının Hazırlanması	30
4.6. Deney Düzenegi	34
4.7. Ölçüm Düzeni	35
4.8. Yükleme Programı	36
5. DENEYSEL SÜREÇ	37
5.1. Referans Deney Elemanları Deneyleri	37
5.1.1. SR-1 deneyi.....	37
5.1.2. SR-2 deneyi.....	41
5.1.3. SR-3 deneyi.....	45
5.2. Tel Örgülerle Güçlendirilmiş Tuğla Dolgu Duvar Deneyleri	49
5.2.1. S1/10 deneyi.....	49
5.2.2. S1/15 deneyi.....	55
5.2.3. S1.5/12.5 deneyi.....	59
5.2.4. S1.5/20 deneyi.....	63
5.2.5. S2/20b deneyi.....	68
5.2.6. S2/25 deneyi.....	73
6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	79
6.1. Genel	79
6.2. Temel Ölçütlere Göre Değerlendirmeler	83
6.2.1. Dayanım	83
6.2.2. Süneklik	85
6.2.3. Ötelenme oranı	85

	Sayfa
6.2.4. Rijitlik	92
6.2.5. Enerji dönüştürme	98
6.3. Güçlendirilmiş Deney Elemanları Arasında Sistemik Karşılaştırma	104
6.3.1. Tel örgü göz aralığına göre karşılaştırma.....	104
7. ANALİTİK YAKLAŞIM.....	107
7.1. Referans Deney Elemanları Üzerinde Analitik Çalışma.....	107
7.2. Tel Örgü ile Güçlendirilmiş Deney Elemanları Üzerinde Analitik Çalışma	109
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	111
8.1. Sonuçlar.....	111
8.2. Öneriler	112
KAYNAKLAR	115
ÖZGEÇMİŞ	117

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Deney elemanlarının özellikleri.....	20
Çizelge 4.2. "1" yönü doğrultusunda uygulanan kuvvet sonucunda elde edilen tuğla basınç dayanımları	22
Çizelge 4.3. "2" yönü doğrultusunda uygulanan kuvvet sonucunda elde edilen tuğla basınç dayanımları	22
Çizelge 4.4. "3" yönü doğrultusunda uygulanan kuvvet sonucunda elde edilen tuğla basınç dayanımları	23
Çizelge 4.5. Tuğla dayanımları özet tablosu.....	24
Çizelge 4.6. Derz harcında kullanılan malzemelerin ağırlıkça oranları.....	24
Çizelge 4.7. Her deney elemanı için ortalama derz harcı dayanım değerleri	25
Çizelge 4.8. Sıva harcında kullanılan malzemelerin ağırlıkça oranları	25
Çizelge 4.9. Alçı sıva karışımında kullanılan malzeme oranları	26
Çizelge 4.10. Deney elemanlarında kullanılan tel örgü ağırlığı	27
Çizelge 6.1. Deney elemanların göçme modları	80
Çizelge 6.2. Deney elemanlarının dayanım değerleri ve ortalama referans deney elemanlarına göre göreceli oranları	84
Çizelge 6.3. Normalizasyon yapılmış deney elemanlarına ait en yüksek ötelenme oranı değerleri	91
Çizelge 6.4. Güçlendirilen bölme dolgu duvarlar için performans sınırlarını tanımlayan kayma açıları	93
Çizelge 6.5. Deney elemanlarının rijitlik değerleri.....	95
Çizelge 6.6. Deney elemanlarının SR_{avg} ortalama referans deney elemanına göre rijitlik değerleri oranları	95
Çizelge 6.7. Deney elemanlarına ait ileri ve geri yönde her bir çevrime ait maksimum yüke tekabül eden noktadaki rijitlik değerleri (kN/mm)	96
Çizelge 6.8. Deney elemanlarına ait dönüştürülen toplam enerji miktarları ve birikmiş plastik deformasyon değerleri	103
Çizelge 6.9. Güçlendirilmiş deney elemanların tel çapına göre sınıflandırılmış performans özetleri.....	106

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.1. Güçlendirilmiş deney elemanlarında deneysel ve hesap dayanım değerlerinin karşılaştırılması.....	110

ŞEKİLLERİN ÇİZELGESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Deney elemanlarına ait yük- kat ötelenme oranları	5
Şekil 3.2. Deney sistemine ait basit çizim	7
Şekil 3.3. Choi ve Park'ın deneysel çalışmasına ait yük-kat ötelenme oranları grafiği..	8
Şekil 3.4. Deney sistemine ait basit çizim	9
Şekil 3.5. Deney sistemine ait basit çizim	10
Şekil 3.6. Deney sistemine ait basit çizim	13
Şekil 3.7. Monolitik elemana ve sonradan oluşturulmuş perdeye ait yük - ötelenme oranı eğrileri	17
Şekil 4.1. Yatay delikli tuğla boyutları.....	21
Şekil 4.2. Yapılan testlerde tuğlalara uygulanan yükleme doğrultuları.....	21
Şekil 4.3. Deney düzeneği detayları	34
Şekil 5.1. SR-1 deney elemanının yük-yatay deplasman ilişkisi	41
Şekil 5.2. SR-2 deney elemanının yük-yatay deplasman ilişkisi	45
Şekil 5.3. SR-3 deney elemanının yük-yatay deplasman ilişkisi	48
Şekil 5.4. S1/10 deney elemanının yük-yatay deplasman ilişkisi.....	54
Şekil 5.5. S1/15 deney elemanının yük-yatay deplasman ilişkisi.....	58
Şekil 5.6. S1.5/12.5 deney elemanının yük-yatay deplasman ilişkisi.....	62
Şekil 5.7. S1.5/20 deney elemanının yük-yatay deplasman ilişkisi.....	67
Şekil 5.8. S2/20b deney elemanının yük-yatay deplasman ilişkisi.....	72
Şekil 5.9. S2/25 deney elemanının yük-yatay deplasman ilişkisi.....	78
Şekil 6.1. Referans deney elemanlarına ait yük-ötelenme zarf eğrileri	81
Şekil 6.2. Referans deney elemanlarının ortalama zarf eğrisi	81
Şekil 6.3. Güçlendirilmiş deney elemanların referansların ortalama yük-yatay ötelenme eğrisi ile karşılaştırmalı yük-ötelenme zarf eğrisi.....	82
Şekil 6.4. SR-1 referans deney elemanında her iki yönde en yüksek dayanım değerlerinin belirlenmesi.....	83

Şekil	Sayfa
Şekil 6.5. S1/10 deney elemanının en yüksek ötelenme oranının belirlenmesi.....	87
Şekil 6.6. Normalizasyon yapıldıktan sonra referans deney elemanlarına ait karşılaştırmalı yük-ötelenme oranı zarf eğrileri	87
Şekil 6.7. Normalizasyon yapıldıktan sonra referans deney elemanlarının ortalama zarf eğrisi	88
Şekil 6.8. Normalizasyon yapılmış güçlendirilmiş deney elemanlarının normalizasyon yapılmış SR_{avg} ortalama referans elemanı ile karşılaştırmalı yük-ötelenme oranı zarf eğrileri	89
Şekil 6.9. Normalizasyon yapılmış güçlendirilmiş deney elemanlarına ait karşılaştırmalı yük – ötelenme oranları zarf eğrisi	90
Şekil 6.10. Kesit hasar bölgeleri	93
Şekil 6.11. S1/10 deney elemanında ($K_{0.010}$) değerinin belirlenmesi.....	94
Şekil 6.12. Güçlendirilmiş deney elemanlarının ortalama referans deney elemanı ile karşılaştırmalı rijitlik-çevrim eğrileri	97
Şekil 6.13. S1/10 deney elemanına ait bir çevrim için enerji dönüştürme analizi yöntemi.....	100
Şekil 6.14. Güçlendirilmiş deney elemanlarının ortalama referans deney elemanı ile karşılaştırmalı dönüştürülen kümülatif enerji-kümülatif plastik deplasman eğrileri	101
Şekil 6.15. Bütün deney elemanlarına ait karşılaştırmalı dönüştürülen kümülatif enerji-kümülatif plastik deplasman eğrileri.....	102
Şekil 6.16. 1 mm tel çapına sahip güçlendirilmiş elemanların tel göz aralığına göre karşılaştırılması	104
Şekil 6.17. 1,5 mm tel çapına sahip güçlendirilmiş elemanların tel örgü göz aralığına göre karşılaştırılması	105
Şekil 6.18. 2 mm tel çapına sahip güçlendirilmiş elemanların tel örgü göz aralığına göre karşılaştırılması	105

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Duvar köşelerine yapılan takviyeyle bu bölgedeki ezilmenin önlenmesi	11
Resim 3.2. Seydanlıoğlu'nun çalışmasına ait S1.5-200 deney elemanında deney sonunda meydana gelen hasar	12
Resim 3.3. Özbek'in deneysel çalışmasında S1ZY200 deney elemanına ait göçme modu	14
Resim 4.1. Güçlendirme işleminde kullanılan tel örgü.....	28
Resim 4.2. Güçlendirme tekniğinde kullanılan gijon, somun ve pul örneği.....	29
Resim 4.3. Sıklaştırma bölgesi ve duvar yüzeyinde kullanılan lamalar	30
Resim 4.4. Ahşap kalıpların hazırlanması	31
Resim 4.5. Örme işlemi tamamlanmış duvar.....	32
Resim 4.6. Sıva işlemi yapılmış tuğla duvar.....	32
Resim 4.7. Tel örgü ve lamaları bağlanmış tuğla duvar	33
Resim 4.8. Alçı sıvası yapılmış deneye hazır tuğla duvarla	33
Resim 4.9. Deney düzeneği	35
Resim 4.10. Deney elemanına daha fazla deformasyon uygulamak için sonradan eklenen kutu profil	36
Resim 5.1. SR-1 deney elemanının deney öncesi durumu.....	38
Resim 5.2. Geri yönde son çevrime gidilirken duvar köşelerinde meydana gelen ezilmeler nedeniyle elemanın taşıma gücüne ulaşması.....	39
Resim 5.3. İleri yönde son çevrimde deney elemanının hasar durumu	40
Resim 5.4. SR-1 deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu	40
Resim 5.5. SR-2 deney elemanının deney öncesi durumu.....	42
Resim 5.6. Geri yönde son çevrimde deney elemanının hasar durumu.....	43
Resim 5.7. İleri yönde son çevrime gidilirken duvar köşelerinde meydana gelen ezilmeler nedeniyle elemanın taşıma gücüne ulaşması.....	43
Resim 5.8. SR-2 deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu	44
Resim 5.9. SR-3 deney elemanının deney öncesi durumu.....	45

Resim	Sayfa
Resim 5.10. Geri yönde son çevrimde deney elemanının hasar durumu	46
Resim 5.11. İleri yönde son çevrime gidilirken duvar köşelerinde meydana gelen ezilmeler nedeniyle elemanın taşıma gücüne ulaşması	47
Resim 5.12. SR-3 deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu	48
Resim 5.13. S1/10 deney elemanının deney öncesi durumu	50
Resim 5.14. S1/10 deney elemanında geri yönde son çevrime gidilirken elemanda meydana gelen diyagonal çatlaklar ve meydana gelen derz kayması	51
Resim 5.15. S1/10 deney elemanında ileri yönde son çevrime gidilirken maksimum itildiğinde tel örgüde meydana gelen büyük deformasyonlar ve lokal kopmalar.....	52
Resim 5.16. S1/10 deney elemanında tel örgü sargılama etkisiyle duvardan kopan parçaların düşmesini engelleyerek duvar bütünlüğünü aşırı deformasyonlarda dahi sağlaması	53
Resim 5.17. S1/10 deney elemanının ileri yönde son çevrimdeki hasar durumu	53
Resim 5.18. S1/10 deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu	54
Resim 5.19. S1/15 deney elemanının deney öncesi durumu	55
Resim 5.20. S1/15 deney elemanının geri yönde son çevrimdeki hasar durumu	56
Resim 5.21. S1/15 deney elemanının ileri yönde son çevrimdeki hasar durumu	57
Resim 5.22. S1/15 deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu	58
Resim 5.23. S1.5/12.5 deney elemanının deney öncesi durumu	59
Resim 5.24. S1.5/12.5 deney elemanının geri yönde son çevrimdeki hasar durumu	60
Resim 5.25. S1.5/12.5 deney elemanının ileri yönde son çevrimdeki hasar durumu	61
Resim 5.26. S1.5/12.5 deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu	62
Resim 5.27. S1.5/20 deney elemanının deney öncesi durumu	63
Resim 5.28. S1.5/20 deney elemanının geri yönde son çevrimdeki hasar durumu	64
Resim 5.29. S1.5/20 deney elemanında tel örgü hasar almış olan diyagonal bölgeyi sargılayarak duvar parçalarının dağılıp dökülmesini engelleyerek duvarın sınırlı da olsa mekanik yaslanmaya devam etmesini sağlaması.....	65
Resim 5.30. S1.5/20 deney elemanının ileri yönde son çevrimdeki hasar durumu	66
Resim 5.31. S1.5/20 deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu	67

Resim	Sayfa
Resim 5.32. S2/20b deney elemanında tel örgü bindirme bölgesi.....	68
Resim 5.33. S2/20b deney elemanının deney öncesi durumu	69
Resim 5.34. S2/20b deney elemanında duvar sol alt köşe bölgesinde meydana gelen ezilme	70
Resim 5.35. S2/20b deney elemanının geri yönde son çevrimdeki hasar durumu	70
Resim 5.36. S2/20b deney elemanının ileri yönde son çevrimdeki hasar durumu	71
Resim 5.37. S2/20b deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu	72
Resim 5.38. S2/25 deney elemanının deney öncesi durumu	73
Resim 5.39. S2/25 deney elemanında duvar sol alt köşe bölgesinde meydana gelen ezilmenin duvar arka yüzünden bakıldığı zamanki hali	74
Resim 5.40. S2/25 deney elemanının geri yönde son çevrimdeki hasar durumu	75
Resim 5.41. S2/25 deney elemanında tel örgü hasar almış olan bölgenin ezilmesiyle beraber kopan parçaların dökülmesini engelleyerek duvar bütünlüğünü deney sonuna kadar koruması	76
Resim 5.42. S2/25 deney elemanının ileri yönde son çevrimdeki hasar durumu	77
Resim 5.43. S2/25 deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu	78

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
d	Dolgu duvarın diyagonal uzunluğu
$d_{0,85}$	Süneklik deformasyon değeri
d_{tel}	Tel çapı
E_{fe}	Çerçevenin elastisite modülü
E_{me}	Dolgu duvarın elastisite modülü
f_{bk}	Karakteristik tuğla dayanım değeri
$f_{ck_{küp}}$	Karakteristik küp basınç dayanımı
$f_{cm_{küp}}$	Ortalama küp basınç dayanımı
f_{me90}	Duvarın yatay doğrultudaki dayanımı
f_{pk}	Karakteristik sıva silindir basınç dayanım değeri
f_y	Tel örgü çekme dayanımı
h_{col}	Kiriş aksları arasındaki kolon yüksekliği
h_{inf}	Dolgu duvarın yüksekliği
I_{col}	Kolonun atalet momenti
$K_{0.003}$	%0,3 Ötelenmede sekant rijitliği
$K_{0.005}$	%0,5 Ötelenmede sekant rijitliği
$K_{0.01}$	%1 Ötelenmede sekant rijitliği
L_{inf}	Dolgu duvarın uzunluğu
l_w	Duvar boyu
P_u	Maksimum dayanım
P_{uort}	Ortalama maksimum dayanım
r_{inf}	Dolgu duvarın diyagonal uzunluğu
s	Tel örgü göz aralığı
t_b	Tuğla kalınlığı
t_{inf}	Dolgu duvarın kalınlığı
t_p	Sıva kalınlığı
$V_{b(k)}$	Tuğla basınç gerilmesi varyasyon katsayısı

Simgeler**Açıklamalar**

V_d	Duvar dayanımı
$V_{g(k)}$	Harç basınç gerilmesi varyasyon katsayısı
V_{str}	Güçlendirilmiş duvar hesap dayanımı
a_{inf}	Eşdeğer basınç çubuğu genişliği
$\delta_{küp}$	Küp dayanımların standart sapma değeri
θ	Dolgu duvar köşegeninin yatayla yaptığı açı (radyan)
λ	Katsayı
$\sigma_b(ort)$	Tuğla ortalama basınç dayanımı
$\sigma_b(s.sapma)$	Tuğla basınç gerilmesi standart sapması
$\sigma_g(ort)$	Harç ortalama basınç dayanımı
$\sigma_g(s.sapma)$	Harç basınç gerilmesi standart sapması

Kısaltmalar**Açıklamalar**

CFRP	Karbon lifli kumaş
ECC	Çimento bağlayıcılı kompozit malzeme
GÖ	Göçme öncesi hasar
KH	Kontrollü hasar
LVDT	Elektronik deplasman ölçer
RC	Betonarme
SH	Sınırlı hasar
TBDY	Türkiye bina deprem yönetmeliği
UNESCO	Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgüt

1. GİRİŞ

Ülkemiz coğrafi konumu itibariyle deprem kuşağı üzerinde yer alır. Bu nedenle ülkemizde depremlerin yaşanması kaçınılmaz bir gerçektir. Meydana gelen depremler, ülkemize ciddi sayıda can ve mal kaybı yaşatmış ve daha da sayamadığımız nice zararlar vermiştir. Durum böyle olunca yaşanan bu üzücü olayları en aza indirgeyebilmek için mühendislik alanında çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Başvurulan yöntemlerden birisi de ileride meydana gelebilecek bir deprem ihtimaline karşı mevcut yapıların güçlendirilmesi olmuştur. Hem ülkemizde hem de dünya genelinde mevcut yapıların güçlendirilmesi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Bugüne kadar yapılan duvar güçlendirme yöntemlerinden en önemlisi tuğla duvar yüzeylerine karbon lifli kumaşlar (CFRP) yapıştırılarak duvar güçlendirme işlemi diyebiliriz. Bu yöntem olumlu sonuçlar vermesinin yanı sıra lifli kumaşların pahalı olması, yurtdışından ithal ediliyor olması ve kumaşların yangın hassasiyetinin iyi olmaması gibi nedenlerden ötürü bu yöntemin çok da uygulanabilir ve pratik olduğunu söyleyemeyiz. Duvar güçlendirmesi için yapılan bir başka yöntem de sistemdeki mevcut tuğla duvarların yıkılıp yerine perde duvar eklenmesi olmuştur. Ancak bu yöntemin de uygulamasının maliyetli, zahmetli ve zaman alıcı olması pratik ve uygun bir yöntem olmasını engellemektedir.

Bu çalışmada, yapılan duvar güçlendirme yöntemlerine alternatif olarak mevcut tuğla duvarın ucuz, kolay ulaşılabilen, yerli üretim ve aynı zamanda çok hafif bir malzeme olan kaynaklı tel örgülerle güçlendirilip sistemin deprem performansının artırılması hedeflenmiştir.

2. AMAÇ VE KAPSAM

Ülkemizde binaların güçlendirilmesiyle ilgili çeşitli uygulamalar olmasına rağmen, bu tür uygulamalar hem zahmetli hem de çok uzun zaman alabilmektedir. Bu deneysel çalışmanın amacı bu iki faktörü oldukça aşağı indirgemektir. Yani bu çalışmanın en temel amacı; depreme karşı güçsüz olduğu belirlenen bir yapıdaki mevcut tuğla dolgu duvarları ucuz, kolay ulaşılabilen, yerli üretim ve hafif olan kaynaklı tel örgülerle güçlendirerek yapı davranışını iyileştirmektir.

Böylece olası bir deprem karşısında dayanımı yetersiz olduğu düşünülen mevcut yapıların güçlendirilebileceği, deprem esnasında yapının göçmesinin engelleneceği ve aynı zamanda olası can ve mal kayıplarının en aza indirgenebileceği düşünülmüştür. Sözü geçen amaçlar doğrultusunda kaynaklı tel örgüler kullanılarak deneyler yapılmıştır.

Çalışma kapsamında;

- Tel örgü çapı
- Tel örgü göz aralığı gibi değişkenler ele alınmıştır.

Çalışma kapsamında, toplamda 9 adet $\frac{1}{2}$ ölçekli deney elemanı üretilmiştir. Üretilen elemanların 3'ü referans 6'sı güçlendirme deney elemanlarıdır. Dört köşesi mafsallı çelik çerçevede deprem yüklerine benzeyen tersinir-tekrarlanır yükler altında deney elemanlarının testi yapılmıştır. Referans deney elemanları tuğla dolgu duvarın üzerinde 8 mm kalınlığında sıva yapıldıktan sonra tavan boyasıyla boyanarak deneye hazır hale getirilmiştir. Referans deney elemanlarında tel örgü kullanılmamıştır. Güçlendirilmiş deney elemanları ise tuğla dolgu duvarın üzerinde 8 mm kalınlığında sıva yapıldıktan sonra sıva üzerine her bir deney elemanında farklı tel çapı ve farklı göz aralığında tel örgü yerleştirilmiştir. Bu tel örgüler ise bulonlar vasıtasıyla karşılıklı olarak bağlanmıştır. Aynı zamanda duvar köşe bölgelerinde ezilmeyi geciktirmek amacıyla tel örgü üzerine "L" şeklinde lamalar yerleştirilmiştir.

Deneysel çalışmanın sonunda her bir deney elemanı için dayanım, süneklik, ötelenme oranları, rijitlik, enerji dönüştürme gibi değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan bu değerlendirmelerle beraber referans deney elemanları ile güçlendirilmiş deney elemanlarının

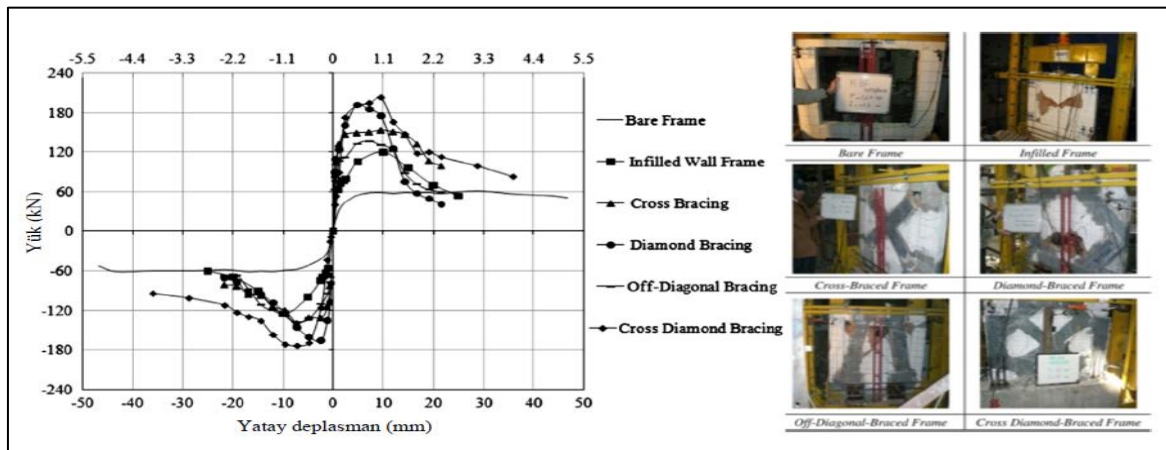
sonuçları da karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmalarla elde edilen sonuçlar tartışılarak en ideal güçlendirme parametresi önerilmiştir. Bununla beraber analitik çalışmalar da yapılarak ileride kullanılabilecek analitik yaklaşımlar da oluşturulmuştur.

3. GEÇMİŞTEKİ ÇALIŞMALAR

Tuğla dolgu duvarların güçlendirilmesi amacıyla yapılan çalışmalarda pek çok farklı malzeme ve yöntem önerilmiştir. Beton/betonarme şeritler, prekast yüksek mukavemetli beton paneller, delikli hafif çelik plakalar, çelik profiller, çelik şeritler, takviyeli harç, püskürtme beton, FRP'ler (fiber reinforced polymers), epoksi ve ferrobeton ile tuğla dolgu duvarların güçlendirilmesi için önerilen malzemelerdir. Çalışmalarda malzemenin hafifliği, korozyon direncinin iyi olması ve kolay uygulanabilmesi nedeniyle kompozit malzemelerin kullanımı, çalışmalarda sıkça bahsedilmiştir. Tuğla dolgu duvarların güçlendirilmesi konusu üzerinde yapılan çalışmaları şu şekilde sıralamak mümkündür:

3.1. Karbon Lifli Kumaşlarla (CFRP) Güçlendirme

Yüksel ve diğerlerinin [1] yaptığı çalışmada tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeveler karbon kumaşlar ile güçlendirilirken kullanılan çeşitli yapıştırma yöntemleri incelenmiştir. Çalışmada tek açıklı, tek katlı, 1/3 ölçekli 6 numune üretilmiştir. Bu numunelerden 4 tanesi karbon kumaşlar ile güçlendirilmiş ve tersinir tekrarlanır yüklerle testi yapılmıştır. Deneyin sonuçlarına göre dayanımlarda büyük artışlar gözlenmiştir. Ayrıca göreceli kat ötelenmelerinin azaldığı gözlenmiştir. Deney elemanlarına ait yük- kat ötelenme oranları grafiği de Şekil 3.1'de verilmiştir.



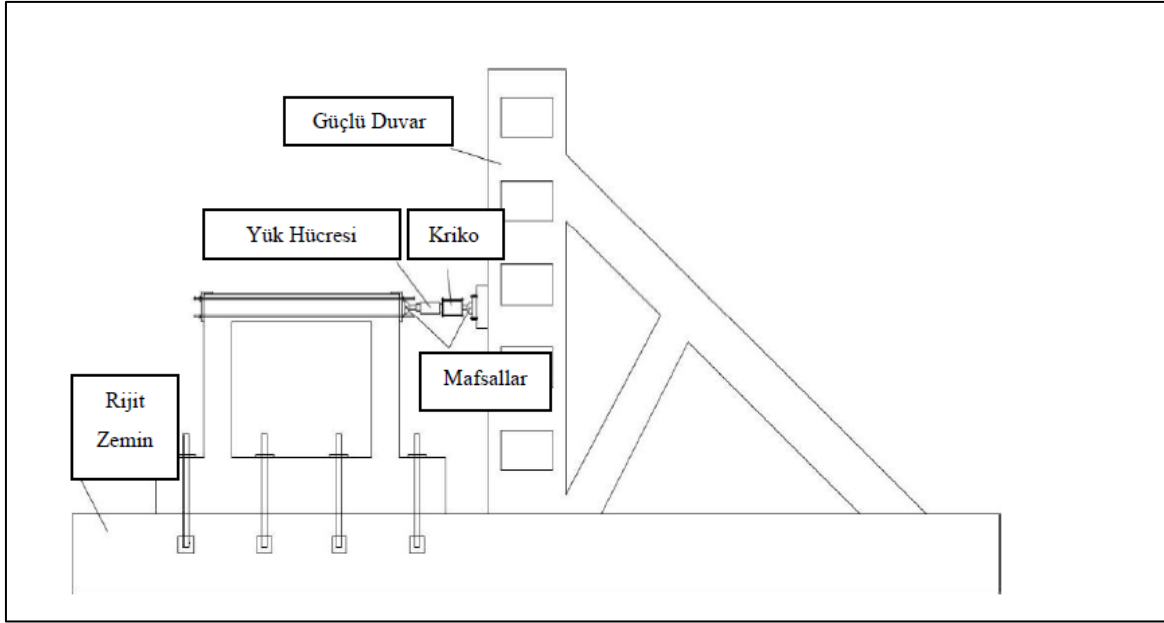
Şekil 3.1. Deney elemanlarına ait yük- kat ötelenme oranları [1]

Akın [2] tarafından yapılan çalışmada karbon fiber lifli polimer kullanarak tuğla dolgu duvarları güçlendirmek ve yeni bir yanal taşıyıcı sistem oluşturabilmek için bu unsurların

yapıya eklenmesi incelenmiştir. Deney elemanlarının ölçeği ve dolgu duvarın yüksekliğinin genişliğe oranı, iyileştirme yöntemi kullanılarak elde edilen genel davranışlar üzerindeki olası etkileri açısından ele alınmıştır. Çalışmadaki deneysel bölümün iki aşaması bulunmaktadır. İlk aşamada güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş duvarların diyagonal deprem yükü altında göstereceği davranışları tespit edebilmek için 10 tane bağımsız panel teste tabi tutulmuştur. İkinci aşamadaysa tasarım detaylarını belirlemek için, en-boy oranı iki türde olan 4 tane 1/2 ölçekli ve 8 tane 1/3 ölçekli iki katlı, tek açıklıklı betonarme çerçeve deneyleri yapılmıştır. Çalışmanın sonuçları, deney elemanlarının enerji dönüştürme, ötelenme, dayanım ve yanal rijitlik karakteristikleri üzerinden açıklanmaktadır. Çalışmanın analitik bölümünde ise güçlendirilmemiş, güçlendirilmiş çerçeve dolgu duvarlarını modellemek amacıyla eşdeğer gergi yaklaşımından yararlanılmıştır. Deney sonuçları ile statik itme analiz sonuçları karşılaştırılmış; ortaya çıkan sonuçlara göre söz edilen güçlendirme şekli için gerekecek tasarım kriterleri oluşturulmuştur [2].

3.2. Çelik Yapı Elemanları ile Güçlendirme

Özdemir ve Eren'in [3] yaptığı çalışmada üretiminde kusur olduğu varsayılan yapılardaki tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin, duvarın yüzeylerine uygulanan sıva ve hasır donatıyla güçlendirilmeleri incelenmiştir. 3 tane tek açıklıklı, tek katlı, 1/2 ölçekli betonarme çerçeveler üretilen bu çalışmadaki örneklerden bir tanesinde, boş haliyle deney yapılmıştır. İkinci örnekte duvar örülmüş, bölme duvarın etkisinin araştırılması hedeflenmiştir. Son örnekte ise dolgu duvarın üstüne çelik hasır uygulanmış, 2007 Türk Deprem Yönetmeliğinin parametrelerine göre güçlendirilerek incelenmiştir. Bu örneklerin üçünü de test ederken, tersinir tekrarlanır yatay yük etkisi kullanılmıştır. Ankastre mesnet şartının sağlanması için rijit bir temelle, temelin üstüne beton basınç dayanımı düşük, tek açıklıklı, tek katlı, zayıf kolon ve güçlü kirişlerden meydana gelen çerçeve üretilmiştir. Bölme duvarının ve bu duvarı güçlendirmenin çerçeve davranışı üstündeki etkisinin araştırıldığı çalışmada, teste tabi tutulan elemanların enerji dönüştürme kapasitesi, rijitlik kapasitesi ve yatay yük taşıma kapasitesi incelenmiş; bu kapasitelerin büyük oranda arttığı sonucuna ulaşılmıştır [3]. Deney sistemine ait çizim Şekil 3.2'de verilmiştir.

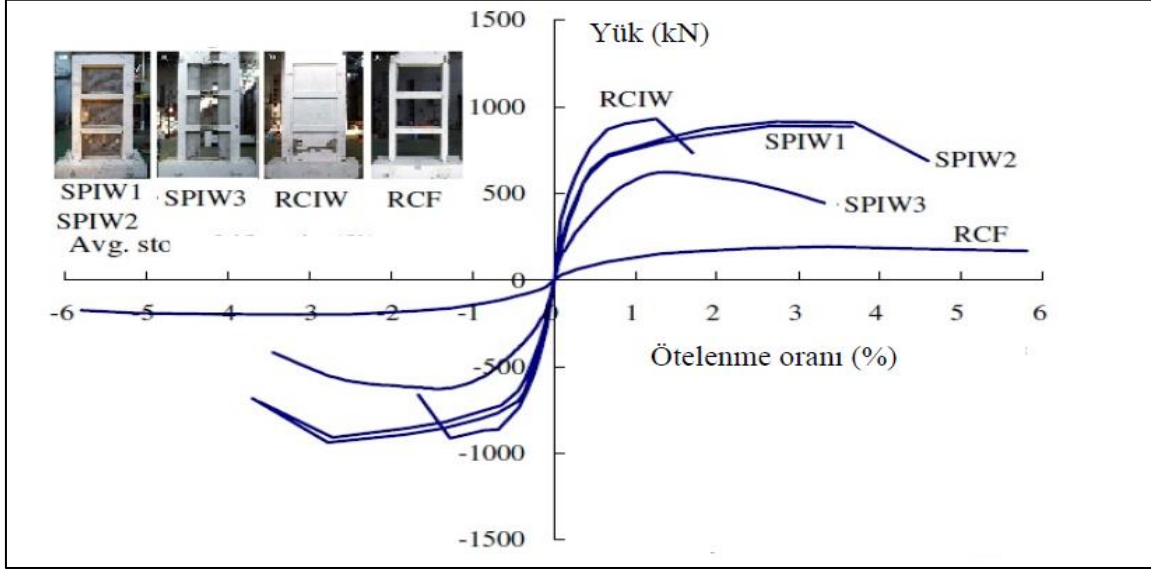


Şekil 3.2. Deney sistemine ait basit çizim [3]

Altın, Anıl, Koprman ve Belgin [4] tarafından yapılan çalışmanın kapsamında, betonarme çerçevesi bulunan tuğla dolgu duvarların deprem karşısında sıva ve hasır çelikle tek yüzden güçlendirilmesi yönteminin etkisi incelenmiştir. Bu deneysel çalışmada tek açıklıklı, tek katlı, 1/3 ölçekli 5 eleman üretilmiş ve test aşaması, tersinir tekrarlanır yüklerin altında yapılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre hasır çelik kesme kuvvetini aktaran çiviler kullanmadan doğrudan betonarme çerçeve üzerine ankre edildiği zaman, dayanım artmaktadır. Kaplama sıvadaki dayanım değerinde artış görüldükçe dayanım da artmakta ve referans elemanının 2,5 katına çıkmaktadır.

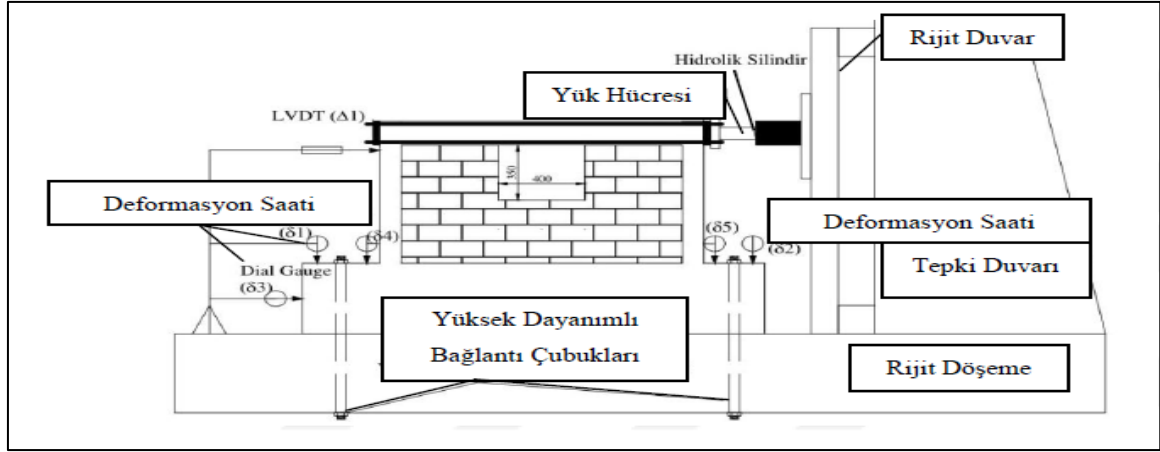
Choi ve Park [5] tarafından yapılan çalışmada bir betonarme çerçeveye ince levha tutturma aracılığıyla oluşan sistemin davranışları incelenmiştir. Çalışmada 1/3 ölçekli, tek açıklıklı ve üç katlı 5 adet deney elemanı, kolonlara eksenel yük vermeden tersinir tekrarlanır yükler altında teste tabi tutulmuştur. Deneyin parametreleri çelik levhada bırakılan boşluk ve kolonlardaki boyuna donatı oranıdır. Takviye edilmiş elemanlar dışında karşılaştırma yapmak için bir tane betonarme perde duvar (RCIW) ve bir tane de betonarme çerçeve (RCF) yapılmıştır. İnce çelik levhalar ile ulaşılan sistemlerdeki (SPIW 1, 2 ve 3) teorik dayanımlar, yaklaşık olarak betonarme perde duvara eşit bir biçimde yapılmıştır. Deneyde, bu elemanların benzer dayanımlar gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Fakat çelik levhalar kullanılarak takviye yapılan elemanlarda hem dayanım hem de deformasyon kapasitesi artmıştır. Şekil 3.3’de gösterildiği üzere yük-ötelenme oranı eğrilerine bakıldığında zaman,

betonarme perde duvarın dayanımında önemli kayıplar yaşanmadan ortaya çıkan kat ötelenmesinin oranı %1,5 civarındadır. Bu oran ince çelik levhalı olan elemanlardaysa %4 oranlarına çıkmaktadır.



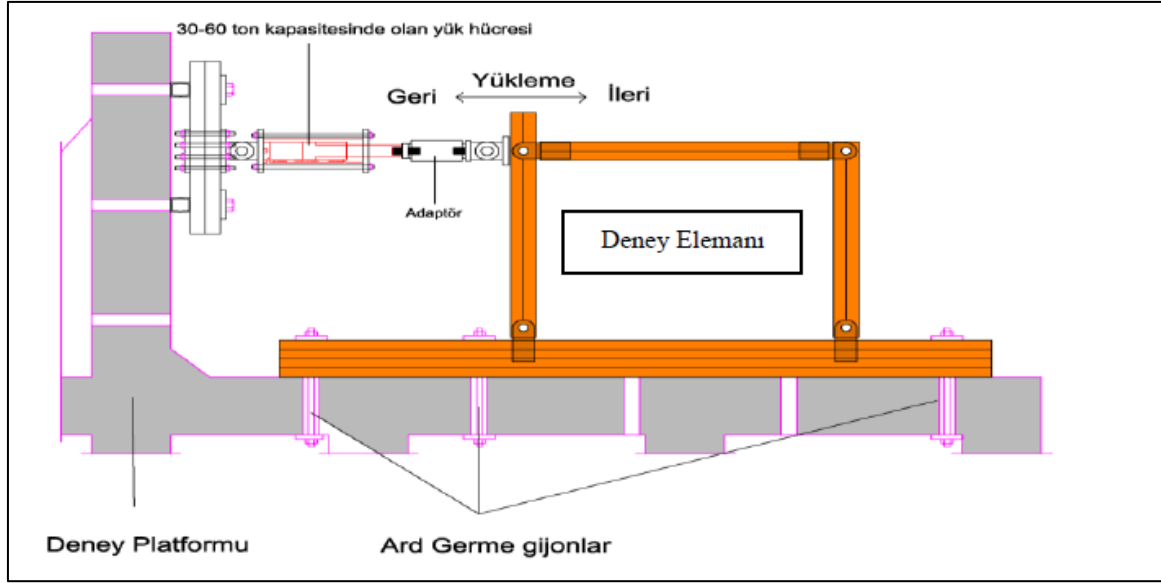
Şekil 3.3. Choi ve Park'ın [5] deneysel çalışmasına ait yük-kat ötelenme oranları grafiği

Kamanlı ve diğerleri [6] tarafından yapılan çalışmada çeşitli yetersizlikleri olan, 1/3 ölçekli, tek açıklıklı, tek katlı betonarme çerçeveler yapılmıştır. Bu çerçevelerin içine bir pencere boşluğu bırakılmış ve tuğla duvar yapılmıştır. Çalışmada yapılan deneyde tuğla dolgulu çerçeve çelik çaprazlar, çelik levha ve dıştan perde duvar ile güçlendirilen çerçeveler, tersinir tekrarlanır yatay yükte test edilmiştir. Çalışmanın sonuçlarında görüldüğü üzere güçlendirilen numunelerin yatay yük kapasiteleri ciddi derecede artmaktadır. Deney sistemine ait çizim Şekil 3.4'de verilmiştir.



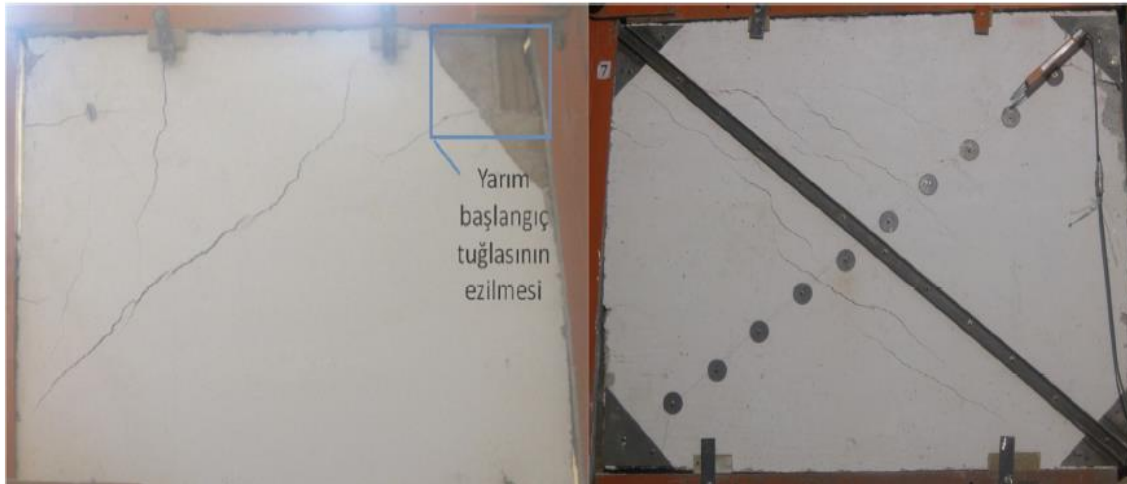
Şekil 3.4. Deney sistemine ait basit çizim [6]

Babayani [7] tarafından yapılan çalışmada bir yapıdaki boşluklu tuğla dolgu duvarlara delikli sac levha ekleyerek güçlendirme prensibi ele alınmıştır. Çalışmada kullanılan 13 sıvanmış boşluklu tuğla dolgu duvardan biri, güçlendirilmemiş bir referans elemanıdır. Bu elemanlar, deprem yüküne benzer bir tersinir tekrarlanır yatay yükler altında teste tabi tutulmuştur. Üç farklı kalınlığı olan delikli sac levha, deney elemanlarındaki duvarlara bulonlar aracılığıyla sabitlenmiş ve güçlendirilmiştir. Deneyin değişkenleri bulon aralığı, levha kalınlığı ve boyutların yetersiz olması nedeniyle levhaların bindirmeli ekleri olmasıdır. Buna ek olarak erken ezilme karşısında, dolgu duvarların köşelerinde üç farklı teknik uygulanmıştır. Test sonuçlarının analizinden sonra deney elemanlarındaki süneklik, enerji dönüştürme, rijitlik ve dayanım özellikleri incelenmiştir. Çalışmaya göre tavsiye edilen güçlendirme tekniği, sıvalı tuğla dolgulu duvarların deprem performansını arttırmaktadır. Deney sistemine ait çizim Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5. Deney sistemine ait basit çizim [7]

Özbek ve Can [8] tarafından yapılan çalışmada duvar köşelerinin güçlendirilmesi yönteminin davranışlar üstündeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca ekonomik ve pratik bir şekilde tuğla duvarların rijitliği ve dayanımının artırılması amaçlanmıştır. Yapılan deneyde 5 tanesi güçlendirilmiş, bir tanesi de referans olmak üzere $\frac{1}{2}$ ölçekli 6 tane deney elemanı yapılmıştır. Yapılan sıvalı tuğla duvarlara, köşeler ve çelik profillerde kullanılan ince üçgen sac levhalar eklenmiştir. 4 köşesi mafsallı çelik çerçeve içerisinde, deney elemanlarına tersinir tekrarlanır yükleme yapılmıştır. Deneyin parametreleri, üçgen levhanın uygulama yüzeyi ve ikizkenar dik üçgenin sac boyutudur. Çalışmaya göre üçgen levha, köşelerde bulunan tuğlaların ezilmesinin önüne geçmekte ve sargılama basıncını arttırmaktadır. Kullanılan bu levhaların sayısı ve boyutu arttıkça, dayanım da artmaktadır. Levhaları kullanarak rijitlik 3 kat, dayanım ise 3,5 kat artırılabilir. Duvar köşe bölgelerine yapılan takviye sonucunda köşelerin ezilmesinin önüne geçilmiştir (Resim 3.1).



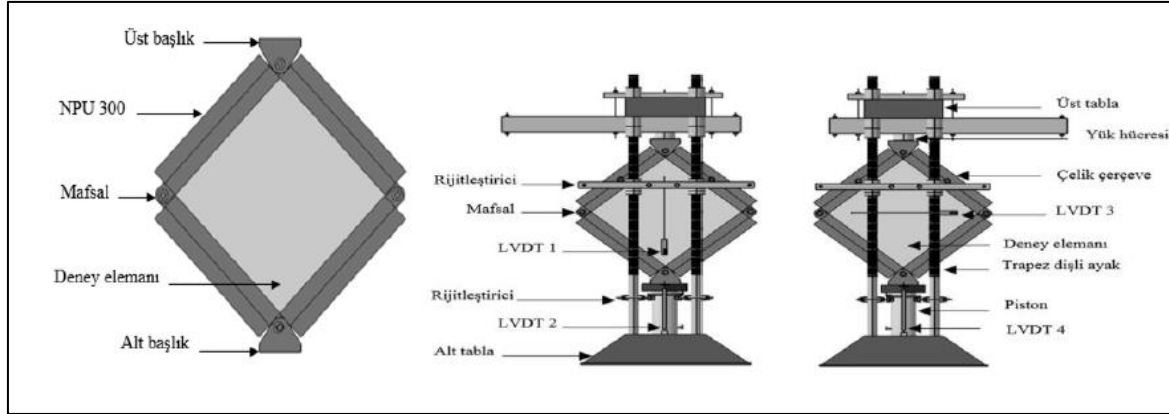
Resim 3.1. Duvar köşelerine yapılan takviyeyle bu bölgedeki ezilmenin önlenmesi [8]

Seydanlıoğlu [9] tarafından yapılan çalışmada tuğla duvarları güçlendirirken delikli çelik levha kullanılmasının, süneklik ve duvar davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada 12 adet güçlendirilmiş, bir tane de referans olmak üzere 13 tane deney elemanı, tekdüze düşey yüklerde test edilmiştir. Sıvayla beraber 12,5 cm kalınlığa sahip tuğla duvarlar güçlendirilmiştir. Deneyin parametreleri, sac levha kalınlığı ve bu levhaları duvara bağlayan bulon aralığıdır. Delikli sac kalınlıklarına göre deney elemanları dörde ayrılmaktadır: 0,5 mm, 1,0 mm, 1,5 mm ve 2,0 mm. Grupların arasındaki fark ise bulon aralıklarına göre belirlenmiştir. Bu aralıklar 100 mm, 150 mm ve 200 mm'dir. Çalışmaya göre sac levha kalınlığına kıyasla bulon sıklığı, duvar süneklikleri ve dayanımı üzerinde daha büyük bir etkiye sahiptir. Ayrıca güçlendirme tekniğinin elastik bölgelerin rijitliklerine olan etkisi; duvarların sünekliği ve taşıma gücü üstündeki etkisi kadar büyük değildir. Bulonların sıklığında artış oldukça, elastik olan ve olmayan bölümlerde duvarın deformasyon-yük eğrisinde daha sınırlı bir dalgalanma görülmektedir. Sac levhalar kalınlaştıkça, duvardaki aynı deformasyon değerinde dönüştürülen enerji miktarı da artmaktadır. Kullanılan güçlendirme yöntemi malzemenin kalitesi, duvarlar güçlendirilirken meydana gelen işçilik ve üretim hatalarından ciddi anlamda etkilenmektedir. Çalışmada 1,5 mm kalınlığına sahip sac levhalar kullanılmıştır. Duvara 20 cm aralıklara sahip bulonlar ile sabitlenen deney elemanı (S1,5-200) deney sonunda Resim 3.2'de gösterildiği üzere hasar almıştır [9].



Resim 3.2. Seydanlıoğlu'nun [9] çalışmasına ait S1.5-200 deney elemanında deney sonunda meydana gelen hasar

Cumhur ve diğerleri [10] tarafından yapılan çalışmada dolgu duvarlar üzerinde, genişletilmiş çelik levhaların gösterdiği etki incelenmektedir. Çalışmada bir tanesi referans olmak üzere toplam 11 tane deney elemanı oluşturulmuştur. Tam ölçekli ve güçlendirilmiş olan bu deney elemanları, tekdüze basınç yüklerinde köşegen boyunca teste tabi tutulmuştur. Güçlendirme işlemi yapılırken tuğla dolgu duvarların her iki yüzüne de genişletilmiş çelik levha eklenerek, levhalar bulonlarla birbirine bağlanmış ve güçlenmesi sağlanmıştır. Deneyin değişkenleri, bulonların aralıkları ve genişletilmiş çelik levha kalınlığıdır. Çalışmaya göre genişletilmiş çelik levha kullanılarak güçlenmesi sağlanan duvarların çekme-gerilmesinin önemli bir kısmı karşılanmaktadır. Duvarda üç eksenli olarak nitelendirilebilecek bir sargılama basıncı oluşmakta ve duvar, bulonlarda akma meydana gelene kadar kompozit bir malzeme şeklinde davranmaktadır. Deney esnasında güçlendirilen elemanların taşıma kapasitesinde ani yük kaybı görülmemiştir. Deneyin bitimine kadar güçlendirilen bütün elemanlar, bütünlüğünü korumuştur. Bu şekilde güçlendirilen duvarların enerji dönüştürme kapasiteleri, süneklik, rijitlik ve yük taşıma kapasiteleri artırılarak, davranışlarının iyileşmesi sağlanmıştır. Deney sistemine ait çizim Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Deney sistemine ait basit çizim [10]

Özbek [11] tarafından yapılan çalışmada 2 tanesi referans, toplam 14 adet $\frac{1}{2}$ ölçekli, güçlendirilmiş deney elemanı tersinir-tekrarlanır yüklemede teste tabi tutulmuştur. Temel, kiriş ve kolondan meydana gelen betonarme çerçeveye tuğla duvar örülerek oluşturulmuştur. Yalın elemanların dolgu duvarlarına farklı yöntemlerle birlikte, delikli çelik levhalar eklenmiştir. Çalışmaya göre betonarme çerçeveye ait kolon boy demirlerinde kopma gerçekleşmediği müddetçe, dayanımda ciddi kayıplar olmadan %7,5'ten büyük bir ötelenme oranına ulaşılmaktadır ve dayanım değerlerinde önemli kayıplar meydana gelmemektedir. Ayrıca çerçevenin kolonları yeterince kesme güvenliğine sahip olmalıdır. 1,5 mm levha kalınlığının olduğu elemanlarda en yüksek rijitlik değerlerine ulaşılmaktadır. Buna ek olarak kolonlara bağlanan deney elemanlarında, duvarla betonarme çerçeve arasında bulunan ayrışma sınırlıdır ve en iyi davranışa, kesme karşısında güçlendirilen kolonlara 1,5 mm kalınlığında delikli çelik levhalar eklenen dolgu duvar bağlanarak ulaşılmaktadır. Dolgu duvarların güçlendirilmesi için delikli sac levhalar kullanılan çalışmalarda pozitif sonuçlara ulaşılmıştır. Fakat uygulamanın dezavantajları, delikli sac levhalar kullanılırken güçlendirmenin ardından hem görsel hem de mimari açıdan problemler yaşanması ve sıvayla aderans yapılamayışıdır. Bunun yanında geometrik şekli daha uygun ve ağırlığı daha hafif olan levhalarla tuğla dolgu duvarların güçlendirilmesi isteği, seri uygulanabilecek ve daha düşük bir maliyete sahip güçlendirme ihtiyacını, bu da yeni malzeme arayışı ve araştırmaları ortaya çıkarmıştır [11]. Resim 3.3'de 1,0 mm levha kalınlığına sahip, 200 mm bulon aralığı olan ve güçlendirilen duvarın kolonlara 25×3 mm kesitli lamalar ile bağlantısı yapılan deney elemanının (S1ZY200) göçme modu gösterilmektedir.



Resim 3.3. Özbek'in [11] deneysel çalışmasında S1ZY200 deney elemanına ait göçme modu

Pul ve Arslan [12] tarafından yapılan “Farklı tipte içi boş tuğla dolgu duvarlarının döngüsel davranışları: Mafsallı rijit çerçeve yaklaşımı” isimli çalışmanın temel amacı, tuğla duvar ve dolgu duvarlarının, betonarme çerçevelere bakılmaksızın, çevrimsel yatay yükler altındaki davranışlarını incelemektir. Bu amaçla, sıvasız, iki tarafı sıvalı, iki tarafı sıvalı ve çinko kaplamalı çelik tel örgü ile dikey ve yatay delikli tuğla kullanılarak güçlendirilen test duvarları, çevrimsel yatay yükleme altında rijit mafsallı bir çelik yükleme çerçevesinde test edilmiştir. Bulgular yük taşıma kapasitesi, süneklik ve enerji dönüştürme kapasiteleri açısından değerlendirilmiştir. Yapılan testler, beklenen artışların referans sıvalı duvarlara göre rijitlik açısından herhangi bir sıvalı duvar türü sağladığını göstermiştir. Bunun yanı sıra, sıvalı duvarlarda kullanılan tel örgü, yükün ileri bir aşamasında duvar bütünlüğünü koruyarak sünekliği ve sonuç olarak duvarların enerji dönüştürme kapasitesini önemli ölçüde arttırmıştır. Ayrıca, hem içi boş tuğla hem de tel örgü ile güçlendirilen dikey tuğla dolgu duvarları, duvar test numunelerinin yük taşıma kapasitesini arttırmaktadır. Tel örgülü numunelerin yük taşıma ve enerji dönüştürme kapasiteleri, düzlem test duvarlarından neredeyse beş kat daha fazladır. Pul ve Arslan [12] tarafından yapılan deneysel araştırmada güçlendirmeden çok davranışı belirlemeye yönelik bir çalışmadır. Bununla birlikte, bahsedilen duvarların, özellikle tel örgülü duvarların, analitik yaklaşımda nasıl modellenebileceği ifade edilmemiştir. Ayrıca, deneysel sonuçlar mevcut analitik

yaklaşımlarla karşılaştırılmamıştır. Bu nedenle parametrik ve kapsamlı bir deney sistemi oluşturulmamıştır.

3.3. Çeşitli Polimer Malzemelerle Güçlendirme

Koutromanos ve diğerleri [13] tarafından yapılan çalışmada sünek olmayan betonarme çerçevedeki dolgu duvarlara kompozit malzemeler eklenerek, deprem karşısındaki performansı arttırmak hedeflenmektedir. Çimento esaslı kompozit kaplama kullanılan araştırmanın ilk bölümünde iki açıklıklı, üç katlı ve 2/3 ölçekli betonarme çerçeve hazırlanarak, tuğla duvar yapılmıştır. İlk katta kapı boşluğu, diğer iki katta ise pencere boşluğu bırakılmıştır. Çalışmada ilk kattaki boşluksuz bir duvar çimento bazlı kompozit malzemeyle kaplanarak, sarsıntı tablası ile teste tabi tutulmuştur. Sonlu eleman analizleri ve deneysel gözlemler aracılığıyla güçlendirme etkinliği incelenmiştir. İkinci kattaki duvarların hasar görmesinin ardından deneye ara verilmiş ve çatlaklar, epoksi enjeksiyonuyla tamir edilmiş ve cam elyaf polimerle de güçlendirilmiştir. Çalışmaya göre bu iki yöntem de betonarme kolonların kesme kırılmasını engellemekte ve çerçevenin deprem performansının artmasını sağlamaktadır [13].

Kyriakides ve Billington'nın [14] çalışmasında sünek olmayan betonarme çerçevedeki dolgu duvarları, yeni bir yöntemle depreme karşı güçlendirmek istenmiştir. Çalışmanın amacı, sistemin süneklik oranını yükseltebilecek ve kolonların kesme kırılmasını geciktirecek, kolaylıkla uygulanabilen bir yöntemin geliştirilmesidir. Çimento esaslı püskürtülebilir kompozit malzemenin (ECC) kullanıldığı çalışmada, tuğlaların arasında bulunan bağı güçlendirmek için duvara bant yapıştırılmıştır. Ardından betonarme çerçeveye hasır çelik yerleştirilerek, bazı elemanlarda temele ve kirişe kesme gücü aktarmak için epoksiyle kısa çelik çiviler ankre edilmiştir ve ECC püskürtme işlemi yapılmıştır. Çalışmada referans olarak biri güçlendirilmemiş, üç tanesi güçlendirilmiş küçük ölçekli, tek katlı ve tek açıklıklı dört adet deney elemanı yapılmış ve bu elemanlar, tersinir tekrarlanır yük altında teste tabi tutulmuştur. Çalışmanın sonucuna göre çevrede bulunan kirişten ve temelden duvara güç aktaran çiviler, sünekliğin artmasında oldukça etkilidir [14].

3.4. Beton Panellerle Güçlendirme

Baran, Aktaş ve Aykaç'ın [15] çalışmasında güçlendirme yöntemi olarak, yapıdaki mevcut sıvanmış tuğla duvarlardan bir kısmının, şerit beton panel yapıştırılarak güçlendirilmesi ve betonarme dolgu duvara dönüştürülmesi önerilmektedir. Çalışmada $\frac{1}{2}$ ölçekli 7 tane sıvanmış duvar elemanı, tersinir tekrarlanır yatay yüklerle teste tabi tutulmuştur. 5 tane deney elemanı, şerit betonlar veya betonarme panellerle güçlendirilmiştir. Çalışmaya göre beton panel yapıştırarak yatay yük taşıma kapasitesi arttırılabilmektedir fakat maksimum dayanım kapasitesine ulaşıldıktan sonra yüklerde ani kayıplar yaşanabilmekte ve süneklik sınırlı kalabilmektedir.

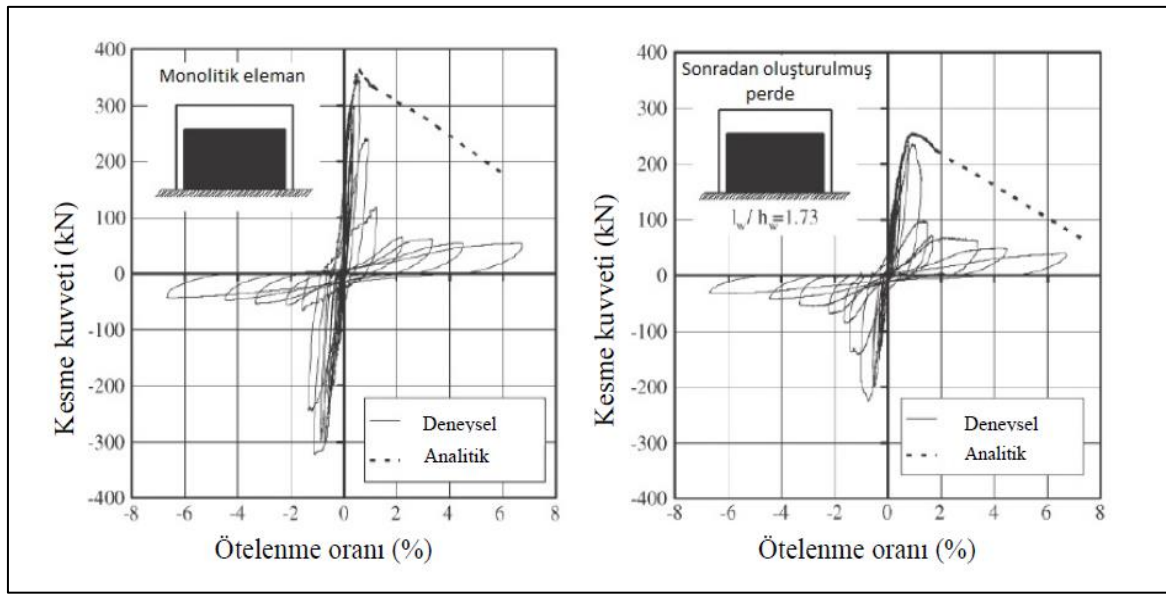
3.5. Çelik Lif Katkılı Sıva ile Güçlendirme

Tekeli ve diğerleri [16] tarafından yapılan çalışmada dolgu duvarların hasır çelik donatılı özel sıvayla güçlendirilmesi yöntemi araştırılmıştır. Yapısal özellikleri aynı olan dört adet betonarme çerçeve üretilmiş; üç tanesinin açıklığı dolgu duvarla örülmüş, bir tanesi ise yalın halde bırakılmıştır. Bu çerçevelerin iki adeti, duvarın yüzeyine tek taraflı bir şekilde uygulanmış olan hasır donatılı sıvayla kuvvetlendirilmiş ve bu iki örnekte ankraj işçiliği ve aralığı değiştirilmiştir. Ulaşılan sonuçlara göre yapılan bu güçlendirme, elemanın hem yük taşıma kapasitesinin hem de enerji tüketim kapasitesinin artmasını sağlamıştır. Yanal yük taşıma kapasitesinin kapsamında bakıldığında yalın numuneye kıyasla; sık ankrajla güçlendirmede %180, seyrek ankrajla güçlendirmede %160, dolgu duvarlı numunedeysse %120 oranında artış sağlanmıştır. Kötü ankraj işçiliğine sahip örnekte deney esnasında güçlendirme yüzeyi, dolgu duvardan ayrılmaktadır. Güçlendirme tek taraflı olarak yapıldığı için, güçlendirmenin uygulanmadığı yüzeyde X biçiminde bir hasar oluşmuştur. Bu yüzden güçlendirme, duvarın yalnızca bir yüzünde değil iki yüzünde de yapılmalıdır.

3.6. Mevcut Tuğla Duvarın Yıkılıp Yerine Yeni Bir Betonarme Perde Duvar Üretilerek Güçlendirme

Anıl ve Altın [17] tarafından yapılan çalışmada tuğla duvarlarda mimari sebepler dolayısıyla pencere ve kapı boşlukları olması ve bunların yerine yapılacak betonarme perde de bu boşlukları içerecek olması durumunda, bu ikinci boşlukların yapı davranışı üzerinde ne gibi değişikliklere yol açacağı incelenmiştir. Çalışmada $\frac{1}{3}$ ölçekli, tek açıklıklı ve tek katlı 9

deney elemanı üretilerek, tersinir tekrarlanır yük altında teste tabi tutulmuştur. Deneyin parametreleri, boşluk bırakılan yer ve betonarme duvarın en-boy oranıdır. Çalışmaya göre duvarın en-boy oranında artış oldukça, rijitlik ve dayanım da artmaktadır. Buna ek olarak betonarme duvarı kirişe ve kolona bağlanan elemanların deprem karşısında en başarılı davranışlar sergilediği görülmüştür. Ayrıca bir döküm elemanın dayanımı, daha sonradan betonarme perde oluşturulan bir elemandan 1,5 kat fazla dayanıma sahiptir. Monolitik elemana ait ve sonradan oluşturulmuş perdeye ait yük-ötelenme oranı eğrileri karşılaştırmalı olarak Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Monolitik elemana ve sonradan oluşturulmuş perdeye ait yük - ötelenme oranı eğrileri [17]

Strepelias, Palios, Bousias ve Fardis [18] tarafından yapılan çalışmada tuğla duvarlı betonarme çerçevede sonradan eklenen betonarme perdenin etkinlik durumu, dört katlı, $\frac{3}{4}$ ölçekli 3 adet deney elemanı, dinamik benzeşimli testle incelenmiştir. Çalışmada kullanılan deney elemanlarındaki duvarın eni, çerçevenin eninden daha ince değildir. Betonarme duvarı çerçeveye bağlarken iki farklı yöntem denenmiştir. Bu yöntemlerden bir tanesi daha az işçilik gerektirmektedir. Eğilme zorlanmaları, elemanların davranışını belirlemektedir. Bu durumun üzerinde, kolon ile temelin birleştiği kısma yapılan CFRP manto etkilidir. Çalışmada kullanılmış olan çerçeve ve duvar birleşim yöntemleri etkilidir. Deney esnasında plastik mafsallar farklı yerlerde oluşmuştur ancak bu durum, deformasyon ve genel enerji dönüştürme kapasitesi üstünde negatif bir etkiye sahip değildir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Genel İlkeler

Çalışmada tel örgülerle güçlendirilmiş tuğla duvarların deprem yükleri altındaki davranışı incelenmiştir. Güçlendirme işleminde uygun maliyetli ve yerli üretim olan tel örgü kullanılmıştır. Aynı zamanda kullanılan tel örgü oldukça hafif olduğundan ileride güçlendirme ihtiyacı olan yapılarda gereksiz yapı ağırlaştırılmalarının da önüne geçilebileceği düşünülmektedir. Çalışmada üretilen deney elemanları, sıvası yapılmış tuğla dolgu duvarların her iki yüzüne tel örgü bağlanarak elde edilmiştir. Kullanılan tel örgü somun ve gijonlar vasıtasıyla deney elemanına karşılıklı olarak bağlanmıştır.

4.2. Deney Elemanlarının Özellikleri

Deney elemanları laboratuvar koşullarından ötürü $\frac{1}{2}$ ölçekte olmasına karar verilmiş olup 3'ü referans, 6'sı güçlendirilmiş olup toplamda 9 adet deney elemanı üretilmiştir. Üretilen deney elemanlar, dört köşesi mafsallı çelik çerçevede deprem yükleri altında test edilmiştir. Referans deney elemanlarında tel örgü kullanılmamıştır. Referans deney elemanlarında tuğla dolgu duvar yüzeyine 8 mm kalınlığında sıva yapılmıştır. Güçlendirilmiş deney elemanları ise tuğla dolgu duvar yüzeyine 8 mm kalınlığında sıva yapıldıktan sonra sıva üzerine farklı tel çapı (1, 1,5, 2 mm) ve farklı tel göz aralığında (10, 12,5, 15, 20, 25 mm) kaynaklı tel örgü duvara yerleştirilmiş olup duvar köşe bölgelerine lama yerleştirilmiştir. Lama yerleştirdikten sonra tel örgü üzerine 12 mm kalınlıkta alçı sıva yapılmış ve deneye hazır hale getirilmiştir. Deney elemanlarının parametreleri Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Deney elemanlarının özellikleri

Deney elemanı adı	Amaç	Tel Örgü	Tel Çapı (mm)	Göz Aralığı (mm)
SR-1	Referans	yok	----	----
SR-2	Referans	yok	----	----
SR-3	Referans	yok	----	----
S1/10	Güçlendirme	var	1	10
S1/15	Güçlendirme	var	1	15
S1.5/12.5	Güçlendirme	var	1,5	12,5
S1.5/20	Güçlendirme	var	1,5	20
S2/20b	Güçlendirme	var	2	20
S2/25	Güçlendirme	var	2	25

Deney elemanların adları, deney parametrelerini kısa bir şekilde gösterecek şekilde seçilmiştir. “S” den sonra gelen (1, 1,5, 2 mm) sayıları tel çapını mm cinsinden ifade etmektedir. Tel çapından sonra gelen (10, 12,5, 15, 20, 25 mm) sayıları ise kare göz aralığını mm cinsinden ifade etmektedir. S2/20b deney elemanında tel örgü bindirmesi yapılmıştır. Bu elemanda bindirme yapılmasının sebebi, 2 mm çapında 20 mm kare göz aralıklı tel örgünün piyasada tek çeşit halinde olup sadece 1x2 metre lik standart ebatlarda üretilmesidir. Deney elemanları piyasada bulunan standart boyuttan daha büyük hazırlandığı için duvarda bindirme yapmak zorunda kalınmıştır. Çalışmada tel çapı ve tel göz aralığı parametre olarak ele alınmıştır. Gerçek yapıda tel çapı ve tel göz aralığı burada önerilenin iki katı olacağından deneysel çalışmada bu durum göz önüne alınarak seçim yapılmıştır. Bu nedenle tel çapı ve tel göz aralığı seçimi yapılırken birinci ve ikinci güçlendirme elemanları olan S1/10 ve S1/15 deney elemanlarında kullanılan tel örgünün hem tel çapı hem de göz aralığının iki katı büyüklüğünde tel örgü kullanılmak istenmiştir. Ancak S1/15 deney elemanında kullanılan tel örgünün iki katı büyüklüğünde olan malzeme yani tel çapı 2 mm ve göz aralığı 30 mm olan tel örgü piyasada temin edilemediğinden 2 mm kalınlıklı tel örgünün maksimum göz aralığının 25 mm olmasına karar verilmiştir.

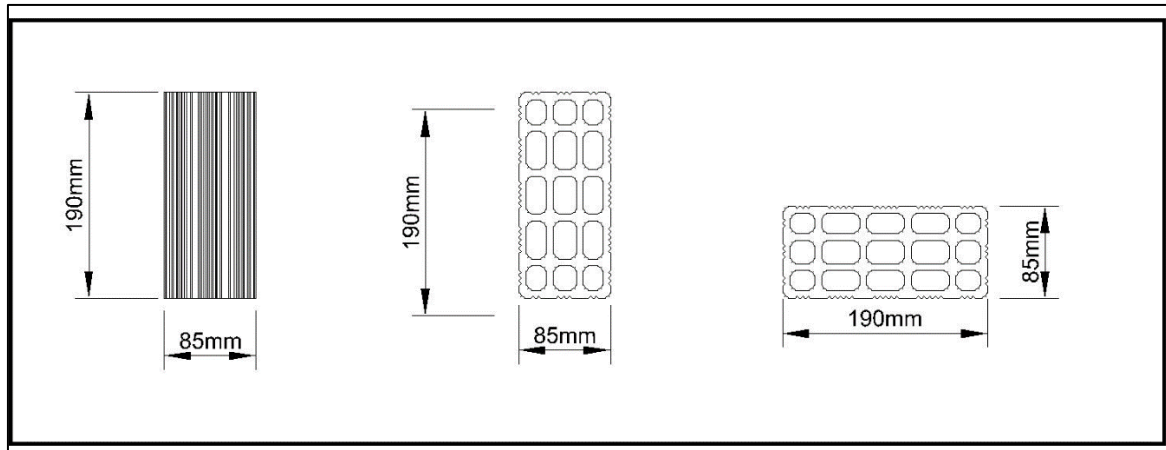
4.3. Deney Elemanlarında Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Deney elemanlarının üretim aşamasında kullanılan tuğla, sıva, harç, tel örgü, gijon ve çelik profillerin özellikleri, dayanımları burada anlatılacaktır. Dışardan alınan malzemelerde aynı marka ve aynı partiden olmasına özen gösterilmiştir. Malzemeler Gazi Üniversitesi

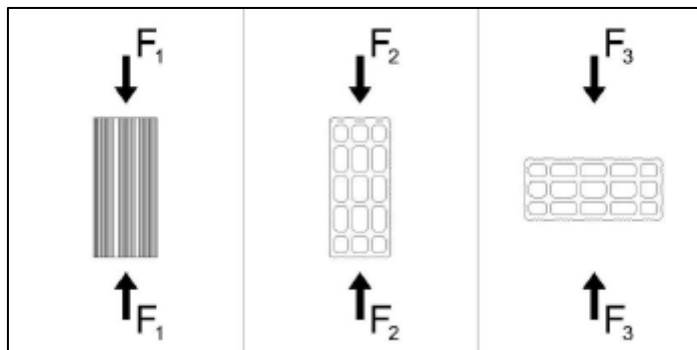
Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarına tek seferde nakli yapılmış olup ve kullanılacağı güne kadar muhafaza edilmiştir.

4.3.1. Tuğla

Deney elemanlarında duvar üretim aşamasında piyasada 8,5'lik yatay delikli diye bilinen 04.018(B) poz numarası ile tanımlanan 190 mm uzunluk, 85 mm genişlik, 190 mm yüksekliği olan tuğlalar kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan yatay delikli tuğlanın boyutları Şekil 4.1. 'de gösterilmiştir. Bir tuğla tanesinin ağırlığı yaklaşık olarak 2 kg olarak gelmektedir ve 1 m² duvarda yaklaşık 25 adet tuğla kullanılmaktadır. Deney elemanlarında kullanılan tuğlalar aynı fabrikadan alınmış ve aynı partiden üretilmiştir. Deney elemanlarında kullanılan yatay delikli tuğlaların basınç dayanımlarını belirlemek amacıyla, tuğlanın üç ayrı eksenine ayrı ayrı basınç testi yapılmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.1. Yatay delikli tuğla boyutları



Şekil 4.2. Yapılan testlerde tuğlalara uygulanan yükleme doğrultuları

Yapılan testler neticesinde F_1 kuvveti doğrultusunda yani tuğla delikleri üstte olan tuğlalarda elde edilen basınç dayanımı ortalama 5,41 MPa, F_2 kuvveti doğrultusunda yani tuğla delikleri kenarda olan tuğlalarda elde edilen basınç dayanımı ortalama 2,34 MPa, F_3 kuvveti doğrultusunda yani tuğlanın geniş yüzeyi üstte olan tuğlalarda elde edilen basınç dayanımı ortalama 2,56 MPa olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.2. "1" yönü doğrultusunda uygulanan kuvvet sonucunda elde edilen tuğla basınç dayanımları

Numune Numarası	Yüklemeye Doğrultusu	Basınç Dayanımı (MPa)	Hesaplamalar	Hesaplama Sonuçları
1	1	4,4	$\sigma_{b(ort)}$ (MPa) $\sigma_{b(s.sapma)}$ (MPa) $V_{b(k)} = \frac{\sigma_{s.sapma}}{\sigma_{ort}} \cdot 100$	5,41 1,77 %33
2	1	3,2		
3	1	3,7		
4	1	6,1		
5	1	6,3		
6	1	9,0		
7	1	4,3		
8	1	6,8		
9	1	6,2		
10	1	4,1		

Çizelge 4.3. "2" yönü doğrultusunda uygulanan kuvvet sonucunda elde edilen tuğla basınç dayanımları

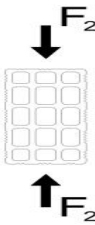
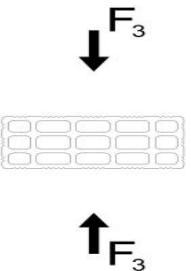
Numune Numarası	Yüklemeye Doğrultusu	Basınç Dayanımı (MPa)	Hesaplamalar	Hesaplama Sonuçları
1	2	2,2	$\sigma_{b(ort)}$ (MPa) $\sigma_{b(s.sapma)}$ (MPa) $V_{b(k)} = \frac{\sigma_{s.sapma}}{\sigma_{ort}} \cdot 100$	2,34 0,57 %24
2	2	2,3		
3	2	1,7		
4	2	2,5		
5	2	1,9		
6	2	2,5		
7	2	3,8		
8	2	2,0		
9	2	2,1		
10	2	2,4		

Çizelge 4.4. "3" yönü doğrultusunda uygulanan kuvvet sonucunda elde edilen tuğla basınç dayanımları

Numune Numarası	Yüklemeye Doğrultusu	Basınç Dayanımı (MPa)	Hesaplamalar	Hesaplama Sonuçları
1	3	2,5	$\sigma_{b(ort)} \text{ (MPa)}$ $\sigma_{b(s.sapma)} \text{ (MPa)}$ $V_{b(k)} = \frac{\sigma_{s.sapma}}{\sigma_{ort}} \cdot 100$	2,56 0,69 %27
2	3	2,5		
3	3	3,8		
4	3	2,8		
5	3	2,1		
6	3	2,9		
7	3	2,3		
8	3	1,8		
9	3	1,5		
10	3	3,4		

Tablolarda alt indis olarak geçen “b” harfi İngilizce’de tuğla anlamına gelen “brick” kelimesinin baş harfidir.

Çizelge 4.5. Tuğla dayanımları özet tablosu

Yükleme Doğrultusu	Yükleme Yönündeki Ortalama Basınç Dayanımı $\sigma_{b(ort)}$ (MPa)	Standard Sapma $\sigma_{b(s.sapma)}$ (MPa)	Varyasyon Katsayısı $V_{b(k)} = \frac{\sigma_{s.sapma}}{\sigma_{ort}} \cdot 100$
	5,41	1,77	%33
	2,34	0,57	%24
	2,56	0,69	%27

4.3.2. Derz harcı

Duvar örme aşamasında kullanılan derz harcı gerçekteki benzer olarak kum, çimento ve su karışımıyla elde edilmiştir. Derz harcı olarak 10.005 poz numaralı “300 kg çimento dozlu harç” yapılmasına karar verilmiştir. Harç kalınlıkları, tuğla boyutlarında fabrika üretimindeki sapmalardan ötürü 10 mm ile 15 mm arasında farklılık göstermektedir. Harç yapım aşamasında kullanılan malzemelerin ağırlıkça oranı Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Derz harcında kullanılan malzemelerin ağırlıkça oranları

Malzeme	Kum	Çimento	Su
Ağırlık (kg)	1400	300	230

Çizelge 4.6. ‘da belirtilen oranlarda üretimi gerçekleştirilen harçlarda, deneylerde sağlıklı sonuçlar elde etmek ve aynı üretim kalitesini yakalamak için kullanılan kum, çimento ve su oranlarının korunmasına özellikle özen gösterilmiştir. Harç karışımı hazırlanırken her karışımdan en az altı adet 100×100×100 mm boyutlarında küp numune alınmıştır. Alınan küp numuneler kür havuzunda deneylerin testi yapılacağı güne kadar bekletilmiş ve basınç dayanım testleri yapılmıştır. Standart küp dayanımları belirlenen numunelerin dayanım değerleri UNESCO dönüşüm faktörü [19] kullanılarak, 0,8 katsayısı ile çarpılıp standart silindir dayanımına dönüştürülmüştür. Her deney elemanı için standart silindir ortalama basınç dayanım değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Her deney elemanı için ortalama derz harcı dayanım değerleri

Deney Elemanı Adı	Derz Harcı Ortalama Silindir Basınç Dayanımı (MPa)	Hesaplamalar	Hesaplama Sonuçları
SR-1	8,32	$\sigma_{g(ort)} \text{ (MPa)}$ $\sigma_{g(s.sapma)} \text{ (MPa)}$ $V_{g(k)} = \frac{\sigma_{s.sapma}}{\sigma_{ort}} \cdot 100$	8,33 0,96 %12
SR-2	9,52		
SR-3	9,12		
S1/10	8,46		
S1/15	8,96		
S1.5/12.5	9,12		
S1.5/20	6,88		
S2/20b	7,60		
S2/25	7,04		

Tabloda alt indis olarak geçen “g” harfi İngilizce’de harç anlamına gelen “grout” kelimesinin baş harfidir.

4.3.3. Sıva harcı

Sıva harcı; kum, kireç, çimento ve suyun belli oranlarda karıştırılmasıyla hazırlanmıştır. Sıva harcı hazırlanırken kullanılan malzemelerin ağırlıkça oranları Çizelge 4.8’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.8. Sıva harcında kullanılan malzemelerin ağırlıkça oranları

Malzeme	Çimento	Kum	Kireç	Su
Ağırlık	10 kg	30 kg	5 kg	5 kg
Oranı	2 birim	6 birim	1 birim	1 birim

Çizelge 4.8. ‘de belirtilen oranlarda harç karışımı hazırlanırken her karışımdan en az altı adet 100×100×100 mm boyutlarında küp numune alınmıştır. Alınan küp numunelere yapılan basınç testleri sonucunda küp ortalama basınç dayanım değerlerinin 8,71 MPa, standart sapma değerinin de 0,74 MPa olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan basınç testleri neticesinde bulunan dayanım değerlerinin %95’inin üstünde kaldığı karakteristik küp dayanım değeri Eş. 4.1’de gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$fck_{küp} = fcm_{küp} - 1,645 \times \delta_{küp} \quad (4.1)$$

$fck_{küp}$: Karakteristik küp basınç dayanımı

$fcm_{küp}$: Ortalama küp basınç dayanımı

$\delta_{küp}$: Küp dayanımların standart sapma değeri

Eş. 4.1’e göre hesap yapıldığında karakteristik küp basınç dayanım değerinin 7,5 MPa olduğu görülmüştür. Bu şekilde hesaplanan karakteristik küp basınç dayanım değerini 1,25 katsayısına bölerek, karakteristik silindir basınç dayanım değeri 6 MPa olarak elde edilmiştir.

4.3.4. Alçı sıva

Tuğla dolgu duvarların yüzeyine sıva yapıldıktan sonra güçlendirme deney elemanlarında kaynaklı tel örgüler yerleştirilip ardından duvarların her iki yüzüne 12 mm kalınlıkta alçı sıva yapılmıştır. Referans deney elemanlarında ise alçı sıva kullanılmamıştır. Alçı sıva hazırlanırken kullanılan malzemeler ve oranları Çizelge 4.10.’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Alçı sıva karışımında kullanılan malzeme oranları

Malzeme	Alçı	Su
Ağırlık (kg)	2	1

Alçı sıvalardan alınan küp numunelerde yapılan basınç testlerinde basınç dayanımlarının 3,5 MPa dolaylarında olduğu görülmüştür.

4.3.5. Tel örgü

Deneyisel çalışmada kullanılan tel örgülerin çapları 1, 1,5 ve 2 mm olup; tel örgü göz aralıkları 10, 12,5, 15, 20, 25 mm şeklindedir. Deney elemanlarında kullanılan tel örgü standart büyüklükteki deney elemanlarına bağlandığı için bütün deney elemanlarında aynı boyutta tel örgü kullanılmıştır. Ancak aynı boyutta tel örgü kullanılmasına rağmen tel örgü çapının farklı olması, tel örgü göz aralıklarının farklı olması ve S2/20b deney elemanında bindirme yapılmış olması deney elemanlarında kullanılan tel örgünün her deney elemanında farklı miktarda tel örgü ağırlığı oluşturmaya neden olmuştur (Çizelge 4.11). Bununla beraber tel çapından elde edilen tel alanının tel göz aralığına bölünmesiyle tel oranı değeri elde edilmiştir. Her bir tel örgü için bulunan tel oranı değeri Çizelge 4.10’da sunulmuştur. Güçlendirme işleminde kullanılan tel örgü numunesi de Resim 4.1’ de gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Deney elemanlarında kullanılan tel örgü ağırlığı

Deney Elemanı Adı	Tel Çapı (mm)	Tel Göz Aralığı (mm)	Tel Örgü Ağırlığı (kg)	Tel Oranı (mm ² /mm)
S1/10	1	10	2,982	0,0785
S1/15	1	15	2,736	0,0523
S1.5/12.5	1,5	12,5	6,294	0,1413
S1.5/20	1,5	20	4,376	0,0883
S2/20b	2	20	8,854	0,1570
S2/25	2	25	6,276	0,1256



Resim 4.1. Güçlendirme işleminde kullanılan tel örgü

4.3.6. Gijon ve lamalar

Tuğla dolgu duvarların güçlendirilmesi amacıyla tel örgülerin duvara bağlanması işlemi gijonlarla sağlanmıştır. Kullanılan gijonlar galvanizli metrik 6 (M6) olup bir metrelik parçalar halinde satılmaktadır. Deprem esnasında duvarlarda en çok hasar gören yerler duvarın köşe bölgeleri olduğu için bu bölgelerdeki ezilmeleri geciktirmek amacıyla duvarın dört köşesine 25×3 mm kesitli St 37 kalitesinde lamalar yerleştirilmiştir. L-şerit lama kullanılması yeni bir fikir olmayıp daha önce yapılan çalışmalarda denenmiş ve oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir [20].

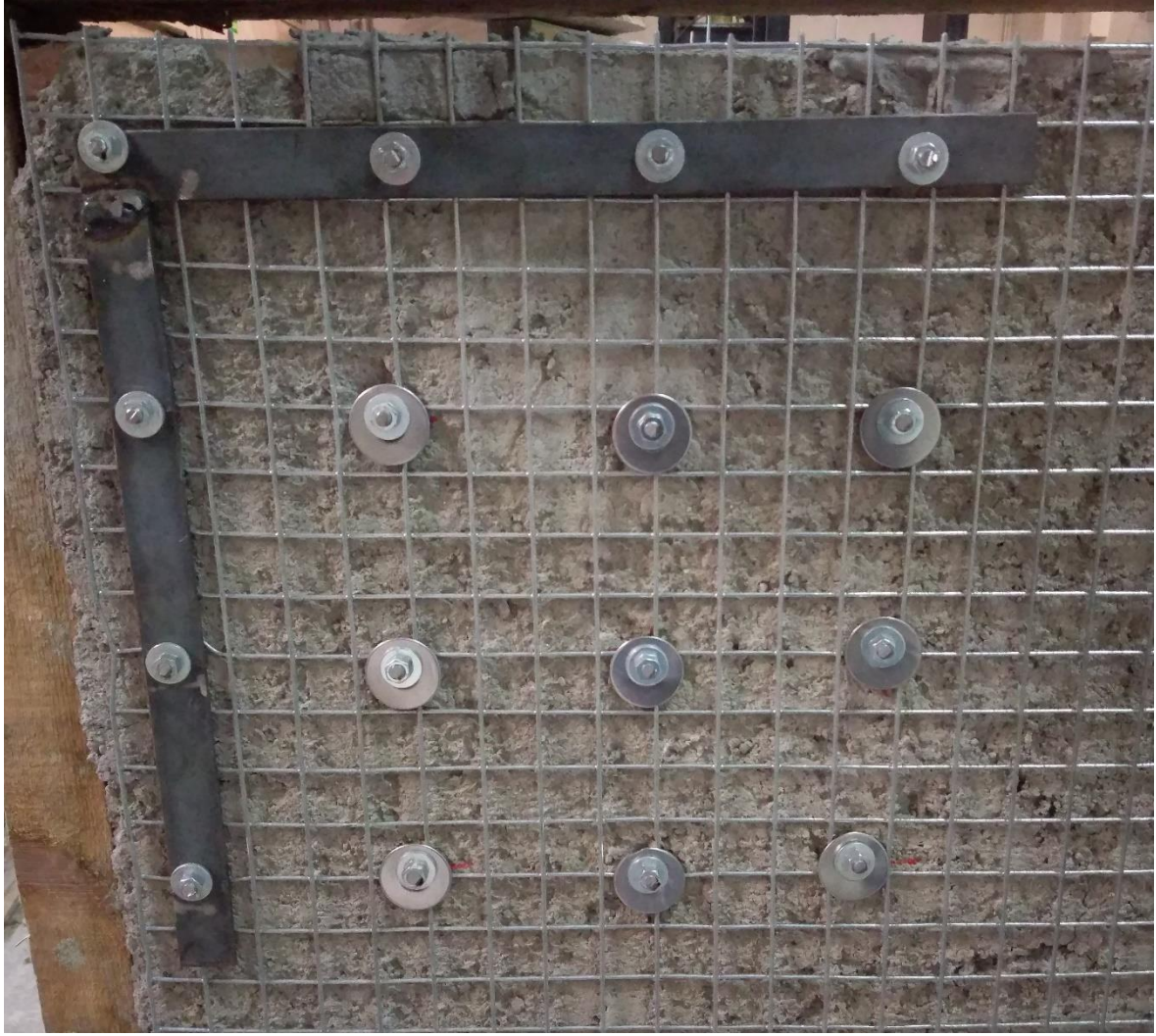
4.4. Tel Örgülerle Güçlendirme Tekniği

Tel örgülerle güçlendirme tekniğinde tel örgü, tuğla dolgu duvarın her iki yüzüne gijonlarla bağlanmıştır. Duvar yüzeyinde 7 mm çapında delikler açılmış ve bu deliklerden yaklaşık olarak 150 mm uzunluğundaki Ø6 metrik gijonlar geçirildikten sonra pullar takılıp karşılıklı somunlar bağlanarak tel örgüler duvara yerleştirilmiştir. Gijonların üzerindeki somunlara ard germe uygulanmamış olup boşluklar tamamen kapatıldıktan sonra tuğlada çatlak oluşturmayacak kadar çeyrek tur döndürülmüştür. Pulların, tel örgülerin göz aralığına girmemesi için kullanılan pulların dış çapının tel örgü göz aralıklarından büyük olmasına özellikle dikkat edilmiştir.



Resim 4.2. Güçlendirme tekniğinde kullanılan gijon, somun ve pul örneği

Daha önce yapılan çalışmalarda bulon aralığı olarak 100 mm, 150 mm ve 200 mm denenmiş ve optimum bulon aralığının 200 mm olduğu görülmüştür [7,11,20]. Bu nedenle deney elemanlarında daha önce yapılan çalışmaların ışığında bulon aralığı 200 mm olarak tutulmuştur. Deprem esnasında duvarda en çok hasar alan yerler duvar köşe bölgeleri olduğu için bulon aralığı, duvarın dört köşesinde 300×300 mm'lik alanda 100 mm'ye düşürülmüştür. Bununla birlikte Resim 4.3.'de görüldüğü üzere 300×300 mm'lik alanda "L" şeklinde 25×3 mm kesitli çelik lamalar kullanılmıştır. "L" şeklindeki lamaları oluşturmak için iki tane 25×3 mm kesitli ve 320 mm uzunluğundaki lamalar birbirlerine dik olacak şekilde kaynak yapıldıktan sonra birbirine yapıştırılmıştır [20].



Resim 4.3. Sıklaştırma bölgesi ve duvar yüzeyinde kullanılan lamalar

4.5. Deney Elemanlarının Hazırlanması

Deney elemanlarının üretimi esnasında içerisinde tuğla duvar örülebilmesi ve işlemi tamamlanan deney elemanlarının deney sistemine taşınabilmesi için 5×10 cm kesitli kalaslar ile 1175 mm yüksekliğinde 1485 mm genişliğinde 9 adet ahşap kalıp hazırlanmıştır. Bütün deney elemanlarında duvarların düz olabilmesi için hazırlanan ahşap kalıpların arkasına osb ahşap levhalar bağlanmıştır. Hazırlanan ahşap kalıp ve osb ahşap levhalar Resim 4.4.'de gösterilmiştir. Deney elemanları üretim aşamasında ilk olarak, hazırlanan ahşap kalıpların içerisine tuğla duvarlar örülmüştür (Resim 4.5). Tuğla duvarlarda derz harçlarının belli bir mukavemet kazanmasından sonra bütün deney elemanlarında 8 mm kalınlığında sıva yapılmıştır (Resim 4.6). Güçlendirme deney elemanlarında duvar yüzeyindeki sıva belli bir dayanıma ulaştıktan sonra duvar delme işlemine geçilmiş olup tel örgü, gijonlarla duvara

bağlanmıştır. Tel örgü duvara yerleştirildikten sonra duvarların köşe bölgelerine lamalar yerleştirilmiştir (Resim 4.7). Son olarak referans deney elemanları sıva üzeri tavan boyasıyla boyanarak, güçlendirme elemanlarında ise tel örgü üzerine 12 mm kalınlığında alçı sıva yapılarak deneye hazır hale getirilmiştir (Resim 4.8).



Resim 4.4. Ahşap kalıpların hazırlanması



Resim 4.5. Örme işlemi tamamlanmış duvar



Resim 4.6. Sıva işlemi yapılmış tuğla duvar



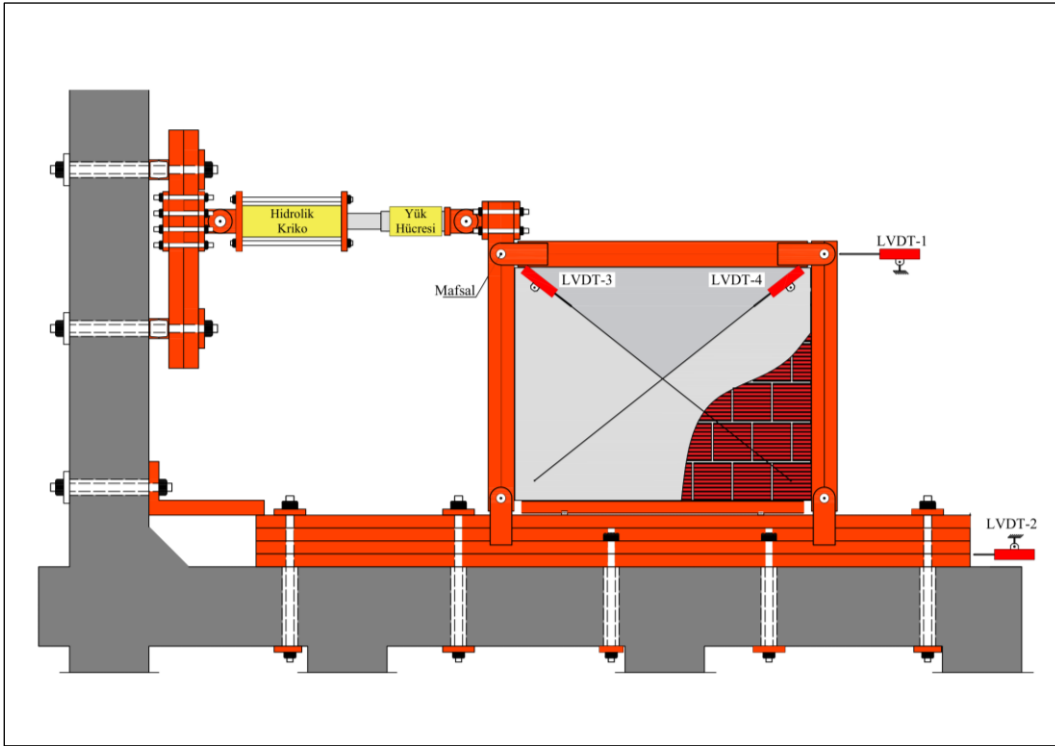
Resim 4.7. Tel örgü ve lamaları bağlanmış tuğla duvar



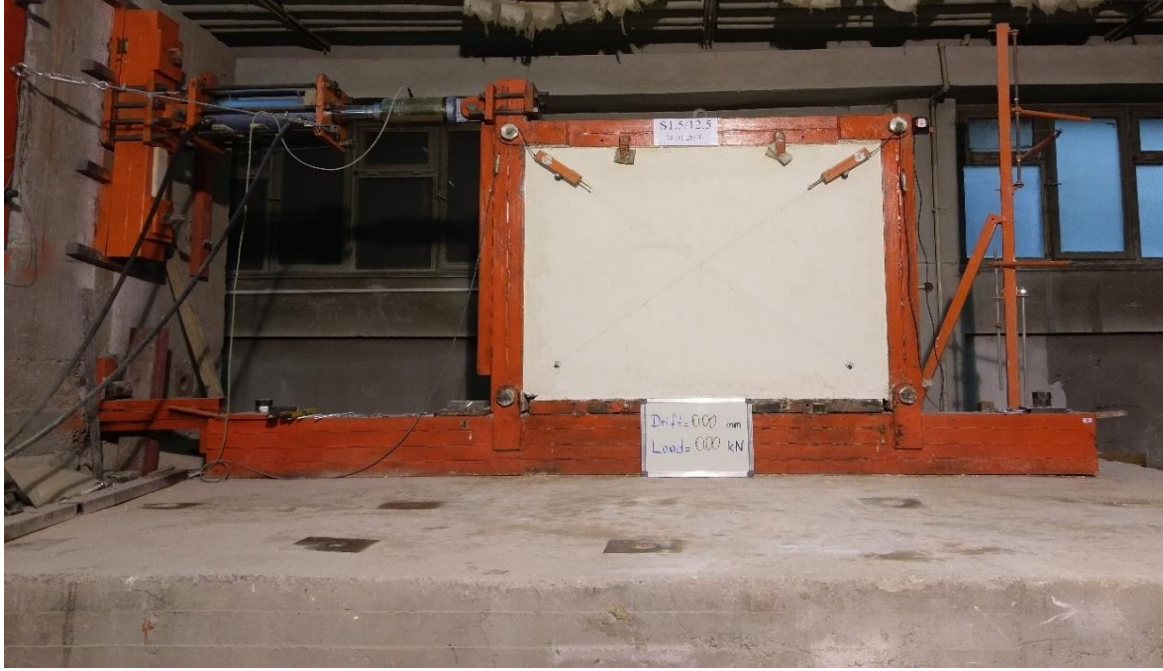
Resim 4.8. Alçı sıvası yapılmış deneye hazır tuğla duvarla

4.6. Deney Düzenegi

Deneylerin üzerinde yapıldığı rijit betonarme platform, 400 mm kalınlığında döşeme ve 400 mm kalınlığında betonarme duvardan oluşmaktadır. Deneyin yapıldığı çerçeve çelik profillerden oluşmaktadır ve bu çelik profiller dört köşesi mafsallı olarak birleştirilmiştir. Deney çerçevesi art germe bulonları sayesinde betonarme döşemeye oldukça sıkı bir şekilde sabitlenmiştir. Aynı zamanda yükleme işleminin duvar düzlemi dışında olmaması için hidrolik krikonun uç kısmından gerilmiş çelik halatlar ile 400 mm kalınlığındaki betonarme perdeye bağlanmıştır. Deney elemanına yük verilme hızı elektrikli hidrolik pompayla manuel olarak yapılmıştır. Deney elemanlarına quasi-static yükleme, elektrikli hidrolik pompayla manuel olarak yapılmıştır. Deney düzenegi Şekil 4.3 ve Resim 4.9. 'da detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Deney düzenegi detayları



Resim 4.9. Deney düzeneği

4.7. Ölçüm Düzeni

Deney esnasında elemanlara etki eden yükler sebebiyle deney elemanının yaptığı deformasyon değerlerini ölçmek için bir adet makaralı potansiyometre ve üç adet 0,01 mm hassasiyetli deplasman ölçer LVDT (Linear variable differential transformer) kullanılmıştır. Deplasman ölçerlerin sağlıklı bir şekilde veri alması ve deney esnasında zarar görmemeleri için önlemler alınmış olup konulan yerlere de sabitlenmiştir. Deplasman ölçerler sayesinde alınan veriler bilgisayara aktarılmıştır. Burada Şekil 4.3'te de görüleceği üzere çerçevenin sağ üst köşesinde bulunan 1 numaralı yerde sistemin yatay ötelenmesini ölçmek için makaralı potansiyometre bulunmaktadır. Deney elemanının sol üst ve sağ üst köşelerinde sırasıyla LVDT-3 ile LVDT-4 bulunmaktadır (bkz. Şekil 4.3). Buradaki LVDT'ler 100 mm genliğe sahip olup deney elemanlarının ihtiyaç halinde kayma deformasyonlarını hesaplayabilmek için kullanılmıştır. Deney sisteminin sağ alt tarafına konulan LVDT-2 ise 50 mm genlikte olup deney çerçevesinin temelinde rijit yatay ötelenmenin ölçülmesi için kullanılmıştır (bkz. Şekil 4.3).

4.8. Yükleme Programı

Deney elemanlarına hidrolik kriko ile çift yönlü olan deprem yükleri verilmiştir. Bütün deney elemanlarına aynı yük programı uygulanmıştır. Deney elemanlarına öncelikle ileri yönde 10 kN yük ve geri yönde 10 kN yük verilerek ilk çevrim tamamlanmıştır. Ardından sekizinci çevrime kadar bu işlem böyle devam etmiştir. Dokuzuncu çevrimde ileri yönde 90 kN yük verildikten sonra krikonun genliği yani strokun boyu bitene kadar sonuna kadar çekme işlemi uygulanmıştır. Deneyin bundan sonraki kısmında ise ileri yönde daha fazla deformasyon uygulamak (yaklaşık 200 mm) için sisteminin sol üst köşesine kutu profil yerleştirilmiştir (Resim 4.10). Kutu profil yerleştirildikten sonra sonuna kadar itme işlemi uygulanıp deney sonlandırılmıştır.



Resim 4.10. Deney elemanına daha fazla deformasyon uygulamak için sonradan eklenen kutu profil

5. DENEYSEL SÜREÇ

Bu bölümde, üretimi yapıp deneye hazır hale getirilen elemanlarda deney esnasında meydana gelen olaylar anlatılmıştır. Deney esnasında meydana gelen olaylar aktarılmış olup aynı zamanda bazı yerlerde de yorumlar ilave edilmiştir. Deney elemanın deney öncesi durumu, deney sonrası durumu ve bununla birlikte deney esnasında meydana gelen önemli olaylar resimlerle de gösterilmiştir. Buna ek olarak her bir deney elemanına ait yük-yatay ötelenme grafiği de verilmiş olup bu grafikteki yük değeri yük hücresinden alınan kN değerleri yatay ötelenme ise makaralı potansiyometreden alınan mm değerleriyle çizilmiştir.

5.1. Referans Deney Elemanları Deneyleri

Referans deney elemanları; SR-1, SR-2 ve SR-3 olmak üzere üç elemandan oluşmaktadır. Hazırlanan üç referans elemanı da aynı özelliklerde üretilmiştir. Referans deney elemanları, tuğla dolgu duvardan oluşan ve üzerinde sadece 8 mm kalınlığında sıva bulunan deney elemanlarıdır. Hazırlanan referans deney elemanları en son tavan boyasıyla boyanarak deneye hazır hale getirilmiştir. Referans deney elemanları güçlendirme amaçlı üretilmediği için tel örgü kullanılmamıştır.

5.1.1. SR-1 deneyi

Tel örgü : yok



Resim 5.1. SR-1 deney elemanının deney öncesi durumu

Deney esnasında meydana gelen olaylar:

- Geri yönde 50 kN ve 14,2 mm deplasman değerine gidene kadar deney elemanında duvar yüzeyinde herhangi bir çatlak ve ezilme belirtisi görülmemiştir.
- İleri yönde 60 kN ve 31,3 mm deplasman değerinde deney elemanında duvar sol üst köşesinde ezilme belirtisi meydana gelmiştir.
- İleri yönde 80 kN ve 91,4 mm deplasman değerinde deney elemanında duvar bütün köşeleri ezilmiştir.
- Geri yönde son çevrime gidilirken deney elemanına maksimum çekme işlemi uygulandığında 82 kN ve 130 mm deplasman değerinde deney elemanı köşelerin ezilmesiyle taşıma gücüne ulaşmıştır (Resim 5.2).



Resim 5.2. Geri yönde son çevrime gidilirken duvar köşelerinde meydana gelen ezilmeler nedeniyle elemanın taşıma gücüne ulaşması

- İleri yönde son çevrime gidilirken deney elemanına maksimum itme işlemi uygulandığında 40 kN ve 230 mm deplasman değerinde deney elemanı ezilmeden kaynaklı taşıma gücüne ulaşarak deney sonlanmıştır (Resim 5.3).

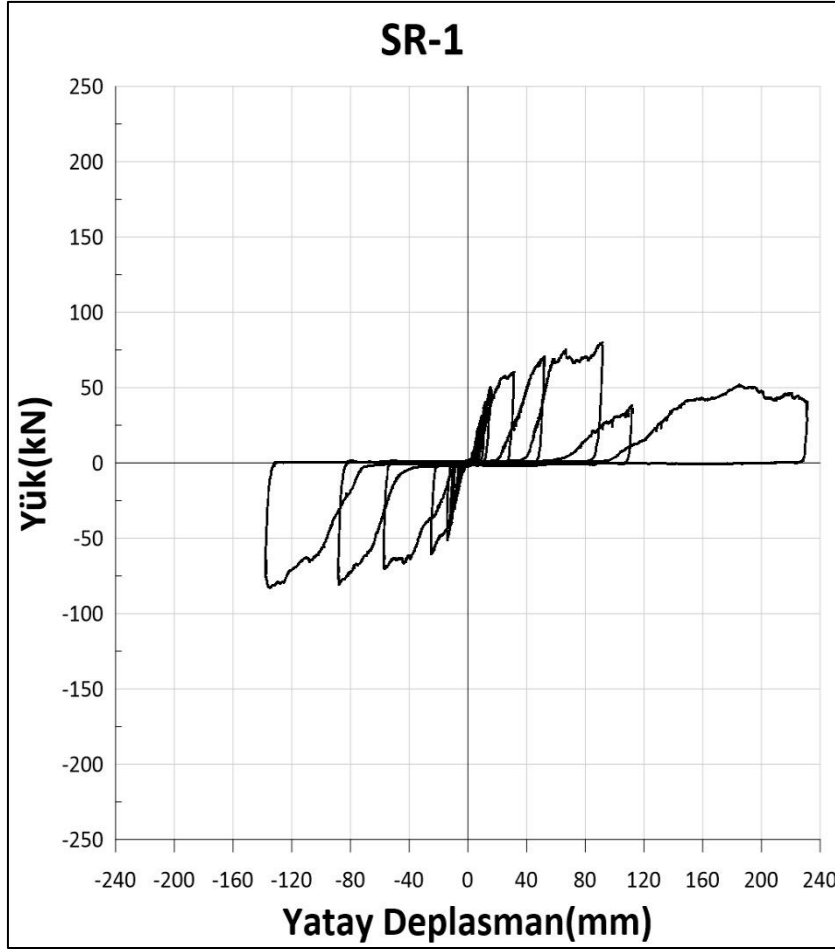


Resim 5.3. İleri yönde son çevrimde deney elemanının hasar durumu

SR-1 deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu Resim 5.4'te gösterilmiştir. Aynı şekilde SR-1 deney elemanının yük-deplasman grafiği de Şekil 5.1'de verilmiştir. Deney elemanı ileri yönde 80 kN ve geri yönde 83 kN dayanıma ulaşmıştır.



Resim 5.4. SR-1 deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu



Şekil 5.1. SR-1 deney elemanının yük-yatay deplasman ilişkisi

5.1.2. SR-2 deneyi

Tel örgü : yok



Resim 5.5. SR-2 deney elemanının deney öncesi durumu

Deney esnasında meydana gelen olaylar:

- Geri yönde 30 kN ve 13,2 mm deplasman değerine gidene kadar deney elemanında duvar yüzeyinde herhangi bir çatlak ve ezilme belirtisi görülmemiştir.
- İleri yönde 40 kN ve 16,6 mm deplasman değerinde deney elemanında duvar sol üst köşesinde ezilme belirtisi meydana gelmiştir.
- Geri yönde 50 kN ve 29,8 mm deplasman değerinde deney elemanında duvar bütün köşeleri ezilmeye başlamıştır.
- İleri yönde 90 kN ve 98,3 mm deplasman değerinde deney elemanında özellikle sol üst köşe olmak üzere duvar bütün köşeleri ezilmiştir.
- Geri yönde son çevrime gidilirken deney elemanına maksimum çekme işlemi uygulandığında 107 kN ve 130 mm deplasman değerinde duvarda meydana gelen hasar devam etmiştir (Resim 5.6).



Resim 5.6. Geri yönde son çevrimde deney elemanının hasar durumu

- İleri yönde son çevrime gidilirken deney elemanına maksimum itme işlemi uygulandığında 35 kN ve 220 mm deplasman değerinde deney elemanı köşelerin ezilmesiyle taşıma gücüne ulaşarak deney sonlanmıştır (Resim 5.7).

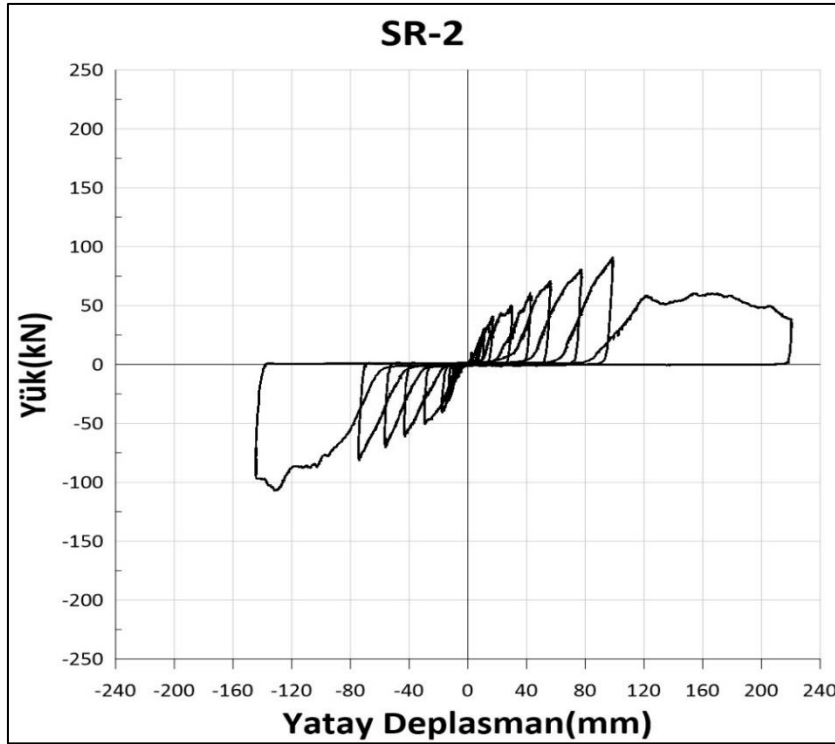


Resim 5.7. İleri yönde son çevrime gidilirken duvar köşelerinde meydana gelen ezilmeler nedeniyle elemanın taşıma gücüne ulaşması

SR-2 deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu Resim 5.8’de gösterilmiştir. Aynı şekilde SR-2 deney elemanının yük-deplasman grafiği de Şekil 5.2’de verilmiştir. Deney elemanı ileri yönde 91,6 kN ve geri yönde 107,2 kN dayanım değerine ulaşmıştır.



Resim 5.8. SR-2 deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu



Şekil 5.2. SR-2 deney elemanının yük-yatay deplasman ilişkisi

5.1.3. SR-3 deneyi

Tel örgü : yok



Resim 5.9. SR-3 deney elemanının deney öncesi durumu

Deney esnasında meydana gelen olaylar:

- İleri yönde 50 kN ve 16,6 mm deplasman değerine gidene kadar deney elemanında duvar yüzeyinde herhangi bir çatlak ve ezilme belirtisi görülmemiştir.
- Geri yönde 50 kN ve 27,8 mm deplasman değerinde deney elemanında duvar sağ üst ve duvar sol alt köşelerinde ezilme belirtisi meydana gelmiştir.
- Geri yönde son çevrime gidilirken deney elemanına maksimum çekme işlemi uygulandığında 100 kN ve 130 mm deplasman değerinde duvarda meydana gelen hasar devam etmiştir (Resim 5.10).



Resim 5.10. Geri yönde son çevrimde deney elemanının hasar durumu

- İleri yönde son çevrime gidilirken deney elemanına maksimum itme işlemi uygulandığında 27 kN ve 226 mm deplasman değerinde deney elemanı köşelerin ezilmesiyle taşıma gücüne ulaşarak deney sonlanmıştır (Resim 5.11).

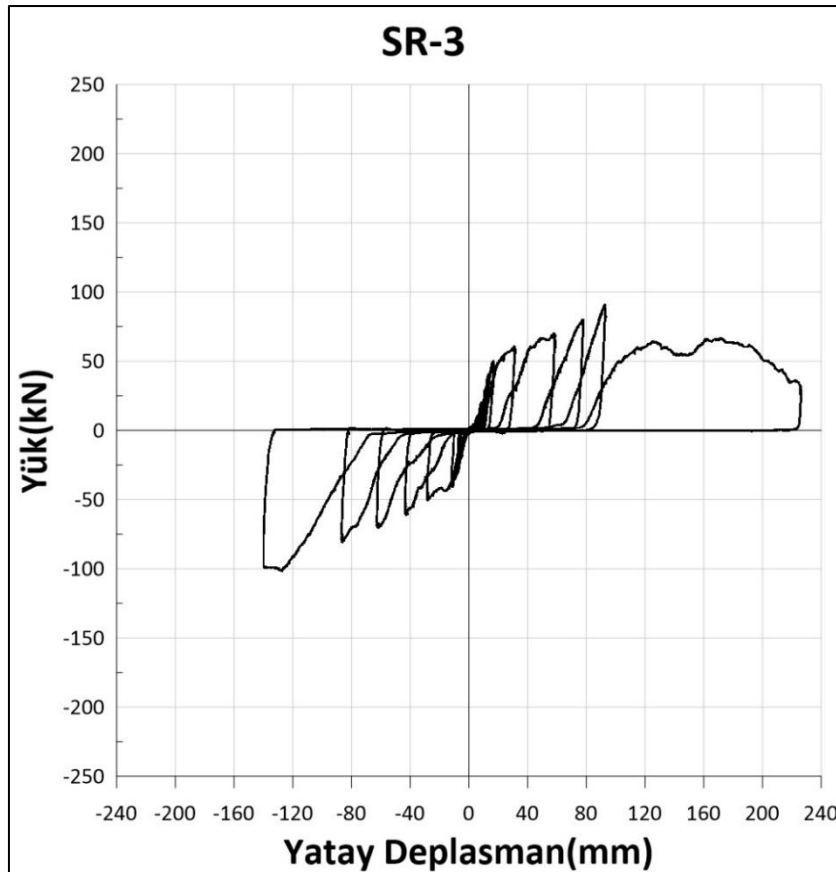


Resim 5.11. İleri yönde son çevrime gidilirken duvar köşelerinde meydana gelen ezilmeler nedeniyle elemanın taşıma gücüne ulaşması

SR-3 deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu Resim 5.12’de gösterilmiştir. Aynı şekilde SR-3 deney elemanın yük-deplasman grafiği de Şekil 5.3’de verilmiştir. Deney elemanı ileri yönde 90,6 kN ve geri yönde 101,7 kN dayanım değerine ulaşmıştır.



Resim 5.12. SR-3 deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu



Şekil 5.3. SR-3 deney elemanının yük-yatay deplasman ilişkisi

5.2. Tel Örgülerle Güçlendirilmiş Tuğla Dolgu Duvar Deneyleri

Tel örgülerle güçlendirilmiş tuğla dolgu duvar deney elemanları; S1/10, S1/15, S1.5/12.5, S1.5/20, S2/20b ve S2/25 olmak üzere altı elemandan oluşmaktadır. Güçlendirilmiş deney elemanlarında her birinde farklı tel çapı ve farklı göz aralığında tel örgü kullanılmasının dışında, bütün elemanlar aynı özellikte üretilmiştir. Sıvalı olan tuğla dolgu duvarların her iki yüzüne tel örgüler yerleştirilmiş olup bu tel örgüler bulonlar ve gijonlar vasıtasıyla karşılıklı olarak bağlanmıştır. Kullanılan M6 cinsinden bulonlar ile galvanizli metrik 6 (M6) cinsinden olan gijonlar duvarda her iki yönde 200 mm aralıklarla bağlanmıştır. Aynı zamanda duvar köşe bölgelerinde yüksek gerilmeler oluştuğu için duvar köşelerinde 300×300 mm’lik alanda 100 mm aralıklarla bulonlar bağlanmıştır. Bununla birlikte 300×300 mm’lik duvar köşelerinde tel örgü üzerine “L” şeklinde 25×3 mm kesitli lamalar yerleştirilmiştir. Çelik lama kullanmamızın amacı duvar köşe bölgelerdeki ezilmeyi geciktirmektir. Tel örgünün üzerine alçı sıva yapıldığı için lamalar deney öncesinde gözükmemektedir. Ancak deney esnasında meydana gelen hasarlar neticesinde lamalar gözükebilmektedir.

5.2.1. S1/10 deneyi

Tel örgü çapı : 1 mm

Tel örgü göz aralığı : 10 mm



Resim 5.13. S1/10 deney elemanının deney öncesi durumu

Deney esnasında meydana gelen olaylar:

- Geri yönde 40 kN ve 20,5 mm deplasman değerine gidene kadar deney elemanında duvar yüzeyinde herhangi bir çatlak ve ezilme belirtisi görülmemiştir.
- İleri yönde 50 kN ve 26,9 mm deplasman değerinde deney elemanında duvar köşelerinde ezilme belirtisi meydana gelmiştir.
- Geri yönde 50 kN ve 31,7 mm deplasman değerinde duvar köşelerinde meydana gelmiş olan ezilmeler iyice belirginleşmiştir.
- Geri yönde 60 kN ve 44 mm deplasman değerinde lamaların, duvar köşelerinde meydana gelmiş olan ezilmelerin iç bölgeye ilerlemesini engellediği görülmüştür.
- Geri yönde 80 kN ve 59,2 mm deplasman değerinde lamaların ezilmeleri kısıtlaması sebebiyle duvarda ezilme bölgeleri lamadan lamaya kadar olan bölgeyle sınırlı kalmıştır.
- Geri yönde son çevrime gidilirken deney elemanına maksimum çekme işlemi uygulandığında 246 kN ve 112 mm deplasman değerinde deney elemanında duvar sağ üst köşesindeki ezilme bölgesi lamaya dayanarak ezilmenin sınırlı kalmasına neden olmuştur. Duvar sol alt köşede ise ezilme sınırlı kalarak lamanın öte yüzüne geçmemiştir. Yükleme devam ederken önce duvar orta bölgesinde başlayan sonra köşelere devam eden boydan boya diyagonal çatlaklar oluşmaya başlamıştır. Öncelikle duvar sağ üst köşesinden duvar sol alt köşesine kadar devam eden bir tane ana diyagonal çatlak oluşmuş

sonra beraberinde üç tane daha ana çatlak şeklinde çatlak oluşmuş ve bu çatlaklarla beraber kılcal çatlaklar da meydana gelmiştir. Aynı zamanda elemanda duvar alt bölgesinde lamanın bittiği noktadan itibaren derz kayması da yaşanmıştır. Yani sonuç olarak bu çevrimde geri yöndeki dayanıma ulaşması diyagonal çatlaklar, duvar köşe bölgelerinde meydana gelen ezilmeler ve derz kayması sebep olmuştur. Ama yükteki ani düşmeye diyagonal çatlaklar ve derz kayması neden olmuştur (Resim 5.14).



Resim 5.14. S1/10 deney elemanında geri yönde son çevrime gidilirken meydana gelen diyagonal çatlaklar ve meydana gelen derz kayması

- İleri yönde son çevrime gidilirken deney elemanına maksimum itme işlemi uygulandığında 39 kN ve 220 mm deplasman değerinde derz kayması boyunca duvarın yaklaşık üst yarısı, alt yarısına göre göreceli hareket ederek hasarın o bölgede yoğunlaşmasını sağlamıştır. Tel örgüde büyük deformasyonlar oluşmuş ve sınırlı bölgelerde üç dört cm lik üç dört tane sınırlı lokal kopmalar yaşanmıştır (Resim 5.15). Buna rağmen tel örgü sargılama etkisiyle duvardan kopan parçaların düşmesini engelleyerek duvar bütünlüğünü aşırı deformasyonlarda dahi sağlamıştır (Resim 5.16).



Resim 5.15. S1/10 deney elemanında ileri yönde son çevrime gidilirken maksimum itildiğinde tel örgüde meydana gelen büyük deformasyonlar ve lokal kopmalar



Resim 5.16. S1/10 deney elemanında tel örgü sargılama etkisiyle duvardan kopan parçaların düşmesini engelleyerek duvar bütünlüğünü aşırı deformasyonlarda dahi sağlaması

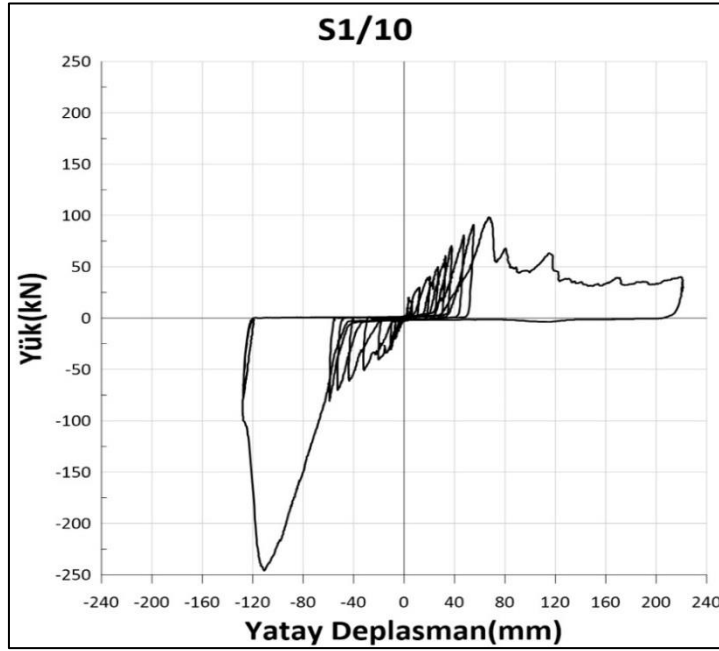


Resim 5.17. S1/10 deney elemanının ileri yönde son çevrimdeki hasar durumu

S1/10 deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu Resim 5.18’de gösterilmiştir. Aynı şekilde deney elemanının yük-deplasman grafiği de Şekil 5.4’de verilmiştir. Deney elemanı ileri yönde 98,3 kN ve geri yönde 246,3 kN dayanım değerine ulaşmıştır.



Resim 5.18. S1/10 deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu



Şekil 5.4. S1/10 deney elemanının yük-yatay deplasman ilişkisi

5.2.2. S1/15 deneyi

Tel örgü çapı : 1 mm

Tel örgü göz aralığı : 15 mm



Resim 5.19. S1/15 deney elemanının deney öncesi durumu

Deney esnasında meydana gelen olaylar:

- Geri yönde 30 kN ve 13,2 mm deplasman değerine gidene kadar deney elemanında duvar yüzeyinde herhangi bir çatlak ve ezilme belirtisi görülmemiştir.
- İleri yönde 40 kN ve 23,9 mm deplasman değerinde deney elemanında duvar sol üst ve duvar sağ alt köşelerinde ezilme belirtisi meydana gelmiştir.
- İleri yönde 60 kN ve 44 mm deplasman değerinde deney elemanında duvar sol üst ve duvar sağ alt köşeleri ezilmeye başlamıştır.
- Geri yönde son çevrime gidilirken deney elemanına maksimum çekme işlemi uygulandığında 186 kN ve 88 mm deplasman değerinde deney elemanı, köşelerdeki ezilmeden ziyade meydana gelen diyagonal çatlaklar ve lamanın bittiği yerden derz ayrılmasından dolayı taşıma gücüne geri yönde ulaşmıştır (Resim 5.20).



Resim 5.20. S1/15 deney elemanının geri yönde son çevrimdeki hasar durumu

- İleri yönde son çevrime gidilirken deney elemanına maksimum itme işlemi uygulandığında 32 kN ve 220 mm deplasman değerinde duvar altından 30 cm yukarısında oluşan yatay çatlakta hasar yoğunlaştı ve bu bölgede meydana gelen dayanım kaybıyla eleman taşıma gücüne ulaşmıştır. Deneyin son aşamalarına gelindiğinde tel örgü bulonların çevresinde yırtılarak bulonların sargılama etkisini sıfırlamıştır. Yatayda oluşan kesme çatlağı ile eleman taşıma gücüne ulaşmıştır.

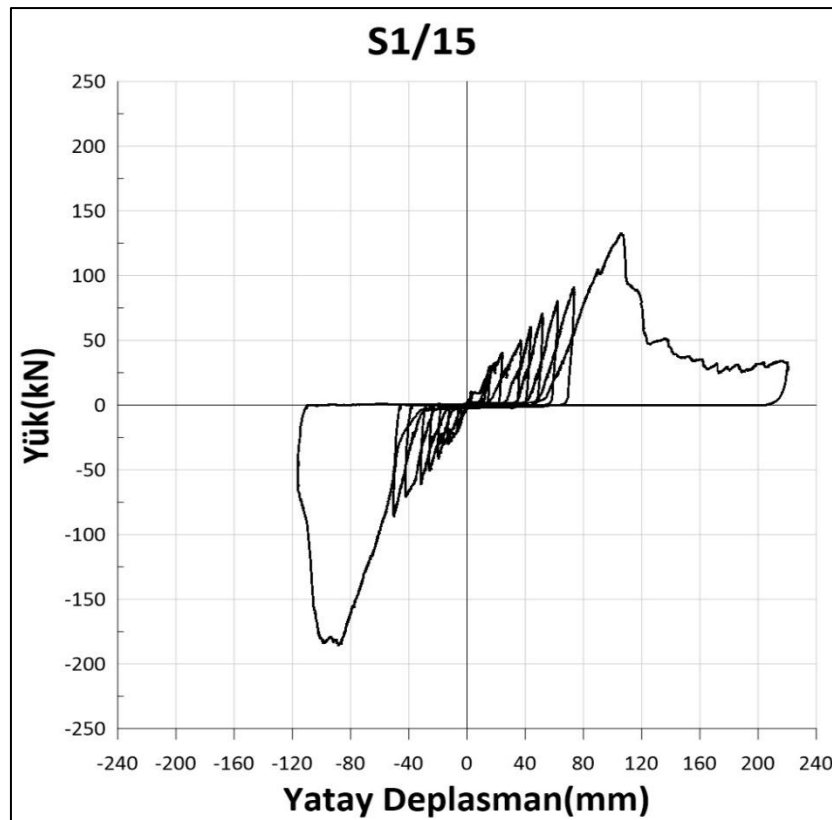


Resim 5.21. S1/15 deney elemanının ileri yönde son çevrimdeki hasar durumu

S1/15 deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu Resim 5.22’de gösterilmiştir. Aynı şekilde S1/15 deney elemanının yük-deplasman grafiği de Şekil 5.5’de verilmiştir. Deney elemanı ileri yönde 132,7 kN ve geri yönde 185,6 kN dayanım değerine ulaşmıştır.



Resim 5.22. S1/15 deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu



Şekil 5.5. S1/15 deney elemanının yük-yatay deplasman ilişkisi

5.2.3. S1.5/12.5 deneyi

Tel örgü çapı : 1,5 mm

Tel örgü göz aralığı : 12,5 mm



Resim 5.23. S1.5/12.5 deney elemanının deney öncesi durumu

Deney esnasında meydana gelen olaylar:

- Geri yönde 70 kN ve 16,1 mm deplasman değerine gidene kadar deney elemanında duvar yüzeyinde herhangi bir çatlak ve ezilme belirtisi görülmemiştir.
- İleri yönde 80 kN ve 20,5 mm deplasman değerinde deney elemanında duvar sol üst ve duvar sağ alt köşelerinde ezilme belirtisi meydana gelmiştir.
- İleri yönde 90 kN ve 39,6 mm deplasman değerinde deney elemanında bir önceki çevrimde meydana gelen duvar sol üst ve duvar sağ alt köşelerinde ezilme belirtisi iyice belirginleşmiştir.
- Geri yönde son çevrime gidilirken deney elemanına maksimum çekme işlemi uygulandığında 240 kN ve 97 mm deplasman değerinde deney elemanında duvar sol üst ve duvar sağ üst köşelerinde ezilmeler başlamıştır. Ezilmeler belirginleştikçe diyagonal

çatlaklar oluşmaya başlamıştır. Bu kılcal çatlakların açılmasıyla beraber rijitlikte ani değişim meydana gelmiştir. Duvar sağ kenar orta bölgesinden başlayan yatay çatlak oluşmasıyla beraber eleman dayanımında ani kayıp meydana gelmiş ve geri çevrimde deney yükleme durdurulmuştur.



Resim 5.24. S1.5/12.5 deney elemanının geri yönde son çevrimdeki hasar durumu

- İleri yönde son çevrime gidilirken deney elemanına maksimum itme işlemi uygulandığında 80 kN ve 230 mm deplasman değerinde deney elemanında geri çevrimde oluşan yatay çatlak ileri çevrimde de devam etmiş ve boylu boyunca ciddi hasar oluşmasına neden olmuştur. Bu hasar neticesinde duvarın üst yarısı alt yarısına göre rölatif hareket etmeye başlamıştır. Bu hareket esnasında sınırlı da olsa tel örgüde kopmalar meydana gelmiştir. Duvarın alt yarısı üst yarısından tamamen ayrılmıştır. Tel örgüdeki kopmalar, gijonların bulunduğu gerilme yığılma bölgelerinde meydana gelmiştir.

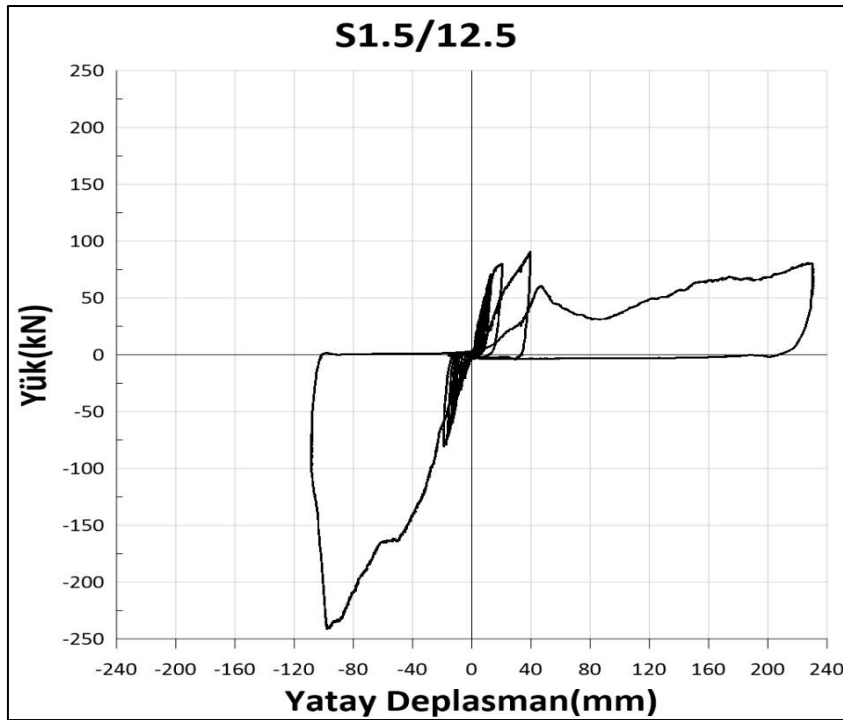


Resim 5.25. S1.5/12.5 deney elemanının ileri yönde son çevrimdeki hasar durumu

S1.5/12.5 deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu Resim 5.26’da gösterilmiştir. Aynı şekilde S1.5/12.5 deney elemanının yük-deplasman grafiği de Şekil 5.6’da verilmiştir. Deney elemanı ileri yönde 90,6 kN ve geri yönde 240,8 kN dayanıma ulaşmıştır.



Resim 5.26. S1.5/12.5 deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu



Şekil 5.6. S1.5/12.5 deney elemanının yük-yatay deplasman ilişkisi

5.2.4. S1.5/20 deneyi

Tel örgü çapı : 1,5 mm

Tel örgü göz aralığı : 20 mm



Resim 5.27. S1.5/20 deney elemanının deney öncesi durumu

Deney esnasında meydana gelen olaylar:

- Geri yönde 30 kN ve 12,2 mm deplasman değerine gidene kadar deney elemanında duvar yüzeyinde herhangi bir çatlak ve ezilme belirtisi görülmemiştir.
- İleri yönde 40 kN ve 26,4 mm deplasman değerinde deney elemanında duvar köşelerinde ezilme belirtisi meydana gelmiştir.
- Geri yönde 70 kN ve 46,9 mm deplasman değerinde deney elemanında bir önceki çevrimde duvar köşelerinde meydana gelen ezilmeler orta düzeye çıkmıştır.
- Geri yönde son çevrime gidilirken deney elemanına maksimum çekme işlemi uygulandığında 228 kN ve 110 mm deplasman değerinde deney elemanında duvar köşelerinde meydana gelmiş olan ezilme hasarları yoğunlaşmıştır ancak yükteki büyük

kaybın sebebi diyagonalde oluşan kılcal çatlakların giderek açılarak ve ilerleyerek köşeden köşeden ulaşması olmuştur. Aynı zamanda üç tane ana çatlak meydana gelmiştir. Yatayda herhangi bir çatlak oluşmamıştır. Lamalar köşelerdeki ezilmenin iç bölgeye ilerlemesini engellemiştir.



Resim 5.28. S1.5/20 deney elemanının geri yönde son çevrimdeki hasar durumu

- İleri yönde son çevrime gidilirken deney elemanına maksimum itme işlemi uygulandığında 52 kN ve 220 mm deplasman değerinde deney elemanında geri çevrimde oluşan diyagonal çatlaklar, diyagonal boyunca ileri düzey hasar oluşturmuştur. İleri çevrimde ise bu hasarlı diyagonal bölge basınç gerilmeleri ve basınç kuvvetleri etkisiyle ezilmiş ve dağılmaya başlamıştır. Ancak tel örgü bu bölgeyi sargılayarak, ezilmiş olan duvar parçalarının dağılıp dökülmesini engelleyerek duvarın sınırlı da olsa mekanik yaslanma devam etmesini sağlamıştır (Resim 5.29). Duvarın göçme modu; diyagonalde oluşan çatlaklar ve köşelerde meydana gelen orta düzey ezilmelerdir.



Resim 5.29. S1.5/20 deney elemanında tel örgü hasar almış olan diyagonal bölgeyi sargılayarak duvar parçalarının dağılıp dökülmesini engelleyerek duvarın sınırlı da olsa mekanik yaslanmaya devam etmesini sağlaması

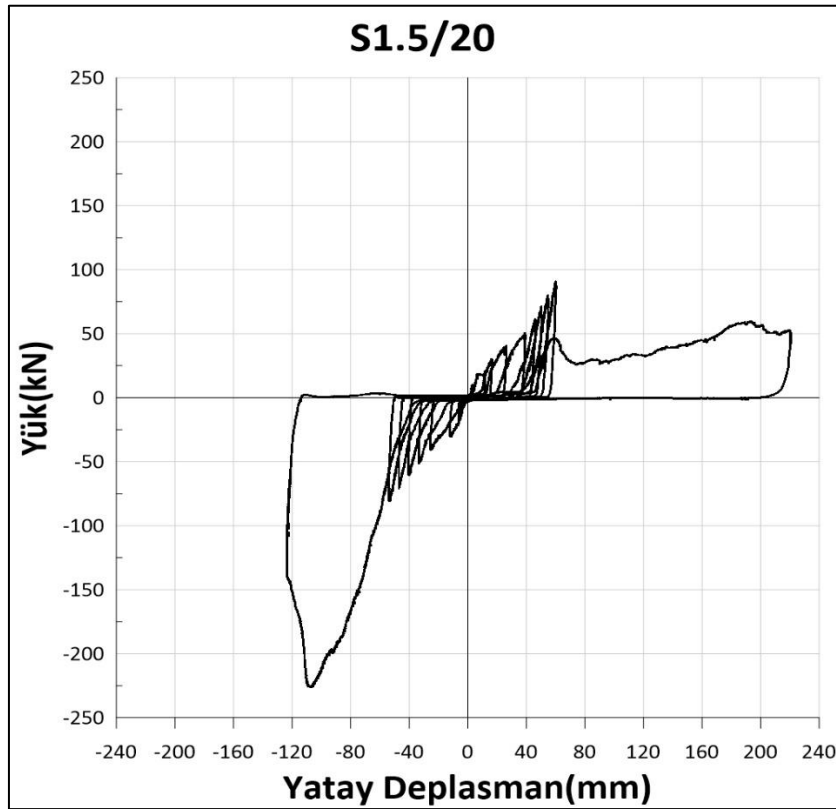


Resim 5.30. S1.5/20 deney elemanının ileri yönde son çevrimdeki hasar durumu

S1.5/20 deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu Resim 5.31’de gösterilmiştir. Aynı şekilde S1.5/20 deney elemanının yük-deplasman grafiği de Şekil 5.7’de verilmiştir. Deney elemanı ileri yönde 90,6 kN ve geri yönde 226,2 kN dayanım değerine ulaşmıştır.



Resim 5.31. S1.5/20 deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu



Şekil 5.7. S1.5/20 deney elemanının yük-yatay deplasman ilişkisi

5.2.5. S2/20b deneyi

Tel örgü çapı : 2 mm

Tel örgü göz aralığı : 20 mm

S2/20b deney elemanında duvar üst yüzeyinin 15 cm aşağısından başlayan ve aşağıya doğru inen 15,5 cm boyunda bir tel örgü bindirmesi yapılmıştır (Resim 5.32).



Resim 5.32. S2/20b deney elemanında tel örgü bindirme bölgesi



Resim 5.33. S2/20b deney elemanının deney öncesi durumu

Deney esnasında meydana gelen olaylar:

- Geri yönde 50 kN ve 24,9 mm deplasman değerine gidene kadar deney elemanında duvar yüzeyinde herhangi bir çatlak ve ezilme belirtisi görülmemiştir.
- İleri yönde 60 kN ve 27,4 mm deplasman değerinde deney elemanında duvar sol üst ve duvar sağ alt köşe bölgelerinde ezilme belirtisi meydana gelmiştir.
- Geri yönde son çevrime gidilirken deney elemanına maksimum çekme işlemi uygulandığında 240 kN ve 96 mm deplasman değerinde deney elemanında duvar sol alt ve duvar sağ üst köşe yaslanma bölgelerinde ezilme orta düzeyde kalmıştır. Ancak duvar sol alt köşe sıklaştırma bölgesi hemen bitiminde ezilme son derece belirgin hale gelmiştir (Resim 5.34). Bununla beraber yükleme esnasında oluşan diyagonal çataklar son aşamada iyice açılarak elemanın taşıma gücünü yitirmesine neden olmuştur. Deney elemanının göçme modu; duvar sol alt köşe sıklaştırma bölgesi dışında gerçekleşen ezilme ve diyagonal çekmedir.



Resim 5.34. S2/20b deney elemanında duvar sol alt köşe bölgesinde meydana gelen ezilme



Resim 5.35. S2/20b deney elemanının geri yönde son çevrimdeki hasar durumu

- İleri yönde son çevrime gidilirken deney elemanına maksimum itme işlemi uygulandığında 170 kN ve 88 mm deplasman değerinde deney elemanında yükte ani kayıp duvar orta bölgesindeki ezilme hasarıyla meydana gelmiştir. Yüklemenin devam ettirilmesiyle duvarın üst yarısı alt yarısına göre rölatif hareket etmeye başlamış ve ara kesit kesilmeye zorlanmıştır. Hasar orta bölgede olduğu için bindirmenin orta bölgede yapılmamış olması oldukça avantaj olduğu görülmüştür. Bununla beraber bindirme bölgesinde herhangi bir hasar yoğunlaşması gözlemlenmemiştir.

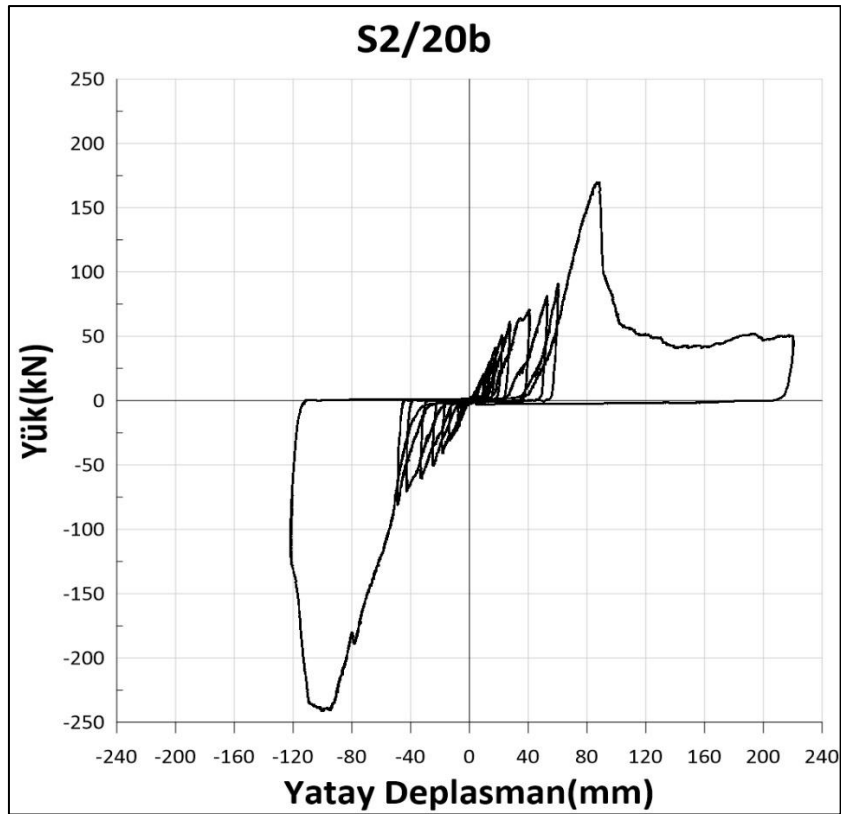


Resim 5.36. S2/20b deney elemanının ileri yönde son çevrimdeki hasar durumu

S2/20b deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu Resim 5.37’de gösterilmiştir. Aynı şekilde S2/20b deney elemanın yük-deplasman grafiği de Şekil 5.8’de verilmiştir. Deney elemanı ileri yönde 169,6 kN ve geri yönde 240,8 kN dayanıma ulaşmıştır.



Resim 5.37. S2/20b deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu



Şekil 5.8. S2/20b deney elemanının yük-yatay deplasman ilişkisi

5.2.6. S2/25 deneyi

Tel örgü çapı : 2 mm

Tel örgü göz aralığı : 25 mm



Resim 5.38. S2/25 deney elemanının deney öncesi durumu

Deney esnasında meydana gelen olaylar:

- İleri yönde 50 kN ve 35,7 mm deplasman değerine gidene kadar deney elemanında duvar yüzeyinde herhangi bir çatlak ve ezilme belirtisi görülmemiştir.
- Geri yönde 50 kN ve 39,6 mm deplasman değerinde deney elemanında duvar sol alt köşede sınırlı düzeyde ezilme belirtisi meydana gelmiştir.
- İleri yönde 90 kN ve 59,2 mm deplasman değerinde deney elemanında duvar köşe bölgelerinde hafif düzeyde ezilme meydana gelmiştir.
- Geri yönde son çevrime gidilirken deney elemanına maksimum çekme işlemi uygulandığında 250 kN ve 118 mm deplasman değerinde deney elemanında önceki çevrimde oluşan duvar köşe bölgelerindeki hasarlar hafif düzeyden orta düzeye çıkmış ancak lamaların ötesine geçmemiştir. Bu esnada kılcal diyagonal çatlaklar oluşmaya

başlamıştır. Yüklemenin son aşamasına gelindiğinde bu çatlaklar daha da açılmıştır. Yükte ani kayıp ise duvar sol alt köşe sıklaştırma bölgesi hemen dışının ezilmesiyle gerçekleşmiştir. Bu durum duvar arka yüzünden bakıldığında çok daha net gözükmemektedir (Resim 5.39).



Resim 5.39. S2/25 deney elemanında duvar sol alt köşe bölgesinde meydana gelen ezilmenin duvar arka yüzünden bakıldığı zamanki hali



Resim 5.40. S2/25 deney elemanının geri yönde son çevrimdeki hasar durumu

- İleri yönde son çevrime gidilirken deney elemanına maksimum itme işlemi uygulandığında 205 kN ve 105 mm yabancı saha değerinde deney elemanında bir önceki çevrimde meydana gelmiş olan duvar köşe bölgelerindeki hafif düzeydeki ezilmeler orta düzeye çıkmıştır. Aynı zamanda diyagonal çatlaklar oluşmuş ve bu diyagonal çatlaklar açılırken duvar yatay düzleminin ortasından başlayan boyuna çatlak neticesinde o bölge ezilmeye zorlanmıştır. Ancak o düşey bölgenin ezilmesiyle beraber tel örgü kopan parçaların dökülmesini engelleyerek duvar bütünlüğünü deney sonuna kadar korumuştur (Resim 5.41) . Yükte meydana gelen ani düşme ise boyuna çatlağın oluşmasıyla gerçekleşmiştir. Bu yönde elemenda göçme modu; ezilme ve diyagonal çekmedir.



Resim 5.41. S2/25 deney elemanında tel örgü hasar almış olan bölgenin ezilmesiyle beraber kopan parçaların dökülmesini engelleyerek duvar bütünlüğünü deney sonuna kadar koruması

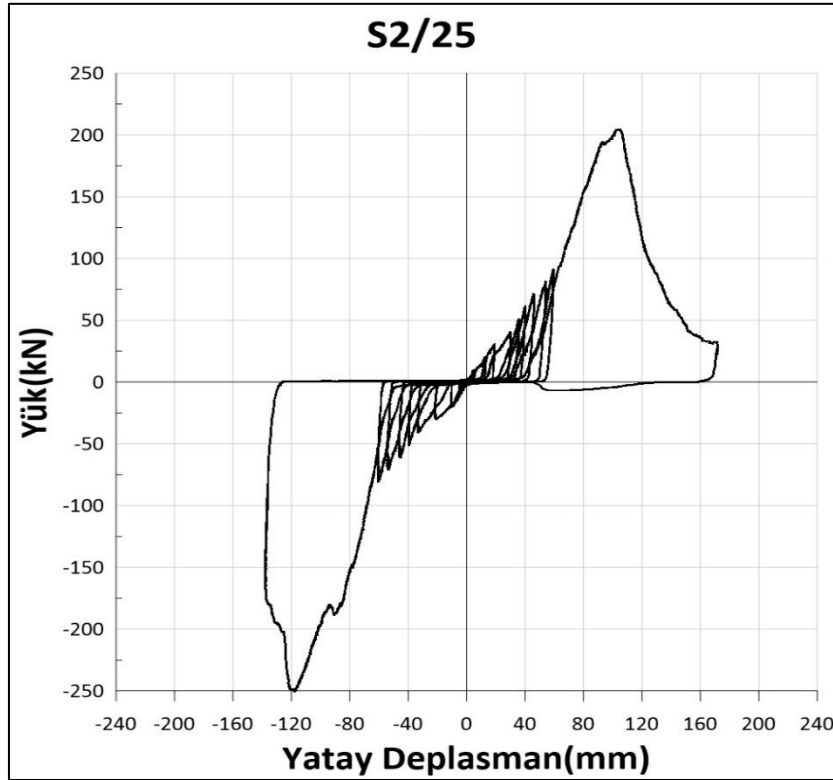


Resim 5.42. S2/25 deney elemanının ileri yönde son çevrimdeki hasar durumu

S2/25 deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu Resim 5.43’de gösterilmiştir. Aynı şekilde S2/25 deney elemanının yük-deplasman grafiği de Şekil 5.9’da verilmiştir. Deney elemanı ileri yönde 204,5 kN ve geri yönde 250,4 kN dayanım değerine ulaşmıştır.



Resim 5.43. S2/25 deney elemanının deney sonrasındaki hasar durumu



Şekil 5.9. S2/25 deney elemanının yük-yatay deplasman ilişkisi

6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1. Genel

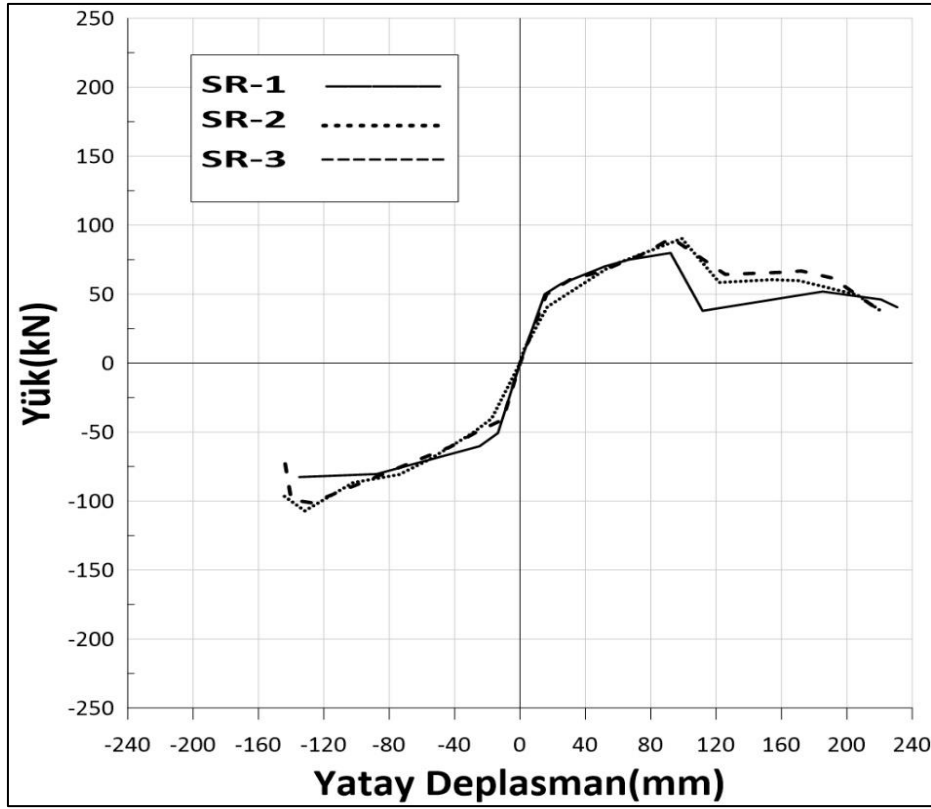
Bilindiği üzere depreme dayanıklı bir yapı elemanının dayanım, rijitlik ve sünekliğinin yüksek olması gerekir. Bu bölümde deney sonuçlarından alınan verilerle bahsedilen üç önemli hususu da içeren kıstaslarına göre değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan değerlendirme ve analizlerde genel olarak deney elemanların yük-yatay ötelenme zarf eğrilerinden faydalanılmış ve göçme modları da göz önünde bulundurulmuştur. Çizelge 6.1’de deney elemanlarının göçme modları verilmiştir. Zarf eğrileri ise her çevrimde ulaşılan maksimum yük noktalarının doğrusal olarak birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Referans deney elemanlarının yük-yatay ötelenme eğrileri de Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Referans elemanların bant eğrisine bakıldığında birbirine oldukça yakın sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiş ve bu nedenle karşılaştırmalar ayrı ayrı değil ortalama değerleri içeren grafik ile yapılmıştır. Bu kapsamda referans deney elemanlarının yük-yatay ötelenme grafiğinde her bir ötelenme değeri için bulunan üç adet yük değerinin aritmetik ortalaması alınarak referans elemanların ortalama zarf eğrisi (SR_{avg}) çizilmiştir (Şekil 6.2). Her bir güçlendirilmiş deney elemanının yük-yatay ötelenme zarf eğrisi ile referans deney elemanların ortalama yük-yatay ötelenme eğrisi kıyaslanmış olup Şekil 6.3’de gösterilmiştir.

İlk adımda yapılan analiz, kıyaslama ve yorumlar referans elemanlar ile tel örgülerle güçlendirilmiş deney elemanları arasında olmuştur. Yani bu adımda daha çok ortalama referans deney elemanı (SR_{avg}) ile güçlendirilmiş deney elemanları arasındaki davranış farklılıkları ortaya konmuştur.

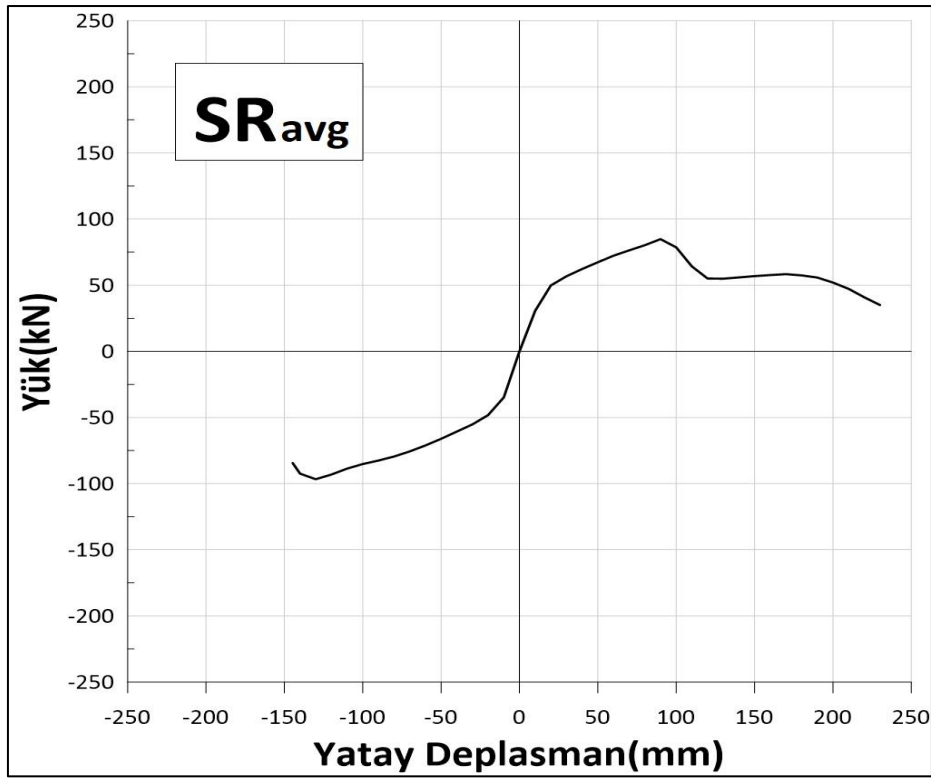
İkinci adımda ise deney değişkenlerin (tel çapı, tel göz aralığı) davranışını nasıl etkilediğini anlamak için güçlendirilmiş deney elemanlarının kendi aralarındaki davranış farklılıkları ortaya konmuştur.

Çizelge 6.1. Deney elemanların göçme modları

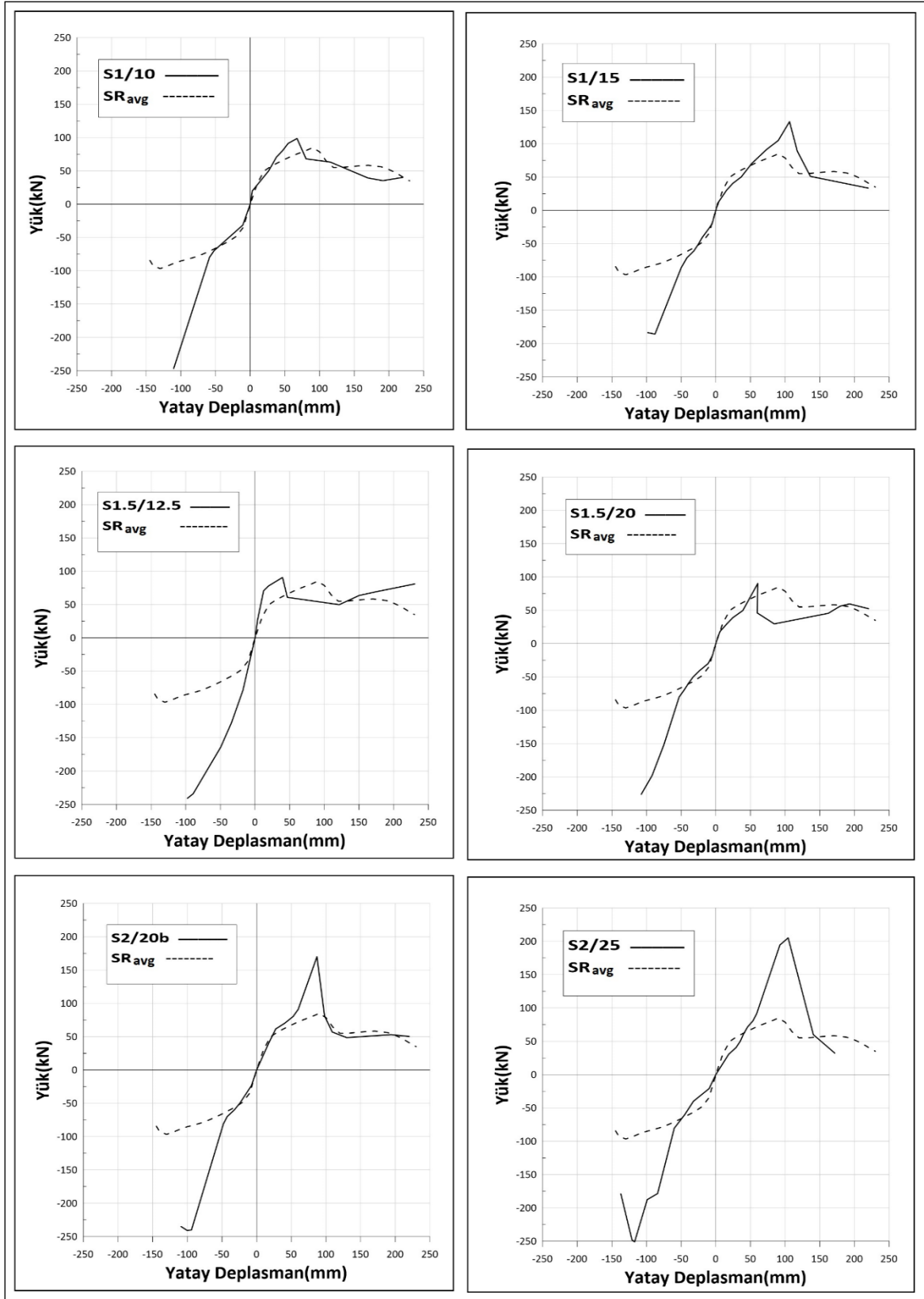
DENEY ELEMANI ADI	GÖÇME MODU
SR-1	Köşelerin ezilmesi
SR-2	Köşelerin ezilmesi
SR-3	Köşelerin ezilmesi
S1/10	Köşelerdeki ezilme Diyagonal çatlaklar (yükteki ani düşmenin sebebi) Derz kayması (yükteki ani düşmenin sebebi)
S1/15	Diyagonalde oluşan çatlaklar Derz kırılması/ayrılması (Kesme çatlağı ile eleman taşıma gücüne ulaştı)
S1.5/12.5	Yatay çatlağın oluşmasıyla beraber eleman dayanımında ani kayıp meydana geldi ve yükleme durduruldu
S1.5/20	Diyagonalde oluşan çatlaklar (yükte ani düşmenin sebebi) Köşelerde orta düzey ezilme
S2/20b	Duvar sol alt köşe sıklaştırma bölgesi dışında olan duvar orta bölgesindeki ezilme hasarı (yükte ani kayıp sebebi) Diyagonal çekme
S2/25	Geri yönde yükteki ani kayıp duvar sol alt köşe sıklaştırma bölgesi hemen dışındaki yerin ezilmesiyle gerçekleşti. İleri yönde ise yükte ani düşme boyuna çatlağın oluşmasıyla meydana geldi. Diyagonal çekme Ezilme (ezilmeye daha yakın)



Şekil 6.1. Referans deney elemanlarına ait yük-ötelenme zarf eğrileri



Şekil 6.2. Referans deney elemanlarının ortalama zarf eğrisi

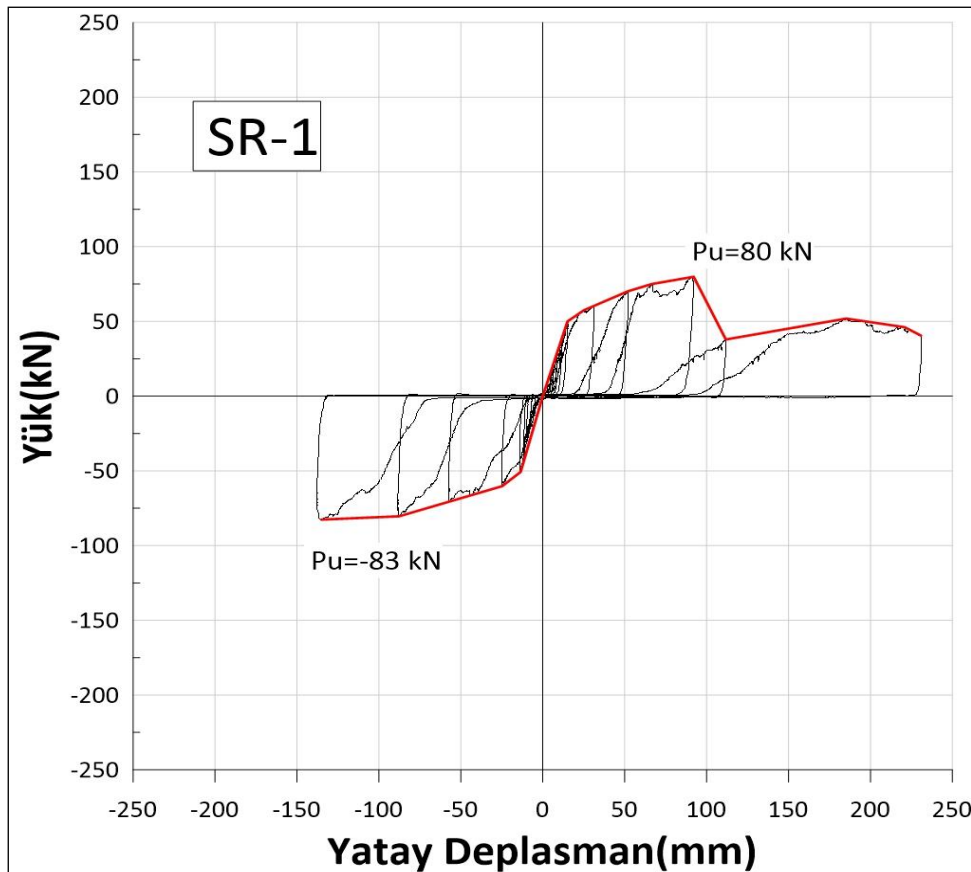


Şekil 6.3. Güçlendirilmiş deney elemanların referansların ortalama yük-yatay ötelenme eğrisi ile karşılaştırmalı yük-ötelenme zarf eğrisi

6.2. Temel Ölçütlere Göre Değerlendirmeler

6.2.1. Dayanım

Deney elemanlarının dayanımlarını belirleyebilmek için elemanların yük-yatay ötelenme grafiklerinden yararlanılmıştır. Şekil 6.4’de gösterildiği gibi her deney elemanı için yük-yatay ötelenme grafiklerine bakılarak ileri ve geri yöndeki en yüksek değerler alınmıştır. Her bir deney elemanı için bulunan maksimum dayanım değerleri (P_u) Çizelge 6.2’de verilmiştir. Çizelge 6.2’de verilen ortalama dayanım değerleri her elemanın ileri ve geri yöndeki en yüksek dayanım değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak bulunmuştur. Göreceli dayanım oranları ise, her deney elemanı için hesaplanan ileri ve geri yöndeki en yüksek dayanım değerlerinin aritmetik ortalamasıyla bulunan değer (P_{uort}) kullanılarak SR_{avg} değerine oranlanarak belirlenmiştir (Çizelge 6.2).



Şekil 6.4. SR-1 referans deney elemanında her iki yönde en yüksek dayanım değerlerinin belirlenmesi

Çizelge 6.2. Deney elemanlarının dayanım değerleri ve ortalama referans deney elemanlarına göre göreceli oranları

Deney Elemanı Adı	Tel Oranı (mm ² /mm)	Maksimum Dayanım (kN)		Ortalama Dayanım (kN) P _{uort}	Göreceli Dayanım SR _{avg} ' ye göre (kN/kN)
		İleri yön (+)	Geri yön (-)		
SR _{avg}	-----	+87,4	-97,3	92,3	1
S1/10	(0,0785)	+98,3	-246,3	172,3	1,86
S1/15	(0,0523)	+132,7	-185,6	159,2	1,72
S1.5/12.5	(0,1413)	+90,6	-240,8	165,7	1,79
S1.5/20	(0,0883)	+90,6	-226,2	158,4	1,71
S2/20b	(0,1570)	+169,6	-240,8	205,2	2,22
S2/25	(0,1256)	+204,5	-250,4	227,5	2,46

Çizelge 6.2'ye bakıldığında tel örgülerin eleman taşıma gücünde yaklaşık olarak ortalama 1,7 ile 2,5 kat arasında bir katkı sağladığı görülmüştür. Deney elemanları tel oranlarına göre sıralanırsa S2/20b > S1.5/12.5 > S2/25 > S1.5/20 > S1/10 > S1/15 olmaktadır. Diğer taraftan, her iki yöne göre dayanım sıralaması ise S2/25> S2/20b> S1/10>S1.5/12.5> S1/15> S1.5/20 olmuştur. Bir başka deyişle, tel oranındaki artış, her zaman dayanımda göreceli artış olarak yansımamıştır. Bunun sebebinin yalın duvar dayanımındaki yüksek standart sapma olduğu kanaatine varılmıştır. Üstelik ulaşılan bazı değerler birbirine çok yakındır. Diğer taraftan genel olarak bakıldığında, tel oranındaki artış dayanımın artmasına neden olmuştur. Tel oranı 0,12' den büyük elemanların (S2/20b, S1.5/12.5, S2/25) dayanımdaki artış ortalaması 2,1 kat iken, 0,12' den küçük elemanların (S1.5/20, S1/10, S1/15) dayanımdaki artış ortalaması 1.76 kat olmuştur.

En yüksek dayanım değerlerine 2 mm tel çapına sahip tel örgüyle güçlendirilmiş deney elemanlarında ulaşılmış olup %100 ün üzerinde bir artış gerçekleşmiştir.

Tel oranı düşük olan S1/15, S1.5/20 deney elemanları ile deney esnasında meydana gelen yatay çatlak neticesinde ani yük kaybeden S1.5/12.5 deney elemanında dayanım değerinde nispeten daha az artış görülmüştür (Çizelge 6.2).

Bilindiği üzere üç farklı tel örgü çapında (1, 1,5, 2 mm) tel örgü kullanılmıştır. Deney elemanları tel çapına göre gruplandırılıp taşıma gücü değerlerinin aritmetik ortalaması

alındığında SR_{avg} 'ye göre 1 mm tel çapına sahip elemanlarda %79, 1,5 mm tel çapına sahip elemanlarda %76, 2 mm tel çapına sahip elemanlarda ise %134 bir artış sağlandığı görülmüştür (Çizelge 6.2).

Aynı tel çapına sahip elemanlarda (1 ve 1,5 mm) tel göz aralığı düştükçe dayanım değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Ancak bu artışın çok yüksek değil oldukça sınırlı (%4 ile %8 arasında) olmuştur. Bununla beraber 2 mm tel çapına sahip elemanlarda ise bu durumun tam tersi gerçekleşmiştir. 2 mm sahip deney elemanlarında tel örgü göz aralığı arttıkça dayanım değerinin de %10 dolaylarında arttığı görülmüştür (Çizelge 6.2). Bu çelişkinin sebebinin, dolgu duvar deneysel çalışmalarına özgü yalın duvar dayanımındaki yüksek standart sapma olduğu düşünülmektedir.

6.2.2. Süneklik

Süneklik, dayanımda önemli bir kayıp meydana gelmeden yapılabilen plastik deformasyon olarak tanımlanabilir. Buradaki önemli kayıp oranının %15 civarında olduğu görüşü birçok bilimsel çevre tarafından kabul edilmiştir.

Süneklik oranı ise deney elemanlarında maksimum yükte %15 kaybın meydana geldiği noktadaki deplasman değerinin ($d_{0,85}$) deney elemanlarının akma deformasyon değerine (d_y) bölünmesiyle elde edilmektedir. Ancak deney elemanlarında belirgin bir akma noktası gözlenmediği için süneklik oranını doğru olarak tespit etmek oldukça güçtür. Bu nedenle deney elemanları arasında sağlıklı bir karşılaştırma yapabilmek için sünekliğin bir ölçütü olan en yüksek ötelenme oranlarından faydalanılmıştır.

6.2.3. Ötelenme oranı

Görelî kat ötelenmesi, düşey elemanın (kolon veya perde) bir üst ya da bir alt düşey elemana (perde veya kolon) göre yer değiştirmesinin elemanın yüksekliğine bölünmesiyle elde edilen değere denir. Deney elemanlarında ötelenme oranı hesaplanırken her yüke karşılık gelen yatay ötelenme değeri eleman yüksekliğine bölünmüş ve grafikler oluşturulmuştur (Şekil 6.8). Ötelenme oranı hesabında kullanılan yükseklik değeri, duvar alt noktasından elemanın yatay ötelenmesini belirlemek için ölçüm alınan noktaya kadar olan 1315 mm mesafedir.

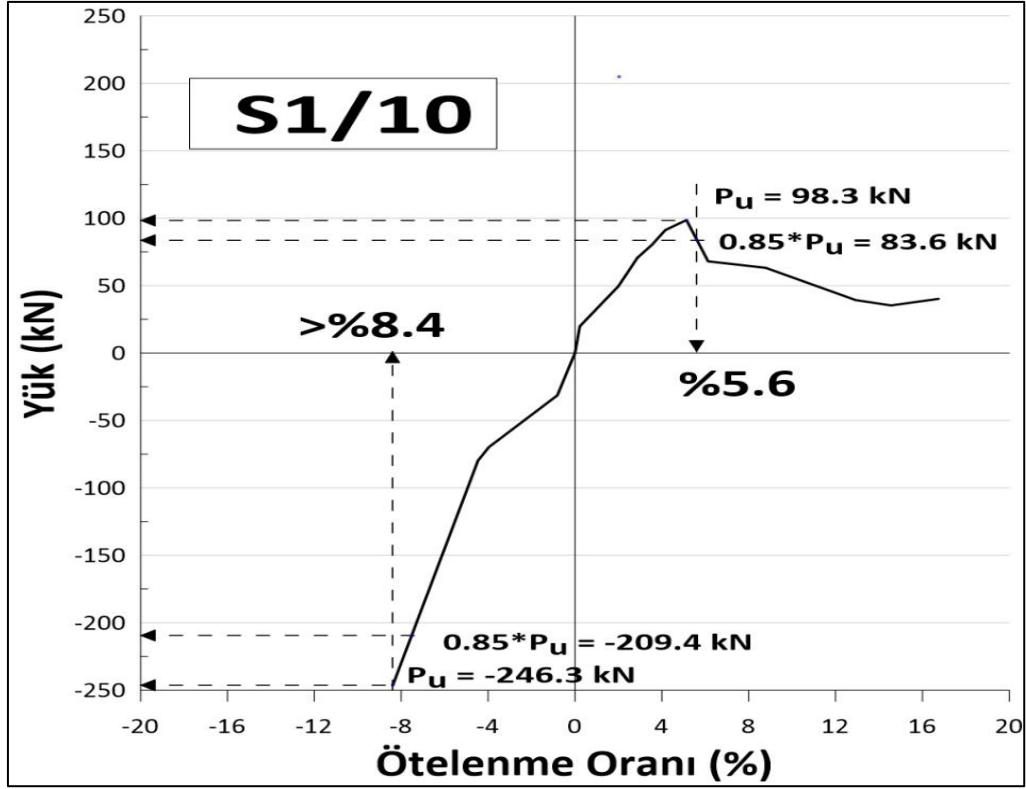
Her bir yük değerine karşılık gelen ötelenme oranı bulunduğundan sonra yük-yatay deplasman zarf eğrilerine benzer şekilde yük-ötelenme oranı zarf eğrileri çizilmiştir. Yük-ötelenme oranı eğrilerinden yararlanılarak her bir deney elemanı için en yüksek ötelenme oranı yüzde olarak hesaplanmıştır. En yüksek ötelenme oranı için deney elemanlarında maksimum yükte %15 kaybın meydana geldiği nokta alınmıştır. Deney elemanlarında en yüksek ötelenme oranının nasıl hesaplandığı örnek olarak S1/10 deney elemanı için Şekil 6.5’de gösterilmiştir.

Deneylerin ileri aşamalarında her bir çevrim sonunda elemanlarda ezilmeler meydana gelmiştir. Ezilmeler başlayınca dökülen parçalar nedeniyle deney elemanlarında kalıcı deformasyonlar meydana gelmiştir. Böylece deney çerçevesi ile eleman arasında boşluklar oluşmuştur. Deney çerçevesi yükleme esnasında ötelendiği halde bu boşluklar kapanana kadar deney elemanları yük almamıştır. Dolayısıyla daha doğru karşılaştırma ve yorumlar yapabilmek için elemanların yük almadığı bu ötelenmeler toplam ötelenmeden çıkarılarak normalizasyona gidilmiştir.

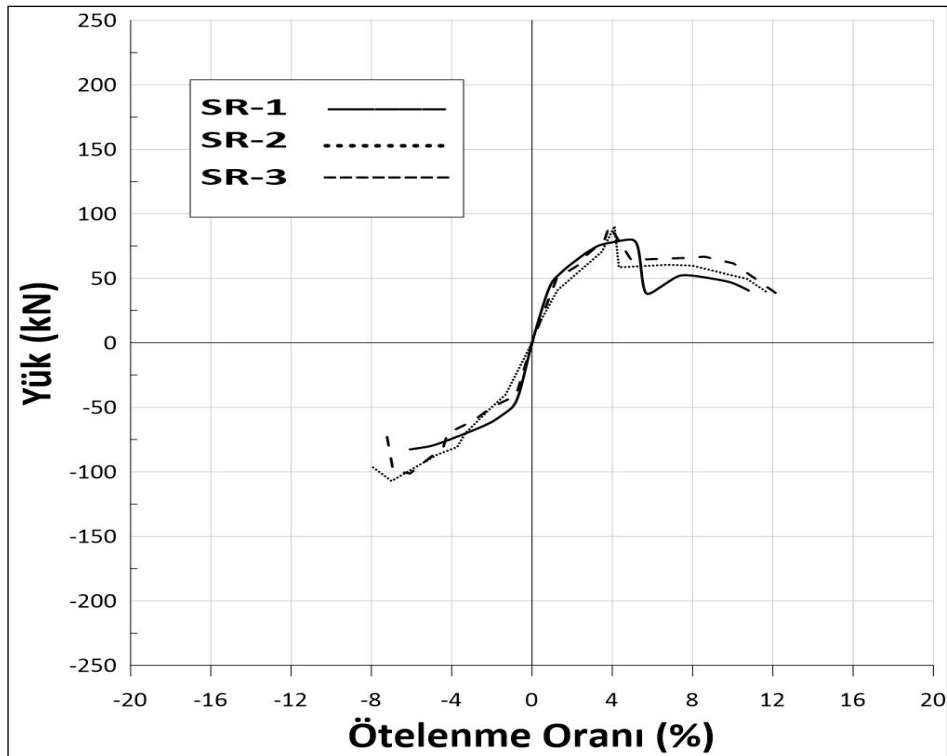
Normalizasyon yapılmış referans deney elemanlarına ait yük-ötelenme oranları zarf eğrisi Şekil 6.6’da, normalizasyon yapılmış referans deney elemanlarının ortalama zarf eğrisi de Şekil 6.7 ‘de verilmiştir.

Güçlendirilmiş deney elemanları ile referans deney elemanları arasında kolay bir şekilde karşılaştırma yapabilmek için normalizasyon yapılmış güçlendirilmiş deney elemanları ile normalizasyon yapılmış ortalama referans deney elemanı yük-ötelenme oranı zarf eğrileri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur (Şekil 6.8). Aynı zamanda normalizasyon yapılmış güçlendirilmiş deney elemanlarına ait karşılaştırmalı yük-ötelenme oranları zarf eğrisi de Şekil 6.9’da verilmiştir.

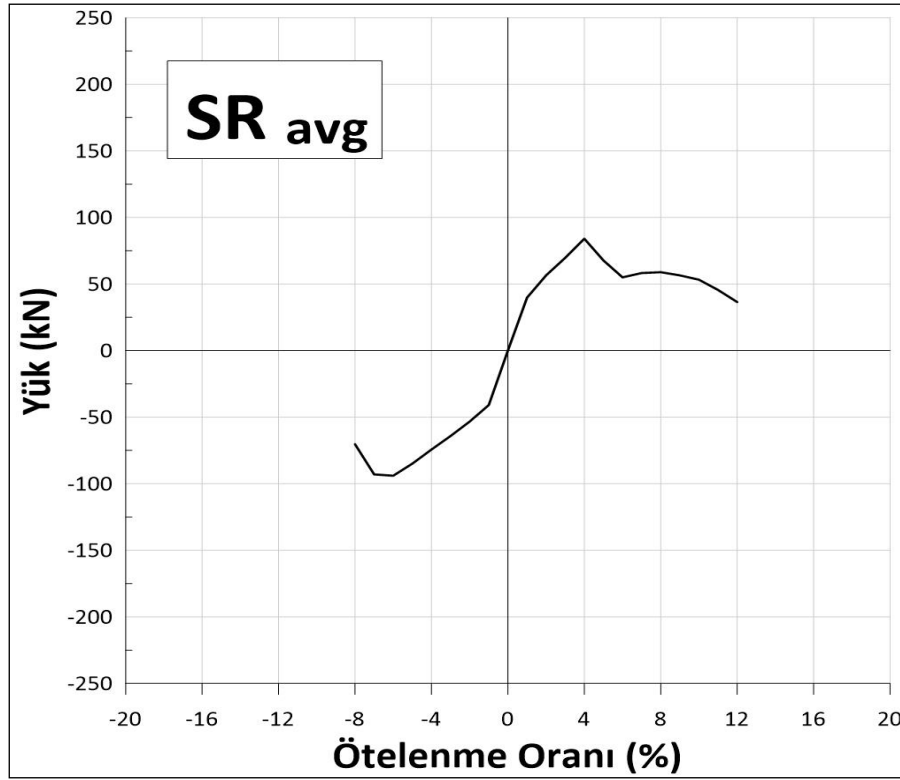
Tüm deney elemanları için hem ileri hem de geri yönde bu şekilde hesaplanan en yüksek ötelenme oranları ve bu en yüksek ötelenme oranlarının ortalama referans deney elemanı ötelenme oranı değerine göreceli oranları toplu bir şekilde Çizelge 6.3’de verilmiştir. Çizelge 6.3’de verilen en yüksek ortalama ötelenme oranları değerleri her elemanın ileri ve geri yöndeki ötelenme değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak bulunmuştur.



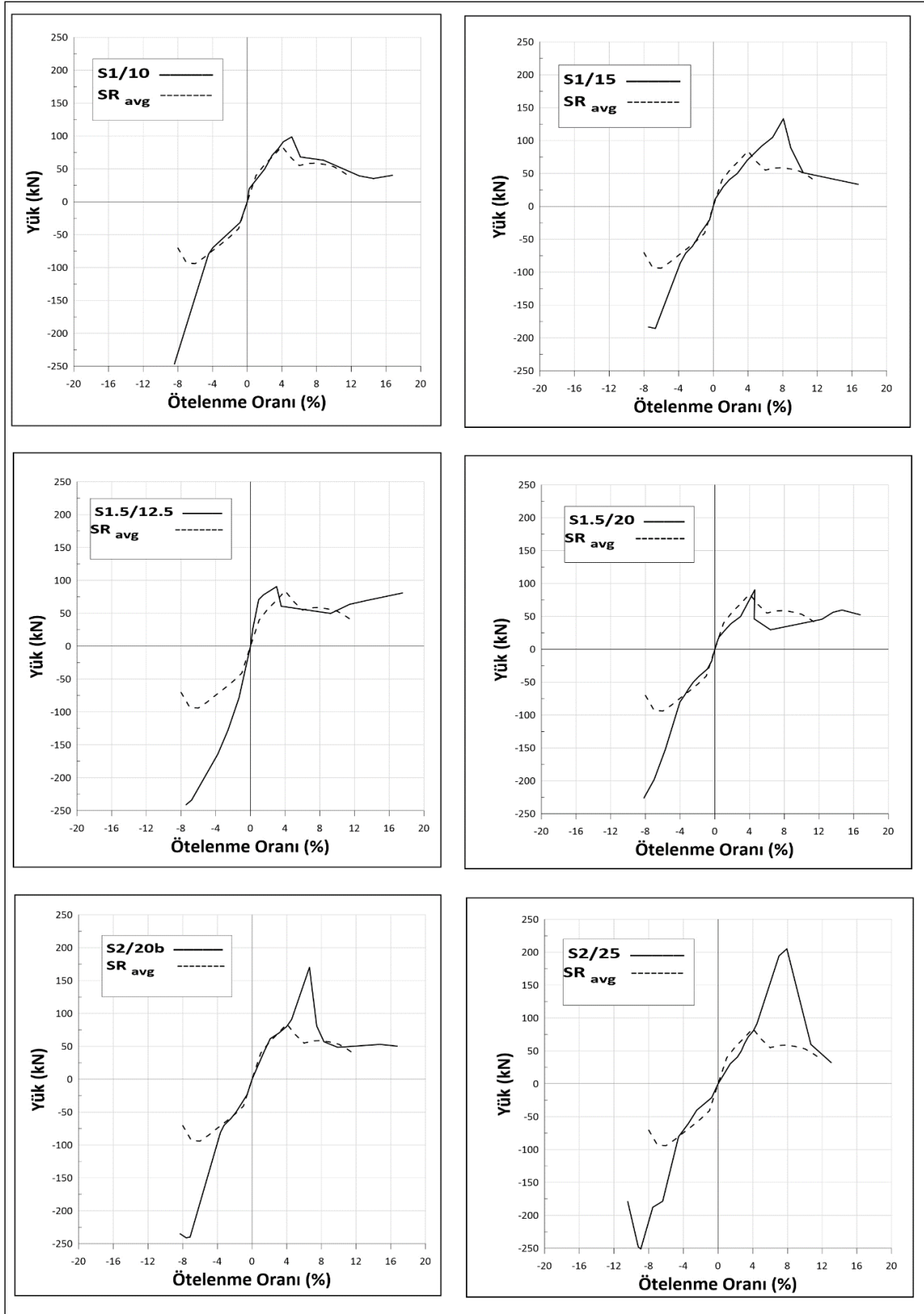
Şekil 6.5. S1/10 deney elemanının en yüksek ötelenme oranının belirlenmesi



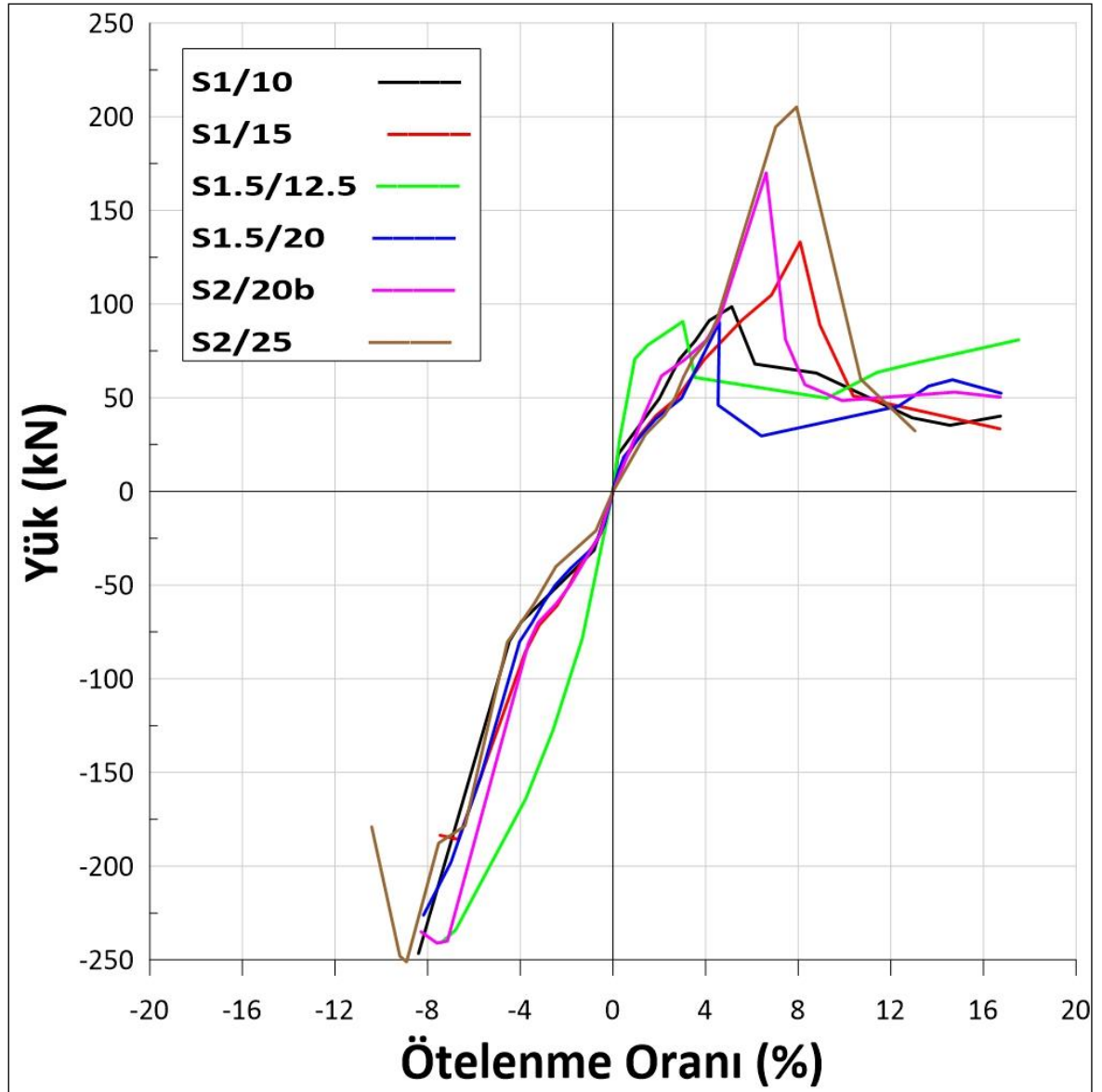
Şekil 6.6. Normalizasyon yapıldıktan sonra referans deney elemanlarına ait karşılaştırmalı yük-ötelenme oranı zarf eğrileri



Şekil 6.7. Normalizasyon yapıldıktan sonra referans deney elemanlarının ortalama zarf eğrisi



Şekil 6.8. Normalizasyon yapılmış güçlendirilmiş deney elemanlarının normalizasyon yapılmış SR_{avg} ortalama referans elemanı ile karşılaştırmalı yük-ötelenme oranı zarf eğrileri



Şekil 6.9. Normalizasyon yapılmış güçlendirilmiş deney elemanlarına ait karşılaştırmalı yük – ötelenme oranları zarf eğrisi

Çizelge 6.3. Normalizasyon yapılmış deney elemanlarına ait en yüksek ötelenme oranı değerleri

Deney Elemanı Adı	Tel Oranı (mm ² /mm)	Süneklik Deformasyonu (d _{0,85}) (mm)		En yüksek ötelenme oranı (%)		Ortalama en yüksek ötelenme oranı (%)	Ortalama göreceli ötelenme (SR _{avg} 'ye göre)
		İleri yön (+)	Geri yön (-)	İleri yön (+)	Geri yön (-)		
SR _{avg}	----	60,7	93,6	4,6	7,1	5,9	1
S1/10	0,0785	74	>110	5,6	>8,4	>7	>1,2
S1/15	0,0523	112	>98	8,5	>7,5	>8	>1,4
S1.5/12.5	0,1413	43	>98	3,3	>7,5	>5,4	>0,9
S1.5/20	0,0883	61	>108	4,6	>8,2	>6,4	>1,1
S2/20b	0,1570	90	>109	6,8	>8,3	>7,6	>1,3
S2/25	0,1256	112	129	8,5	9,8	9,2	1,6

Çizelge 6.3'e bakıldığı zaman bazı değerlerin önünde büyüktür işareti (>) olduğu görülmektedir. Bu işaret, deney sonuna gelindiğinde deney elemanında maksimum yükte %15 kaybın henüz yaşanmadığı anlamına gelmektedir. Büyüktür işaretinin (>) kullanılmasının sebebi bu deneylerde ölçüm cihazının kapasitesi dolduğu için deneyler sonlandırılmıştır. Bu deneylerde, elemanda %15 kayıp meydana gelmemesine rağmen teste devam edilememiştir.

Genel olarak bütün deney elemanlarına bakıldığında ötelenme oranları değerlerinde sınırlı bir artış gözlemlenmiştir (1,1~1,6 kat). Bunun da sebebi, bütün elemanlarda ortak olarak deney esnasında meydana gelen yatay çatlaklar neticesinde maksimum yükte ani ve ciddi bir kaybın meydana gelmesidir. Öte yandan, S1.5/12.5 deney elemanında tel oranı S2/25 den büyük olduğu halde, S2/25' in ötelenme oranı S1.5/12.5' den 1,8 kat daha fazla olmuştur. Bunun sebebinin tel çapıyla doğrudan ilintili olduğu anlaşılmıştır. Karşılıklı yerleştirilen bulonların arasında kalan tel örgü artan iç basınç nedeniyle bulon çevresindeki somun ve puldan sıyrılarak çıkmaya zorlanmaktadır. Bu noktada sargılama büyük ölçüde yitirildiği için ilerleyen aşamalarda süneklik sınırlı kalmaktadır. Dolayısı ile tel çapının artması telin kopma yükünü arttırdığı için ulaşılabilen en yüksek ötelenme oranı S2/25' de daha fazla olmuştur. Sonuç olarak tel çapının da süneklik konusunda önemli bir değişken olabileceği anlaşılmıştır (Çizelge 6.3).

İlginç bir şekilde ön görülenden farklı olarak tel örgü göz aralığı mesafesi arttıkça ötelenme oranı değerinin de ortalama olarak %20 arttığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin şu aşamada deneysel çalışmalara özgü rassal nedenlere dayandığı düşünülmektedir. Ancak ileride yapılabilecek ilave çalışmalarla bu bilgi doğrulanmalıdır.

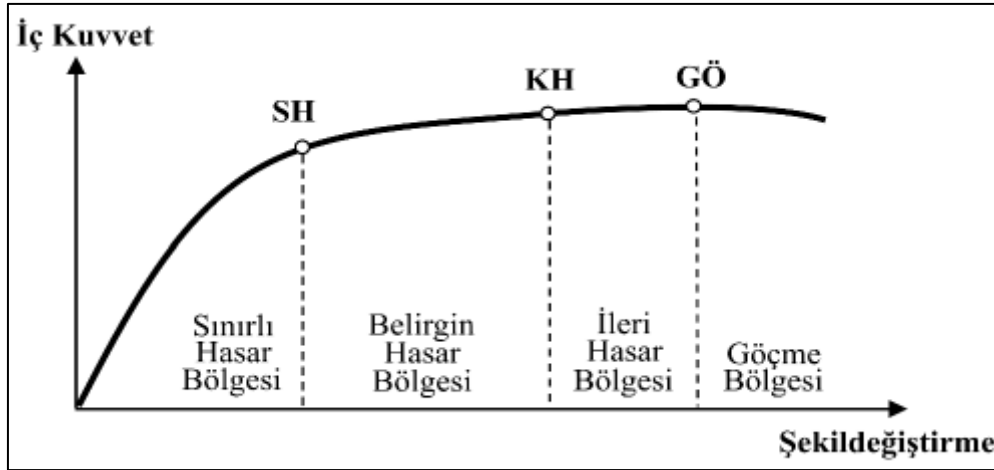
6.2.4. Rijitlik

Bu çalışmada deney elemanlarının rijitlik değerleri hesaplanırken, elemanların yük almadığı ötelenmelerin toplam ötelenmeden çıkarılarak normalizasyona gidildiği yük-yatay deplasman zarf eğrilerinden yararlanılmıştır. Üç farklı ötelenme rijitliği değeri için hesap yapılmış ve bütün deney elemanlarında aynı şekilde hesaplanmıştır. Bunlar, orijinden başlayıp deney elemanı %0,3 ötelenme oranına ulaşırken yük değerine çizilen doğrunun eğimi olan rijitlik değeri ($K_{0.003}$), %0,5 ötelenme oranına ulaşırken yük değerine çizilen doğrunun eğimi olan rijitlik değeri ($K_{0.005}$) ve %1 ötelenme oranına ulaşırken yük değerine çizilen doğrunun eğimi olan rijitlik ($K_{0.010}$) değeridir.

Deneysel çalışmada rijitlik hesabında yukarıda seçtiğimiz üç ötelenme rijitliği değerleri Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) (2018)'e göre sünek elemanların belli hasar bölgesi ve hasar durumu için sınır değerler olduğu için bu üç nokta için hesap yapılmıştır.

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 (TBDY, 2018).

Buna göre “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 alır” (TBDY, 2018) (Şekil 6.10).



Şekil 6.10. Kesit hasar bölgeleri (TBDY, 2018)

Deprem yönetmeliğine göre “Betonarme binalardaki güçlendirilmiş bölme duvarlarının deprem performanslarının belirlenmesinde Çizelge 6.4’de verilen kayma açısı sınırları göz önüne alınacaktır. Kayma açısı, ilgili katta hesaplanan en büyük göreceli kat ötelemesinin kat yüksekliğine bölünmesi ile elde edilecektir” (TBDY, 2018).

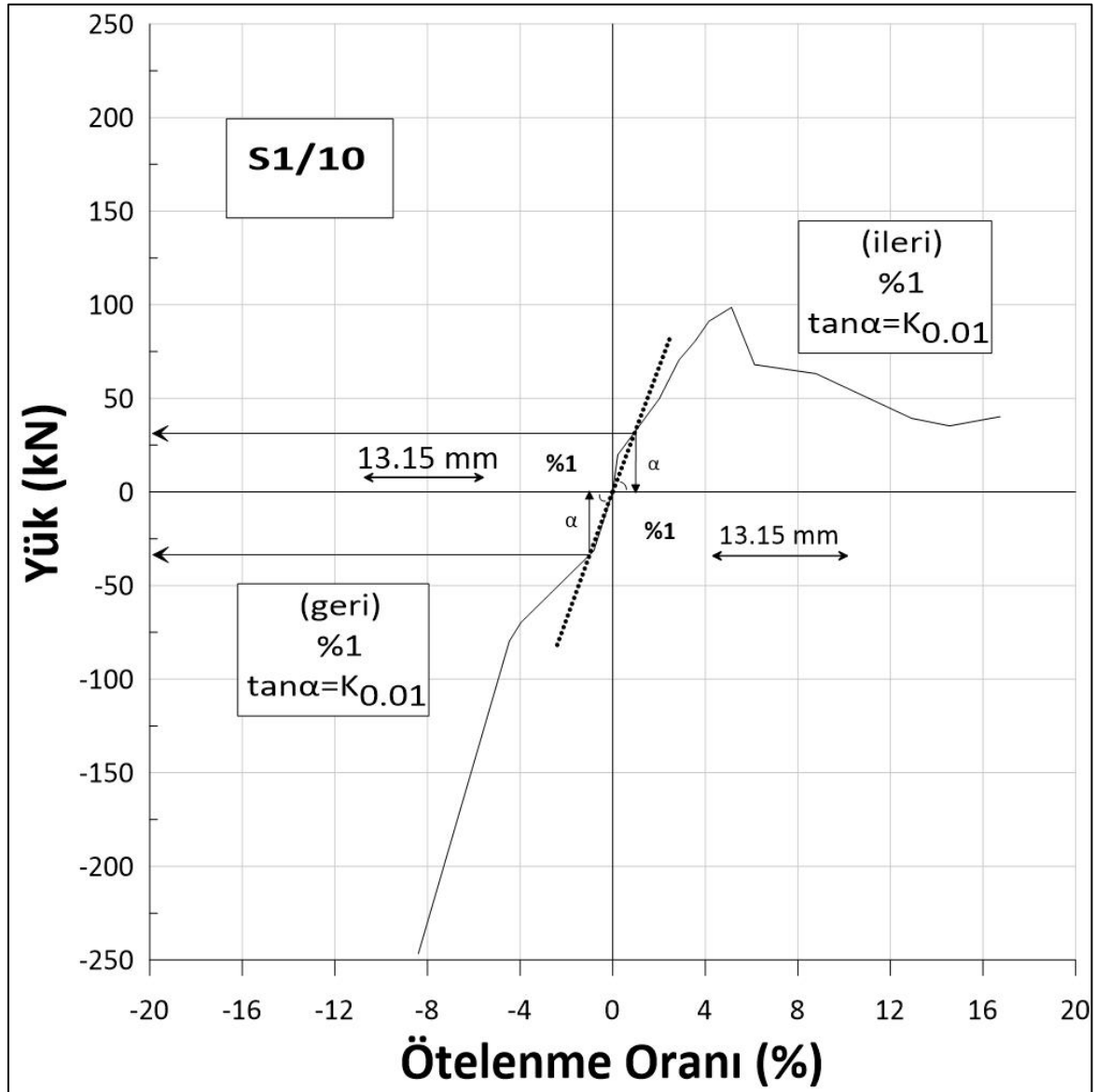
Çizelge 6.4. Güçlendirilen bölme dolgu duvarlar için performans sınırlarını tanımlayan kayma açıları (TBDY, 2018)

Performans Sınırı		
SH	KH	GÖ
0.003	0.005	0.010

Çizelge 6.4’e göre %0,3 ötelenme oranı 2018 deprem şartnamesine göre güçlendirilen bölme duvarlar için sınırlı hasarı (SH), %0,5 ötelenme oranı kontrollü hasarı (KH), %1 ötelenme oranı da göçme öncesi hasarı (GÖ) tanımlamakta olduğu için bu noktadaki rijitlik değerlerinin hesaplanması uygun görülmüştür [21].

$K_{0.010}$ rijitlik değerinin nasıl hesaplandığı Şekil 6.11’de gösterilmiştir. $K_{0.003}$ ve $K_{0.005}$ rijitlik değerleri de aynı şekilde hesaplanmıştır. Deney elemanları %0,3 ötelenme oranına 3,95 mm deplasman değerinde, %0,5 ötelenme oranına 6,58 mm deplasman değerinde, %1 ötelenme oranına ise 13,15 mm deplasman değerinde ulaşmaktadır. Bu nedenle; deney elemanları için $K_{0.003}$ rijitlik değeri hesaplanırken; deney elemanları %0,3 ötelenme oranına ulaştığı andaki yük değerlerinin 3,95 mm yatay deplasman değerine bölünerek, $K_{0.005}$ rijitlik değeri hesaplanırken; deney elemanları %0,5 ötelenme oranına ulaştığı andaki yük değerlerinin

6,58 mm yatay deplasman değerine bölünerek, $K_{0.010}$ rijitlik değeri hesaplanırken de deney elemanları %1 ötelenme oranına ulaştığı andaki yük değerlerinin 13,15 mm yatay deplasman değerine bölünerek elde edilmiştir.



Şekil 6.11. S1/10 deney elemanında ($K_{0.010}$) değerinin belirlenmesi

Şekilde gösterildiği gibi rijitlik analizi ileri ve geri yönde olmak üzere ayrı ayrı hesaplanmış ve hesaplanan bütün değerler Çizelge 6.5'te topluca verilmiştir. Çizelge 6.5'te yer alan ortalama rijitlik değerleri her elemanın ileri ve geri yöndeki rijitlik değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak bulunmuştur.

Ayrıca bütün deney elemanları için bu şekilde hesaplanan ortalama rijitlik değerleri ($K_{0.003}$ $K_{0.005}$ $K_{0.010}$) ve ortalama rijitlik değerlerinin her referans deney elemanına göre göreceli oranları toplu bir şekilde Çizelge 6.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 6.5. Deney elemanlarının rijitlik değerleri

Deney Elemanı Adı	Tel Oranı (mm ² /mm)	%0,3 ötelenmede rijitlik ($K_{0.003}$) (kN/mm)		%0,5 ötelenmede rijitlik ($K_{0.005}$) (kN/mm)		%1 ötelenmede rijitlik ($K_{0.01}$) (kN/mm)		Ortalama ($K_{0.003}$) (kN/mm)	Ortalama ($K_{0.005}$) (kN/mm)	Ortalama ($K_{0.01}$) (kN/mm)
		İleri yön (+)	Geri yön (-)	İleri yön (+)	Geri yön (-)	İleri yön (+)	Geri yön (-)			
SR _{avg}	----	3,0	3,5	3,1	3,5	2,9	3,1	3,2	3,3	3,0
S1/10	0,0785	5,3	3	3,7	3	2,5	2,6	4,15	3,35	2,55
S1/15	0,0523	3,1	3,8	2,5	3,4	2	2,4	3,45	2,95	2,2
S1.5/12.5	0,1413	7,1	4,6	6,3	4,4	5,5	4,5	5,85	5,35	5
S1.5/20	0,0883	3,2	3,7	2,8	3,2	2	2,4	3,45	3	2,2
S2/20b	0,1570	2,3	3,2	2,3	3,1	2,3	2,4	2,75	2,7	2,35
S2/25	0,1256	1,7	2,2	1,7	2,1	1,6	1,8	1,95	1,9	1,7

Çizelge 6.6. Deney elemanlarının SR_{avg} ortalama referans deney elemanına göre rijitlik değerleri oranları

Deney Elemanı Adı	Tel Oranı (mm ² /mm)	SR _{avg} ’ye göre ortalama ($K_{0.003}$)	SR _{avg} ’ye göre ortalama ($K_{0.005}$)	SR _{avg} ’ye göre ortalama ($K_{0.01}$)
SR _{avg}	----	1	1	1
S1/10	0,0785	1,3	1	0,8
S1/15	0,0523	1,1	0,9	0,7
S1.5/12.5	0,1413	1,8	1,6	1,7
S1.5/20	0,0883	1,1	0,9	0,7
S2/20b	0,1570	0,9	0,9	0,8
S2/25	0,1256	0,6	0,6	0,6

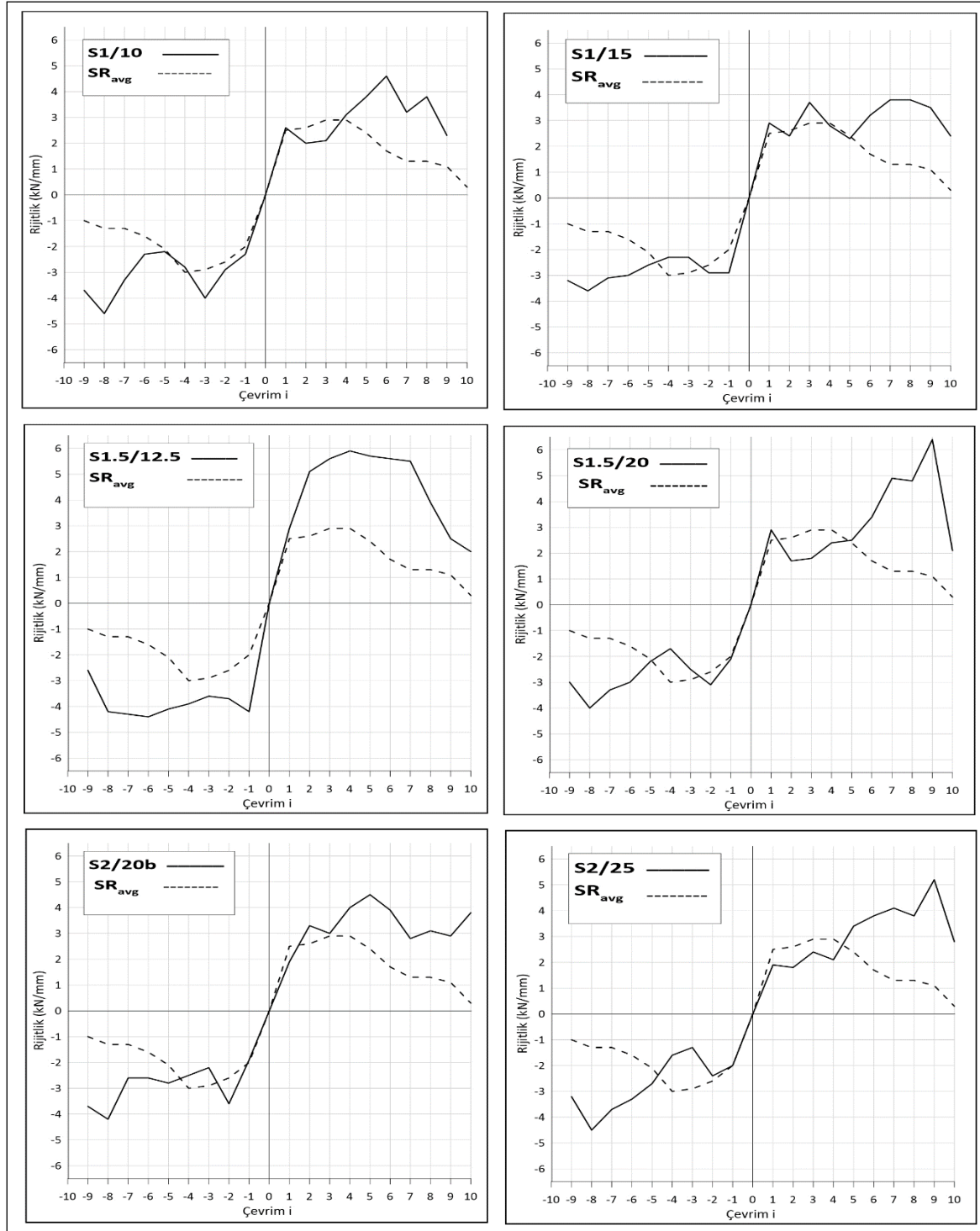
Hatırlanacağı üzere 2018 Deprem Yönetmeliğinde sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç hasar durumu ve hasar sınırı olarak tanımlanmıştır. Bunlar; Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) durumları ve bunların sınır değerleri idi. 2018 deprem yönetmeliği referans alınarak üç farklı ötelenme rijitliği değeri için hesap yapılmıştır. Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.6’ya bakıldığı zaman, $K_{0.003}$ ve $K_{0.005}$ için, S1.5/12.5 haricinde, güçlendirilmiş elemanlar ile ortalama referans elemanı arasında çok fazla bir

farkın oluşmadığı gözlemlenmiştir. Bir başka deyişle yalın eleman rijitlik değeri büyük ölçüde korunmuştur. Ancak $K_{0.01}$ için referans elemana göre güçlendirilmiş elemanların rijitliği önemli ölçüde düşmüştür.

Bütün bunlara ek olarak, deney elemanlarında her bir çevrim için ayrı bir rijitlik değeri de hesaplanmıştır. Bunun için yük-yatay deplasman grafiğinde ileri ve geri yöndeki her çevrimde ulaşılan maksimum yük o noktadaki yatay deplasman değerinden elemanların yük almadığı ötelenmeler çıkarılarak bulunan net deplasman değerine bölünmüştür. Bulunan rijitlik değerleri Çizelge 6.7’de sunulmuştur. Bununla beraber her bir güçlendirilmiş deney elemanı rijitlik-çevrim eğrisi ile ortalama referans elemanı rijitlik-çevrim eğrileri karşılaştırmalı olarak Şekil 6.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.7. Deney elemanlarına ait ileri ve geri yönde her bir çevrime ait maksimum yüke tekabül eden noktadaki rijitlik değerleri (kN/mm)

Eleman Adı	SR _{avg}		S1/10		S1/15		S1.5/12.5		S1.5/20		S2/20b		S2/25	
	İleri Yön (+)	Geri Yön (-)	İleri Yön (+)	Geri Yön (-)	İleri Yön (+)	Geri Yön (-)	İleri Yön (+)	Geri Yön (-)	İleri Yön (+)	Geri Yön (-)	İleri Yön (+)	Geri Yön (-)	İleri Yön (+)	Geri Yön (-)
Çevrim														
1.	2,5	2	2,6	2,3	2,9	2,9	2,9	4,2	2,9	2,1	1,9	1,9	1,9	2
2.	2,6	2,6	2	2,9	2,4	2,9	5,1	3,7	1,7	3,1	3,3	3,6	1,8	2,4
3.	2,9	2,9	2,1	4	3,7	2,3	5,6	3,6	1,8	2,5	3	2,2	2,4	1,3
4.	2,9	3	3,1	2,8	2,8	2,3	5,9	3,9	2,4	1,7	4	2,5	2,1	1,6
5.	2,4	2,1	3,8	2,2	2,3	2,6	5,7	4,1	2,5	2,2	4,5	2,8	3,4	2,7
6.	1,7	1,6	4,6	2,3	3,2	3	5,6	4,4	3,4	3	3,9	2,6	3,8	3,3
7.	1,3	1,3	3,2	3,3	3,8	3,1	5,5	4,3	4,9	3,3	2,8	2,6	4,1	3,7
8.	1,3	1,3	3,8	4,6	3,8	3,6	3,9	4,2	4,8	4	3,1	4,2	3,8	4,5
9.	1,1	1	2,3	3,7	3,5	3,2	2,5	2,6	6,4	3	2,9	3,7	5,2	3,2
10.	0,3	-	-	-	2,4	-	2	-	2,1	-	3,8	-	2,8	-



Şekil 6.12. Güçlendirilmiş deney elemanlarının ortalama referans deney elemanı ile karşılaştırmalı rijitlik-çevrim eğrileri

Çizelge 6.7 ve Şekil 6.12 deki verilere bakıldığında zaman ilk iki çevrimde genel olarak ortalama referans deney elemanı ile güçlendirilmiş elemanlar yakın rijitlik değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Ancak 2. çevrimden sonra güçlendirilmiş elemanlar, ortalama referans elemana göre oldukça rijit davrandığı gözlemlenmiştir.

Deney elemanları tel oranlarına göre sıralanırsa $S2/20b > S1.5/12.5 > S2/25 > S1.5/20 > S1/10 > S1/15$ olmaktadır. Çizelge 6.7'ye bakıldığı zaman tel oranı yüksek olan elemanların genel olarak rijitlik değerlerinin de yüksek olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek rijitlik değerlerine tel oranı yüksek olan $S1.5/12.5$, $S2/20b$ ve $S2/25$ deney elemanları ulaşmıştır. En düşük rijitlik değerlerine ise tel oranı düşük olan $S1/10$, $S1/15$ ve $S1.5/20$ deney elemanları ulaşmıştır.

1 mm tel çapına sahip tel örgüyle güçlendirilen elemanlar en düşük rijitlik değerlerine sahip olmuştur. Bu tel örgüde ilk iki çevrimde SR_{avg} ile yakın rijitlik değerlerine sahip olmuştur. 3. çevrimden sonra bu deney elemanlarında ortalama referans elemana göre sınırlı bir artış (1,5-2 kat) olduğu görülmüştür.

Benzer şekilde Çizelge 6.7'ye bakıldığı zaman 1,5 mm tel çapına sahip deney elemanların en yüksek rijitlik değerlerine sahip olduğu görülmüştür. 1,5 mm tel çapına sahip tel örgüyle güçlendirilen elemanların SR_{avg} ye göre 3-4 kat dolaylarında daha rijit davrandığı gözlemlenmiştir.

2 mm tel çapına sahip tel örgüyle güçlendirilen elemanlar, 1,5 mm tel çapındaki güçlendirilmiş elemanlar kadar olmasa da ortalama referans elemana göre 2-2,5 kat daha rijit davranmıştır.

Çizelge 6.7'ye bakıldığı zaman genel olarak aynı tel çapına sahip elemanlarda tel örgü göz aralığı arttıkça rijitlik değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

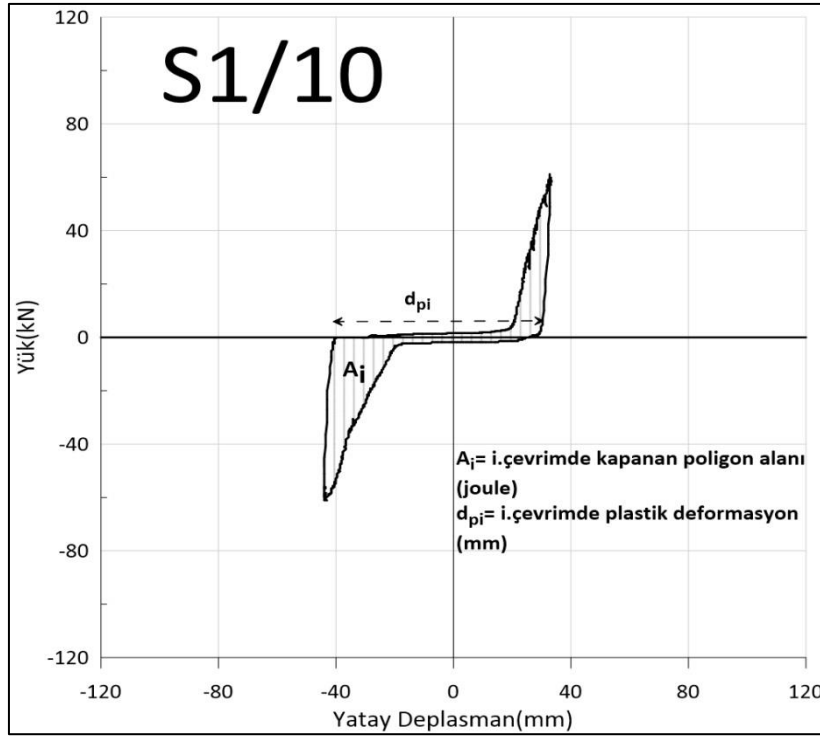
6.2.5. Enerji dönüştürme

Sünek olarak tasarlanan betonarme yapılar ve taşıyıcı elemanlar elasto-plastik davranış sergiler. Yani sisteme büyük bir deprem enerjisi gelince yapı, plastik davranış evresine geçiş yapar ve depremden yapıya iletilen enerjinin çoğu deformasyon enerjisine çevrilmektedir. Bu yüzden deprem yükleri etkisinde kalan yapıların ayakta kalabilmesi için taşıyıcı elemanların enerji dönüştürme kapasiteleri oldukça önem arz etmektedir [22].

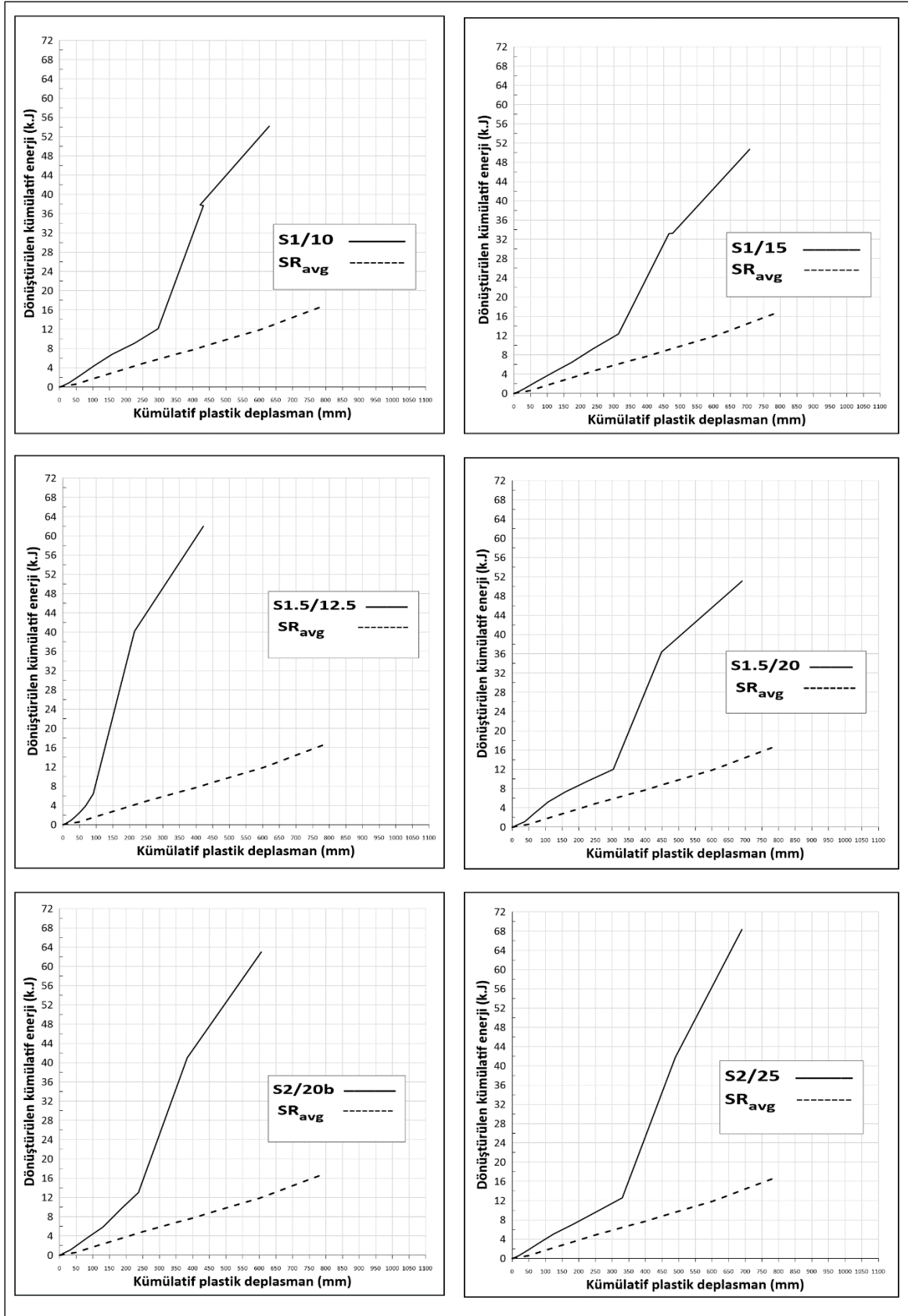
Bilindiği üzere enerji, sistemin iş yapabilme yeteneğidir. İş ise yer değişim yönündeki kuvvet bileşeninin yer değiştirmeye çarpımından elde edilen sonuç olarak tanımlanabilir. Yönden bağımsız yani skaler büyüklükler olan iş ve enerji Joule ile ölçülür.

Yapılan açıklamalar çerçevesinde deney elemanlarına ait elemanların yük almadığı ötelenmelerin toplam ötelenmeden çıkarılarak normalizasyona gidildiği yük-yatay deplasman zarf eğrileri kullanılarak, her deney elemanı için enerji dönüştürme kapasitesi hesaplanmaya çalışılmıştır. Yük-yatay deplasman eğrisinde yer alan her çevrim için ileri ve geri yöndeki eğrilerin kapladığı toplam alanların kümülatif toplamı şeklinde enerji dönüştürme kapasitesi hesaplanmıştır. Enerji dönüştürme kapasitesinin nasıl hesaplandığı sadece bir çevrim için Şekil 6.13’de gösterilmiştir. Hesaplanan bu değer, dönüştürülen enerji- plastik deplasman grafiğinde sadece bir noktaya karşılık gelmektedir. Deney esnasında oluşan her çevrim için benzer işlem uygulanarak bulunan noktaların birikmiş toplanmasıyla, dönüştürülen birikmiş enerji (kJ) - kümülatif plastik deplasman (mm) grafiği elde edilmiştir.

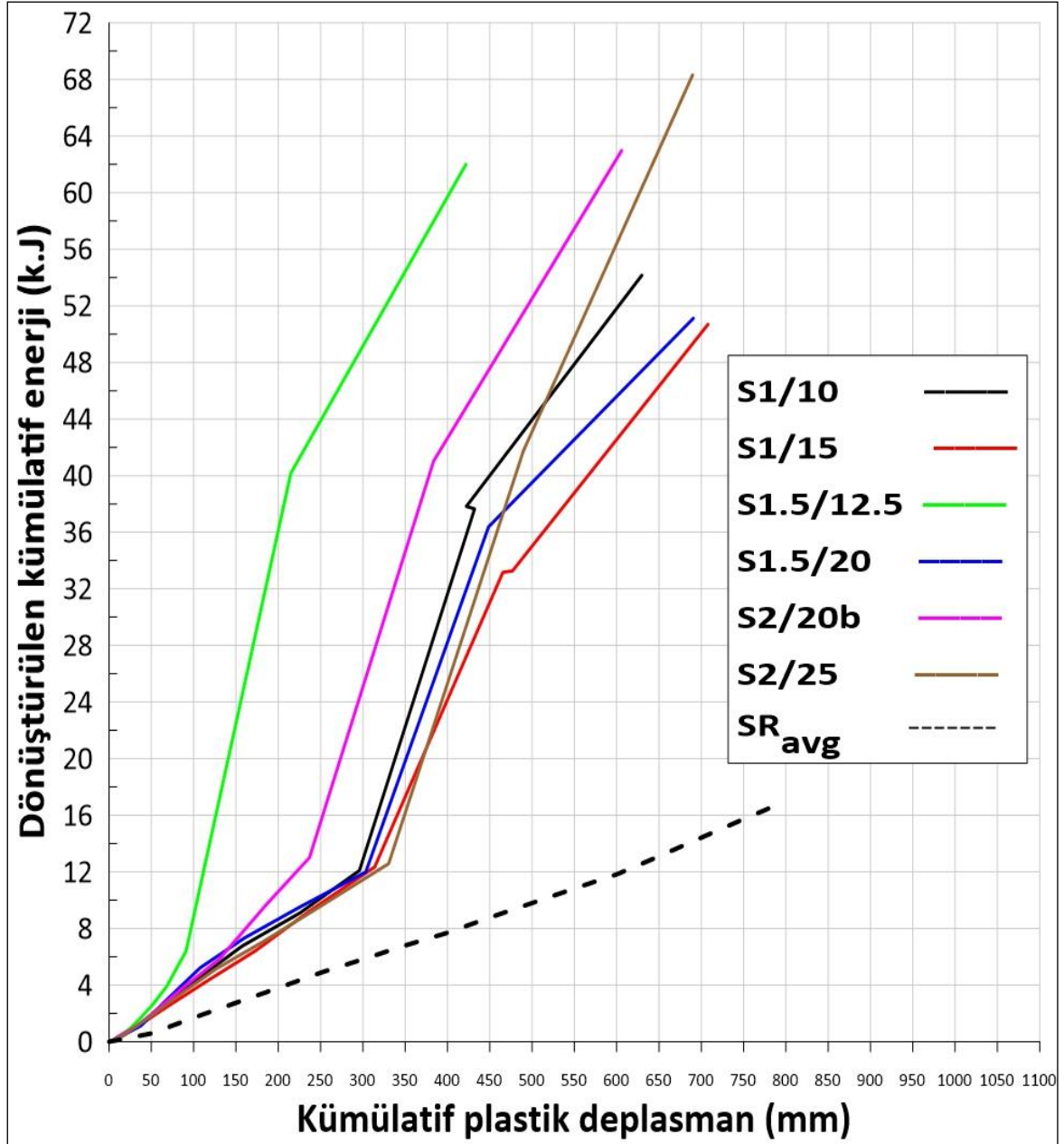
Elde edilen eğriler yardımıyla her bir güçlendirilmiş deney elemanı ile ortalama referans deney elemanı SR_{avg} ile karşılaştırmalı olarak Şekil 6.14’de gösterilmiştir. Son olarak bütün deney elemanlarına ait karşılaştırmalı dönüştürülen kümülatif enerji-kümülatif plastik deplasman eğrileri Şekil 6.15’de verilmiştir.



Şekil 6.13. S1/10 deney elemanına ait bir çevrim için enerji dönüştürme analizi yöntemi



Şekil 6.14. Güçlendirilmiş deney elemanlarının ortalama referans deney elemanı ile karşılaştırmalı dönüştürülen kümülatif enerji-kümülatif plastik deplasman eğrileri



Şekil 6.15. Bütün deney elemanlarına ait karşılaştırmalı dönüştürülen kümülatif enerji-kümülatif plastik deplasman eğrileri

Tüm deney elemanları için bu şekilde hesaplanan enerji dönüştürme kapasite değerleri ve tüm deney elemanların ortalama referans deney elemanına göre göreceli oranları toplu bir şekilde Çizelge 6.8’de sunulmuştur.

Çizelge 6.8. Deney elemanlarına ait dönüştürülen toplam enerji miktarları ve birikmiş plastik deformasyon değerleri

Deney Elemanı Adı	Tel Oranı (mm ² /mm)	Dönüştürülen Toplam Enerji (Joule)	Plastik Yatay Deformasyonlar Toplamı (mm)	Göreceli Enerji Dönüştürme (SR _{avg} 'ye göre)
SR _{avg}	----	16440	790	1
S1/10	0,0785	54013	700	3,3
S1/15	0,0523	50688	760	3,1
S1.5/12.5	0,1413	61988	433	3,8
S1.5/20	0,0883	51118	726	3,1
S2/20b	0,1570	62972	649	3,8
S2/25	0,1256	68308	723	4,1

Çizelge 6.8'e bakıldığı zaman genel olarak tel örgü ile güçlendirilmiş elemanlarda SR_{avg} ye göre enerji dönüştürme kapasite değerlerinde 3-4 kat dolaylarında bir katkı sağladığı görülmüştür.

Deney elemanları tel oranları değerlerine bakılarak yorumlamak gerekirse tel oranı arttıkça enerji dönüştürme kapasite değerlerinin de genel olarak arttığı gözlemlenmiştir. Tel oranı 0,12'den büyük elemanlarda (S2/20b, S1.5/12.5, S2/25) enerji dönüştürme artış ortalaması 3,9 iken, tel oranı 0,12'den küçük elemanlarda (S1/10, S1/15, S1.5/20) ise bu artışın ortalama olarak 3,1 olduğu görülmüştür.

En yüksek enerji dönüştürme kapasitesine ortalama 4 kat gibi bir artışla 2 mm tel çapına sahip deney elemanlarının olduğu görülmüştür. En az artış ise ortalama 3,2 kat artışla 1 mm tel çapına sahip tel örgü ile güçlendirilmiş elemanlarda olmuştur.

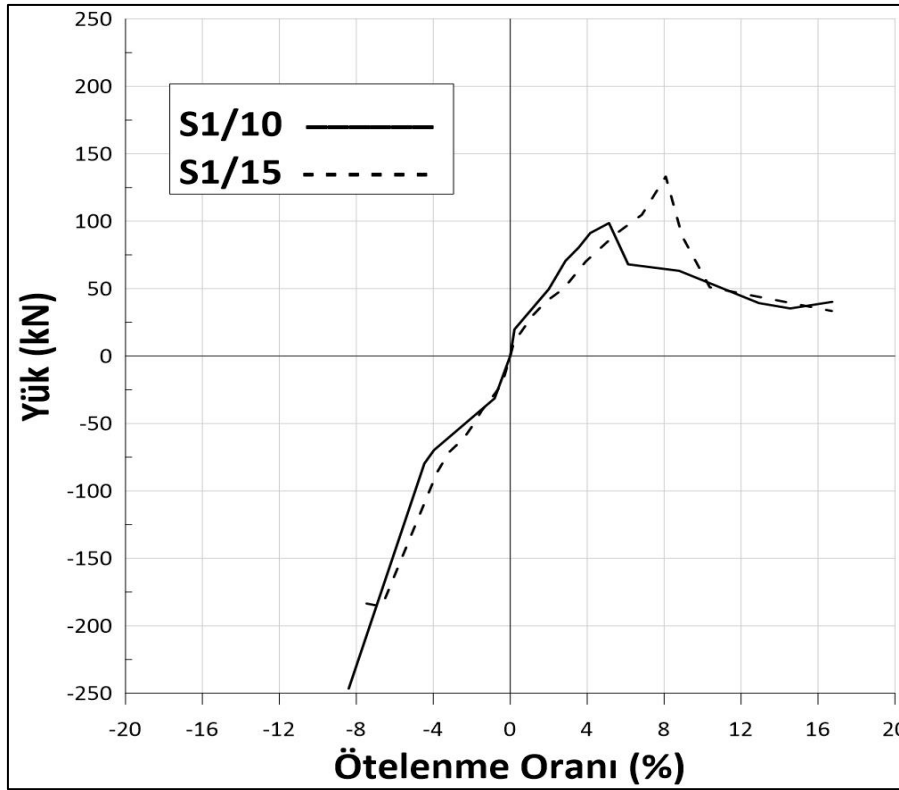
2 mm tel çapına sahip tel örgü istisna olmak üzere genel olarak tel çapı arttıkça enerji dönüştürme kapasite değerlerinin de azaldığı gözlemlenmiştir.

6.3. Güçlendirilmiş Deney Elemanları Arasında Sistemik Karşılaştırma

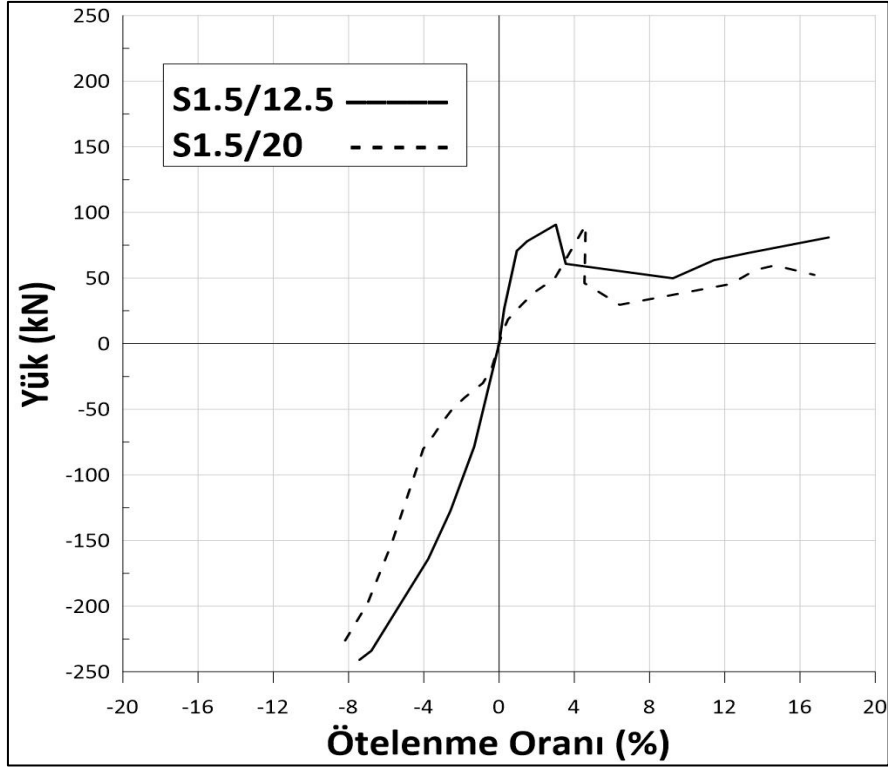
6.3.1. Tel örgü göz aralığına göre karşılaştırma

Bilindiği üzere deneysel çalışmada farklı göz aralıklarında (10, 12,5, 15, 20, 25 mm) tel örgü kullanılmıştır. Bölüm 4.2’de deney elemanlarının özellikleri ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Tel göz aralığının davranışa olan etkisini incelemek amacıyla göz aralığı dışındaki tüm değişkenlerin sabit olduğu deney elemanlarına ait karşılaştırmalı yük-ötelenme oranı zarf eğrileri Şekil 6.16, Şekil 6.17 ve Şekil 6.18’de gösterilmiştir.

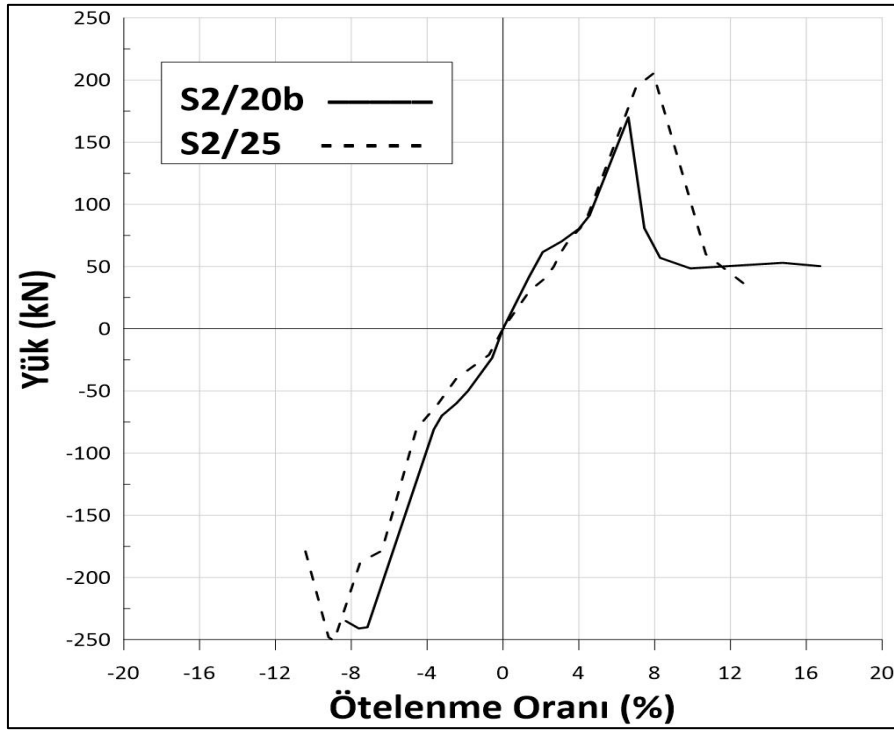
Bununla birlikte daha kolay karşılaştırma yapabilmek için aynı tel örgü çapına sahip deney elemanları gruplandırılarak her deney elemanına ait dayanım, ötelenme oranı, rijitlik ve enerji dönüştürme değerleri ayrıca Çizelge 6.9’da sunulmuştur.



Şekil 6.16. 1 mm tel çapına sahip güçlendirilmiş elemanların tel göz aralığına göre karşılaştırılması



Şekil 6.17. 1,5 mm tel çapına sahip güçlendirilmiş elemanların tel örgü göz aralığına göre karşılaştırılması



Şekil 6.18. 2 mm tel çapına sahip güçlendirilmiş elemanların tel örgü göz aralığına göre karşılaştırılması

Çizelge 6.9. Güçlendirilmiş deney elemanların tel çapına göre sınıflandırılmış performans özetleri

Deney Elemanı Adı	Tel Oranı (mm ² /mm)	Ortalama Dayanım (P _{uort}) (kN)	Ortalama en yüksek ötelenme oranı (d _{0,85} 'de) (%)	Ortalama Rijitlik (K _{0.01}) (kN/mm)	Ortalama Enerji Dönüştürme (Joule)
S1/10	0,0785	172,3	>7	2,55	54013
S1/15	0,0523	159,2	>8	2,2	50688
S1.5/12.5	0,1413	165,7	>5,4	5	61988
S1.5/20	0,0883	158,4	>6,4	2,2	51118
S2/20b	0,1570	205,2	>7,6	2,35	62972
S2/25	0,1256	227,5	>9,2	1,7	68308

Çizelge 6.9'a bakıldığı zaman tel göz aralığının artması 1 ve 1.5 tel çaplı elemanlar için beklendiği gibi dayanımın düşmesine sebep olmuştur. Ancak 2 mm tel çapına sahip göz aralığı daha fazla olan S2/25 in dayanımı yaklaşık %10 daha fazla çıkmıştır. Bu fark her ne kadar ihmal edilebilecek düzeyde olsa da, sebebinin yalın duvar dayanımı açısından S2/25 in daha avantajlı olduğu kanaati oluşturmuştur. Benzer ilişki enerji dönüştürme kapasiteleri içinde gerçekleşmiştir. Diğer taraftan göz aralığının artması istikrarlı bir şekilde rijitliğin düşmesine neden olmuştur.

7. ANALİTİK YAKLAŞIM

Bu deneysel çalışmanın amaçlarından birisi de tel örgülerle güçlendirilmiş tuğla dolgu duvarın sistem davranışını belirlediği durumlarda analitik hesap yöntemleri geliştirmektir.

7.1. Referans Deney Elemanları Üzerinde Analitik Çalışma

Buradaki analitik hesaplamalarda eş değer basınç çubuğu modeli kullanılmıştır. Deney elemanlarında göçme modu köşelerin ezilmesi olduğunda deney elemanlarında ezilme dayanımı hesabı için FEMA 306 [23] Eş. 7.1'i önermiştir.

$$V_{inf} = a_{inf} t_{inf} f_{me90} \cos\theta \quad (7.1)$$

$$a_{inf} = 0,175(\lambda h_{col})^{-0,4} r_{inf} \quad (7.2)$$

$$\lambda = [(E_{me} t_{inf} \sin 2\theta) / (4E_{fe} I_{col} h_{inf})]^{1/4} \quad (7.3)$$

a_{inf} : Eşdeğer basınç çubuğu genişliği

f_{me90} : Duvarın yatay doğrultudaki dayanımı

E_{me} : Dolgu duvarın elastisite modülü

E_{fe} : Çerçevenin elastisite modülü

h_{col} : Kiriş aksları arasındaki kolon yüksekliği

h_{inf} : Dolgu duvarın yüksekliği

I_{col} : Kolonun atalet momenti

r_{inf} : Dolgu duvarın diyagonal uzunluğu

θ : Dolgu duvar köşegeninin yatayla yaptığı açı (radyan)

t_{inf} : Dolgu duvarın kalınlığı

L_{inf} : Dolgu duvarın uzunluğu

λ : Katsayı

Tuğla duvar davranışının karmaşık olması ve tuğla dayanım değerlerindeki standart sapma değerinin oldukça yüksek olması sistemin analitik olarak incelenmesini zorlaştırmaktadır. Aynı zamanda Eş 7.1'e bakıldığı zaman " a_{inf} " eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliği değerinin hesabı oldukça karmaşık ve pratik olmadığı görülmektedir. Bu nedenlerden ötürü oldukça sade ve kullanışlı bir hesap yöntemi bulma yoluna gidilmiştir. Özçelik [24]'in

çalışmasında eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliği değerinin $d/3$ ve $d/4$ arasındaki bir mesafenin gerçek sonuçlara oldukça yakın sonuçlar verdiğini göstermiştir. Aynı şekilde eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliği olarak Holmes [25] çalışmasında $w = d/3$ eşitliğini, Paulay ve Priestley [26] ise $w = 0,25d$ eşitliğini önermektedir. Burada “d” dolgu duvarın diyagonal uzunluğu ifade etmektedir. Tüm bu yaklaşımlar göz önüne alındığında bu çalışmada eşdeğer diyagonal basınç çubuğu genişliği olarak $d/4$ ‘ün kullanılmasına karar verilmiştir. Tüm bunlar göz önüne alındığında göçme modu köşelerin ezilmesi olan referans deney elemanlarında duvar dayanımını belirleyebilmek için sıvanın da etkisinin içine alındığı daha sade ve pratik olan Eş 7.4 kullanılmıştır.

$$V_d = \frac{d}{4} \times (t_b \times f_{bk} + t_p \times f_{pk}) \times \cos \theta \quad (7.4)$$

V_d : Duvar dayanımı

d : Dolgu duvarın diyagonal uzunluğu

t_b : Tuğla kalınlığı

f_{bk} : Karakteristik tuğla dayanım değeri

t_p : Sıva kalınlığı

f_{pk} : Karakteristik sıva silindir basınç dayanım değeri

θ : Dolgu duvar köşegeninin yatayla yaptığı açı (radyan)

Analitik yaklaşımda hesap yapılırken standart sapma değerlerinin yüksek olması ve hesaplarda sağlıklı sonuçlar elde edilebilmesi için tuğla ve sıva dayanımlarını kullanırken, ortalama değerleri kullanmak yerine yapılan basınç testleri neticesinde bulunan dayanım değerlerinin %95’inin üstünde kaldığı karakteristik dayanım değerleri kullanılmıştır. Eş. 7.4’te karakteristik tuğla dayanım değerine, daha gerçekçi sonuçlar vereceği düşünülen tuğlanın her iki yönüne yapılan basınç testleri neticesinde elde edilen karakteristik dayanım değerlerinin ortalaması kullanılmıştır.

Referans deney elemanlarına ait parametreler aşağıda verilmiştir.

d : 1908 mm

t_b : 85 mm

f_{bk} : 1,95 MPa

t_p : 16 mm

$$f_{pk} : 6 \text{ MPa}$$

$$\theta : 0,78 \text{ (radyan)}$$

Deney elemanlarına ait parametreleri Eş. 7.4'te yerine yazdığımızda dolgu duvarın yatay doğrultuda taşıyabileceği kuvvet değeri V_{dolgu} 97,3 kN elde edilir. Referans elemanların (SR-1, SR-2, SR-3) deneyler esnasında gözlemlenen ortalama dayanım değerleri ise 92,3 kN olduğu görülmüştü. Deney sonuçları ve analitik hesap sonuçlarına bakıldığında zaman duvarın taşıdığı yatay yük analitik hesaplamasının uygun bir hesap yöntemi olduğu görülmektedir.

7.2. Tel Örgü ile Güçlendirilmiş Deney Elemanları Üzerinde Analitik Çalışma

Tel örgü ile güçlendirilmiş deney elemanlarında duvar dayanımını hesaplayabilmek için farklı bir analitik yaklaşım önerilmiştir. Güçlendirilmiş deney elemanlarında duvar dayanımı Eş. 7.5 ile hesaplanmıştır.

$$V_{str} = V_d + \frac{l_w}{s} \times \frac{\pi d_{tel}^2}{2} \times f_y \quad (7.5)$$

V_{str} : Güçlendirilmiş duvar hesap dayanımı

V_d : Duvar dayanımı

l_w : Duvar boyu

s : Tel örgü göz aralığı

d_{tel} : Tel çapı

f_y : Tel örgü çekme dayanımı

Güçlendirilmiş deney elemanlarında analitik hesap yapılırken Eş. 7.5'te yer alan V_d duvar dayanımı olarak referans elemanlar için hesaplanan duvar dayanım değeri olan 97,3 kN kullanılmıştır. f_y tel örgü çekme dayanımı olarak dayanımı en düşük yapısal çelik sınıfı olan S235 ile çalışılmıştır.

Güçlendirilmiş deney elemanlarına ait parametreler aşağıda verilmiştir.

$$V_d : 97,3 \text{ kN}$$

$$l_w : 1500 \text{ mm}$$

$$s : \text{Her deney elemanı için farklı bir değer kullanılmıştır.}$$

d_{tel} : Her deney elemanı için farklı bir değer kullanılmıştır.

f_y : 235 MPa

Güçlendirilmiş deney elemanlarına ait parametreleri Eş. 7.5'te yerine yazdığımızda elde edilen değerler ile deneyler esnasına elde edilen değerler karşılaştırmalı olarak Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Güçlendirilmiş deney elemanlarında deneysel ve hesap dayanım değerlerinin karşılaştırılması

Deney Elemanı Adı	Tel Çapı (mm)	Tel Göz Aralığı (mm)	$P_{deneysel}$ (kN)	$P_{analitik}$ (kN)	ORAN $\frac{P_{deneysel}}{P_{analitik}}$
S1/10	1	10	172,3	152,7	1,12
S1/15	1	15	159,2	134,3	1,18
S1.5/12.5	1,5	12,5	165,7	197,0	0,84
S1.5/20	1,5	20	158,4	159,6	0,99
S2/20b	2	20	205,2	208,1	0,98
S2/25	2	25	227,5	186,0	1,22

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

Bu tez kapsamında tel örgülerle güçlendirilmiş deney elemanlarının davranışını incelemek amacıyla 3'ü referans 6'sı güçlendirme olmak üzere toplamda 9 adet ½ ölçekli deney elemanı üretilmiş olup tersinir-tekrarlanır yükler altında testi gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde, yapılan çalışma çerçevesinde elde edilen sonuçlar kısa bir şekilde anlatılacaktır. Bununla birlikte ileride benzer çalışma yapacak araştırmacılara yön vermek adına bazı öneriler de sunulmuştur.

- Tel örgülerle duvar güçlendirme yöntemiyle betonarme yapıların güçlendirilebileceği, olası bir deprem riskine karşı olabilecek göçmelerin önlenebileceği, can ve mal kayıplarının da azalabileceği kanaatine varılmıştır.
- Bilindiği üzere deprem esnasında tuğla duvar parçalanıp dağılarak bina çevresinde bulunan insanların üzerine düşerek can kayıpları meydana gelebilmektedir. Çalışma kapsamında güçlendirme amaçlı kullanılan tel örgü, tuğla dolgu duvarın gevrek kırılma sonucu parçalanarak duvarın dağılmasının önüne geçerek sargılama etkisiyle duvardan kopan parçaların düşmesini engelleyip duvar bütünlüğünü büyük deformasyonlarda dahi sağlamıştır. Böylelikle bu yöntem sadece bir duvar güçlendirme olmamakla beraber deprem esnasında oluşabilecek can ve mal kayıplarının azaltılmasında işe yarar bir tedbir olduğunu da göstermektedir.
- Deney esnasında elemanlarda duvar köşe bölgelerinde oluşabilecek ezilmeleri geciktirmek amacıyla bulon aralığının sıklaştırılması ve çelik lamaların kullanılması gibi alınan ek önlemler, duvar davranışının oldukça başarılı olmasını sağlamıştır.
- Tel örgü ile güçlendirme yönteminin eleman dayanımına olan katkısı geçmişte yapılan güçlendirme yöntemlerine göre oldukça başarılı olduğu görülmüştür. Sayısal olarak ifade edilecek olursa eleman taşıma gücünde 1,7 ile 2,5 kat arasında bir artış gözlemlenmiştir.
- Tel oranındaki artış, her zaman dayanımda göreceli artış oluşturmamıştır. Ayrıca aynı tel çapına sahip elemanlarda tel göz aralığı düştükçe yine sistematik olarak dayanımda artış gözlenmemiştir. Bunların sebebinin ise yalın duvar dayanımındaki yüksek standart sapma olduğu kanaatine varılmıştır.

- Güçlendirilmiş deney elemanları dayanım değerinde ciddi bir kayıp (%15) meydana gelmeden %9,2 ile %5,4 arasında ciddi ötelenme oranına çıkabilmiştir. Öte yandan bu değerler referansa oranlandığında sınırlı bir artış (1,1-1,6 kat) olduğu görülmüştür.
- Tel örgülerin duvar rijitliğini arttırdığı gözlenmiştir. Referans elemana göre kıyaslandığı zaman rijitlikte en fazla artış 3-4 kat dolaylarında olan 1,5 mm tel çapına sahip tel örgüler olduğu gözlemlenmiştir. 1 mm tel çapına sahip elemanlarda bu artış 1,5-2 kat iken, 2 mm tel çapına sahip elemanlarda ise bu artış 2-2,5 kat olmuştur.
- Rijitlik değerlerinde de aynı tel çapına sahip deney elemanlarında tel örgü göz aralığı arttıkça rijitlik değerlerinde azalma meydana gelmiştir. 1 mm tel çapına sahip elemanlarda %12 azalma meydana gelirken, 1,5 mm tel çapına sahip elemanlarda %47 ve 2 mm tel çapına sahip elemanlarda ise bu azalama oranının %30 olduğu görülmüştür.
- Tel örgülerle güçlendirme yönteminde enerji dönüştürme kapasite değerlerinde referans elemana göre genel olarak 3-4 kat dolaylarında bir artış sağlanmıştır. Deney elemanlarında tel oranı arttıkça genel olarak enerji dönüştürme kapasitelerinin de arttığı görülmüştür.
- Enerji dönüştürme kapasitesi değerlerinde en iyi sonucu referans elemana göre 4 kat gibi bir artışla 2 mm tel çapına sahip tel örgü verirken, en az katkıyı da 3,2 kat artış sağlayan 1 mm tel çapına sahip tel örgü olmuştur. 1,5 mm tel çapına sahip tel örgüde ise bu artış 3,4 kat olmuştur.
- Genel olarak aynı tel çapına sahip elemanlarda 2 mm çapındaki tel örgü istisna olmak üzere tel örgü göz aralığı arttıkça enerji dönüştürme kapasitelerinin azaldığı görülmüştür. 1 mm tel çapına sahip elemanlarda tel örgü göz aralığı arttıkça enerji dönüştürme kapasitelerinde %6 gibi bir azalma meydana gelirken 1,5 mm tel çapına sahip elemanlarda ise %17 azalma olduğu gözlemlenmiştir.

8.2. Öneriler

- Deney esnasında S1/10, S1/15, S1.5/12.5, S2/20b deney elemanlarında duvarda meydana gelen yatay kırılmalar lamaların hemen bitimindeki süreksiz bölgede meydana gelmiştir. Bu türden göçme modunu engellemek için duvar köşe bölgelerinde kullanılan lamaların duvar yüzünde kolon boyunca yani düşey eksen boyunca sürekli kullanılması önerilmektedir.

- Tel göz aralığı düştükçe alçı sıvanın uygulanabilirliği yani duvar yüzeyi ile alçı sıva arasındaki yapışma kalitesinin azaldığı görülmüştür. Bu sebeple uygulanan alçı sıva kaymaya başlamıştır. Bu nedenle tel göz aralığı en az 20 mm seçilmesi önerilmektedir.
- Laboratuvar şartlarından ötürü bu çalışmada duvar boyutları $\frac{1}{2}$ ölçekte gerçekleştirilebilmiştir. Öte yandan bulunabilen ve kullanılan tuğlalar (19x19x8.5) bu ölçeği sadece tek doğrultuda sağlayabilmektedir. Dolayısı ile davranışının daha iyi anlaşılabilmesi için ileride 1/1 ölçekli elemanlarla benzer çalışmaların yapılması faydalı olabilecektir.

KAYNAKLAR

1. Yüksel, E., Özkaynak, H., Büyüköztürk, O., Yalçın, C., Dindar, A. A., Sürmeli, M., and Tastan, D. (2010). Performance of alternative CFRP retrofitting schemes used in infilled RC frames. *Construction and Building Materials*, 24, 596-609.
2. Akın, E. (2011). *Strengthening of brick infilled RC frames with CFRP reinforcement general principles*, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 66-148.
3. Özdemir, H. ve Eren, İ. (2009). Bölme duvarının ve bölme duvar güçlendirilmesinin çerçeve davranışına etkisi. *İTÜ Dergisi, D Mühendislik*, 8(6), 133-145.
4. Altın, S., Anıl, Ö., Koprman, Y. and Belgin, Ç. (2010). Strengthening Masonry Infill Walls With Reinforced Plaster. *Proceedings of the Institution of Civil Engineering Structures and Buildings*, 163(5), 331-342.
5. Choi, I., ve Park, H. (2011). Cyclic Loading Test for Reinforced Concrete Frame with Thin Steel Infill Plate. *Journal of Structural Engineering*, 137(6), 654-664.
6. Kamanlı, M., Korkmaz, H. H., Balık, F. S., ve Bahadır, F. (2011). *Sünek Olmayan B/A Çerçevelerin, Çelik Çaprazlarla, B/A Dolgu Duvarlarla ve Çelik Levhalar ile Güçlendirilmesi*, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, ODTÜ, ANKARA.
7. 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, 1-4.
8. 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.
9. Seydanlıoğlu, M. (2013). *Delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş tuğla duvarların tekdüze yükler altındaki davranışı*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 24-39.
10. Cumhuriyet, 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.
11. Özbek, E. (2015). *Delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş tuğla duvarların çerçeve davranışı üzerindeki etkisi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 163-166.
12. Pul, S., and Arslan, M. E. (2019). Cyclic behaviors of different type of hollow brick infill walls: A hinged rigid frame approach. *Constr Build Mater*, 211, 899-908.

13. Koutromanos, I., Kyriakides, M., Stavridis, A., Billington, S., and 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.
14. Kyriakides, M., and 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), 04013046.
15. Baran, M., Aktaş, M. ve Aykaç, S. (2014). Sıvanmış Tuğla Dolgu Duvarların Şerit Beton/Betonarme Panellerle Güçlendirilmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29(1), 23-33.
16. Tekeli, H., Akyürek, O., Deniz, M., Hersat, E., Kara, N., Tosun, U., ve Kaya, F. (2014). Betonarme Çerçeve Dolgu Duvarların Hasır Çelik Donatılı Sıva ile Güçlendirilmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 179-191.
17. Anil, Ö. and Altın S. (2007). An Experimental Study on Reinforced Concrete Partially Infilled Frames. *Engineering Structures*, 29, 449-460.
18. 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), 04013033.
19. Reinforced Concrete (1971). *An International Manual*, S 20 UNESCO.
20. Özbek, E., Aykaç, B. and Aykaç, S. (2019). The effects of brick walls strengthened with perforated steel plates on frame behavior. *Engineering Structures*, 189, 62-76.
21. Afet ve Acil Durum Başkanlığı (2018). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, 317.
22. Aykaç, S. (2000). *Onarılmış/Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Deprem Davranışı*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 242-251.
23. FEMA 356. (2000). *Pre-standard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*. ABD: Federal Emergency Management Agency, 7-25.
24. Özçelik, M. H. (2019). *Tuğla Dolgu Duvarlar için Eşdeğer Diyagonal Çubuk Genişliğinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 173-176.
25. Holmes, M. (1961) Steel Frames with Brickwork and Concrete Infilling. *Proceeding of the Institution of Civil Engineers*, 19(4), 473-478.
26. Paulay, T. and Priestley, M. J. N. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. John Wiley & Sons Inc, 744.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Akkurt, Süleyman
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 27.05.1994, Mardin
Medeni hali : Bekâr
Telefon : 0 544 330 65 93
e-mail : akkurt94@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/ İnşaat müh.	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi/ İnşaat müh.	2017
Lise	Batman İMKB Anadolu Öğretmen Lisesi	2012

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2020-Halen	Botaş Diyarbakır Şube Müdürlüğü	İnşaat Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Yüzme, Tenis, Binicilik, Spor,



GAZİ GELECEKTİR..