

**DELİKLİ ÇELİK LEVHALARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ
TUĞLA DUVARLARIN TEKDÜZE YÜKLER ALTINDAKİ
DAVRANIŞI**

Mahmut SEYDANLIOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAYIS 2013
ANKARA**

Mahmut SEYDANLIOĞLU tarafından hazırlanan DELİKLİ ÇELİK LEVHALARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ TUĞLA DUVARLARIN TEKDÜZE YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Sabahattin AYKAÇ

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı

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

Yrd. Doç. Dr. Alper BÜYÜKKARAGÖZ

Yapı Eğitimi, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Sabahattin AYKAÇ

İnşaat Mühendisliği, Yapı Anabilim Dalı, Gazi Üniveristesi

Yrd. Doç. Dr. İlker KALKAN

İnşaat Mühendisliği, Yapı Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 06/05//2013

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mahmut SEYDANLIOĞLU

**DELİKLİ ÇELİK LEVHALARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ TUĞLA
DUVARLARIN TEKDÜZE YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Mahmut SEYDANLIOĞLU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAYIS 2013**

ÖZET

Ülkemizdeki yapıların büyük kısmının taşıyıcı sistemlerinin kolon ve kirişlerden oluştuğu göz önüne alındığında, tuğla duvarların güçlendirilmesi yapının deprem davranışının iyileştirilmesinde önemli bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Tuğla duvarların lifli polimer kumaşlar veya çelik levhalarla güçlendirilmesi yöntemi, daha kolay ve çabuk uygulanabilir olması ve yapının güçlendirme işlemleri esnasındaki kullanımını daha az kısıtlaması gibi sebeplerle tercih edilmektedir. Yurt dışından ithal edilen lifli polimer (FRP) kumaşların oldukça pahalı olması ve bu malzemenin çeliğe nazaran daha gevrek davranması, güçlendirmede çelik levha kullanımını cazip kılmaktadır. Bu çalışmanın birincil amacı, tuğla duvarların güçlendirilmesinde delikli çelik levha kullanımının duvar davranışına ve sünekliğine etkilerinin incelenmesidir. Bu amaçla, birisi referans, onikisi güçlendirilmiş olmak üzere onüç deney elemanı tekdüze düşey yükler altında denenmiştir. Kalınlığı sıva ile birlikte 12,5 cm olan tuğla duvarlar güçlendirilerek elemanların dayanımlarında, süneklik oranlarında ve enerji tüketim değerlerinde büyük artışlar sağlanmıştır. Ayrıca tuğla duvarın gevrek kırılma sonucu parçalanarak dağılması önlenmiştir.

Bilim Kodu : 911.1.145
Anahtar Kelimeler : Tuğla duvar, güçlendirme, delikli saç levha
Sayfa Adedi : 108
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Sabahattin AYKAÇ

BEHAVIOUR OF BRICK WALLS STRENGTHENED WITH PERFORATED STEEL PLATES UNDER UNIFORM LOADS

(M. Sc. Thesis)

Mahmut SEYDANLIOĞLU

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE**

MAY 2013

ABSTRACT

Considering that the load-bearing systems of the majority of structures in our country are composed of columns and beams, strengthening of infill brick walls emerges as a strong alternative in improving the earthquake behavior of a structure. Strengthening of brick walls with externally bonded FRP sheets or steel plates is a preferred method due to the ease and speed of application of the method and minimum disruption to the use of the structure. The high costs of the FRP fabrics imported from foreign countries and the limited ductilities of these materials compared to mild steel makes the use of steel plates in strengthening a more suitable alternative. The present study primarily aims at investigating the effects of the use of perforated steel plates in strengthening on the behavior and ductility of brick walls. For this purpose, a reference (unstrengthened) and twelve strengthened specimens were subjected to monotonic vertical loading. The strengths, ductilities, and energy absorption capacities of the brick walls, having a total thickness of 12,5 cm including the plaster, were found to increase significantly when strengthened. Furthermore, the plates prevented brittle failure of the walls by keeping them intact.

Science Code : 911.1.145

Keywords : Brick wall, strengthening, perforated steel plate

Number of pages : 108

Thesis supervisor : Assoc. Prof. Dr. Sabahattin AYKAÇ

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamda beni sürekli destekleyen ve teşvik eden, laboratuvarda geç saatlere kadar çalışmama tahammül eden, sevgili eşim Nilgün SEYDANLIOĞLU ve bazen bana laboratuvarda yardım da etmiş olan oğlum Mehmet Burak SEYDANLIOĞLU'na bu çalışmama katkılarından dolayı ne kadar teşekkür etsem azdır.

Bu araştırmamda bana danışmanlık yapan değerli hocam Doç. Dr. Sabahattin AYKAÇ'a, tez sunumum sırasında ve daha sonraki aşamalarda bana desteklerini esirgemeyen hocalarım Yrd. Doç. Dr. Alper BÜYÜKKARAGÖZ ve Yrd. Doç. Dr. İlker KALKAN'a ve laboratuvar çalışmalarım da bana yardım eden Arş. Gör. Eray ÖZBEK'e teşekkür ederim.

Bu tezi oluşturmamda katkısı olan ve adını sayamadığım herkese teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. GEÇMİŞTEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	20
3.1 Deney Programı.....	20
3.2 Deney Elemanları.....	21
3.3 Malzeme Özellik ve Dayanımları.....	39
3.4 Sac Levhaların Deney Elemanlarına Montajı ve Uygulama Tekniği.....	40
3.5 Deney Düzeni.....	41
3.5.1 Deney platformu ve deney çerçevesi.....	41
3.5.2 Yükleme düzeni.....	42
3.5.3 Ölçüm düzeni.....	43
3.6 Deneyler.....	43
3.6.1 R (Yalın Eleman) deneyi.....	43
3.6.2 S0.5-100 deneyi.....	46

	Sayfa
3.6.3 S0.5-150 deneyi.....	48
3.6.4 S0.5-200 deneyi.....	51
3.6.5 S1.0-100 deneyi.....	53
3.6.6 S1.0-150 deneyi.....	55
3.6.7 S1.0-200 deneyi.....	57
3.6.8 S1.5-100 deneyi.....	59
3.6.9 S1.5-150 deneyi.....	61
3.6.10 S1.5-200 deneyi.....	63
3.6.11 S2.0-100 deneyi.....	65
3.6.12 S2.0-150 deneyi.....	67
3.6.13 S2.0-200 deneyi.....	69
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	72
4.1 Genel.....	72
4.2 Taşıma Gücü.....	72
4.3 Süneklik.....	74
4.4 Enerji Tüketimi.....	76
4.5 Deney Elemanları Arasında Karşılaştırma.....	77
4.5.1 Bulon aralıklarına göre S0.5-100, S0.5-150, S0.5-200 elemanları ile R elemanı arasında karşılaştırma.....	77
4.5.2 Bulon aralıklarına göre S1.0-100, S1.0-150, S1.0-200 elemanları ile R elemanı arasında karşılaştırma.....	80
4.5.3 Bulon aralıklarına göre S1.5-100, S1.5-150, S1.5-200 elemanları ile R elemanı arasında karşılaştırma.....	82
4.5.4 Bulon aralıklarına göre S2.0-100, S2.0-150, S2.0-200 elemanları ile R elemanı arasında karşılaştırma.....	84

	Sayfa
4.5.5 Sac kalınlıklarına göre S0.5-100, S1.0-100, S1.5-100, S2.0-100 elemanları ile R elemanı arasında karşılaştırma.....	86
4.5.6 Sac kalınlıklarına göre S0.5-150, S1.0-150, S1.5-150, S2.0-150 elemanları ile R elemanı arasında karşılaştırma.....	88
4.5.7 Sac kalınlıklarına göre S0.5-200, S1.0-200, S1.5-200, S2.0-200 elemanları ile R elemanı arasında karşılaştırma.....	90
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	92
EK-1.Deney platformu, deney çerçevesi ve bağlantı detayları.....	97
KAYNAKLAR.....	105
ÖZGEÇMİŞ.....	108

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Deney elemanlarının özellikleri	21
Çizelge 3.2. Duvar ve sıva harcı karışım miktarları.....	40
Çizelge 3.3. Malzeme deneyi sonuçları	40
Çizelge 4.1. Deney elemanlarının deneysel taşıma güçleri.....	73
Çizelge 4.2. Deney elemanlarının mutlak ve göreceli süneklik oranları	76
Çizelge 4.3. Elemanların enerji tüketme kapasiteleri.....	78
Çizelge 4.4. Karşılaştırılan 0,5 mm levha kalınlıklı elemanların özellikleri	78
Çizelge 4.5. Karşılaştırılan 1,0 mm levha kalınlıklı elemanların özellikleri	81
Çizelge 4.6. Karşılaştırılan 1,5 mm levha kalınlıklı elemanların özellikleri	83
Çizelge 4.7. Karşılaştırılan 2,0 mm levha kalınlıklı elemanların özellikleri	85
Çizelge 4.8. Karşılaştırılan 10 cm bulon aralıklı elemanların özellikleri	87
Çizelge 4.9. Karşılaştırılan 15 cm bulon aralıklı elemanların özellikleri	89
Çizelge 4.10. Karşılaştırılan 20 cm bulon aralıklı elemanların özellikleri	91

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Hasır donatı ile güçlendirme [28].	17
Şekil 3.1. Delikli sac levha boyutları ve kesiti	22
Şekil 3.2. Referans elemanı.....	26
Şekil 3.3. S0.5-100 elemanı	27
Şekil 3.4. S0.5-150 elemanı	28
Şekil 3.5. S0.5-200 elemanı	29
Şekil 3.6. S1.0-100 elemanı	30
Şekil 3.7. S1.0-150 elemanı	31
Şekil 3.8. S1.0-200 elemanı	32
Şekil 3.9. S1.5-100 elemanı	33
Şekil 3.10. S1.5-150 elemanı	34
Şekil 3.11. S1.5-200 elemanı	35
Şekil 3.12. S2.0-100 elemanı	36
Şekil 3.13. S2.0-150 elemanı	37
Şekil 3.14. S2.0-200 elemanı	38
Şekil 3.15. Delikli levha ve bulonların uygulanma detayları.....	39
Şekil 3.16. Deney platformu ve deney çerçevesi	42
Şekil 3.17. Referans deney elemanının yük-deplasman ilişkisi.....	46
Şekil 3.18. S0.5-100 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	48
Şekil 3.19. S0.5-150 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	50
Şekil 3.20. S0.5-200 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	53
Şekil 3.21. S1.0-100 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	55

Şekil	Sayfa
Şekil 3.22. S1.0-150 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	57
Şekil 3.23. S1.0-150 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	59
Şekil 3.24. S1.5-100 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	61
Şekil 3.25. S1.5-150 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	63
Şekil 3.26. S1.5-200 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	65
Şekil 3.27. S2.0-100 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	67
Şekil 3.28. S2.0-150 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	69
Şekil 3.29. S2.0-200 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi	71
Şekil 4.1. R, S0.5-100, S0.5-150, S0.5-200 elemanlarının yük-deplasman ilişkileri.....	79
Şekil 4.2. R, S0.5-100, S0.5-150, S0.5-200 elemanlarının enerji-deplasman ilişkileri.....	79
Şekil 4.3. R, S1.0-100, S1.0-150, S1.0-200 elemanlarının yük-deplasman ilişkileri.....	81
Şekil 4.4. R, S1.0-100, S1.0-150, S1.0-200 elemanlarının enerji-deplasman ilişkileri.....	81
Şekil 4.5. R, S1.5-100, S1.5-150, S1.5-200 elemanlarının yük-deplasman ilişkileri.....	83
Şekil 4.6. R, S1.5-100, S1.5-150, S1.5-200 elemanlarının enerji-deplasman ilişkileri.....	83
Şekil 4.7. R, S2.0-100, S2.0-150, S2.0-200 elemanlarının yük deplasman ilişkileri.....	85
Şekil 4.8. R, S2.0-100, S2.0-150, S2.0-200 elemanlarının enerji-deplasman ilişkileri.....	85
Şekil 4.9. R, S0.5-100, S1.0-100, S1.5-100, S2.0-100 elemanlarının yük -deplasman ilişkileri.....	87
Şekil 4.10. R, S0.5-100, S1.0-100, S1.5-100, S2.0-100 elemanlarının enerji-deplasman ilişkileri	87

Şekil	Sayfa
Şekil 4.11. R, S0.5-150, S1.0-150, S1.5-150, S2.0-150 elemanlarının yük-deplasman ilişkileri.....	89
Şekil 4.12. R, S0.5-150, S1.0-150, S1.5-150, S2.0-150 elemanlarının enerji-deplasman ilişkileri	89
Şekil 4.13. R, S0.5-200, S1.0-200, S1.5-200, S2.0-200 elemanlarının yük -deplasman ilişkileri.....	91
Şekil 4.14. R, S0.5-200, S1.0-200, S1.5-200, S2.0-200 elemanlarının enerji-deplasman ilişkileri	91
Şekil 1.1. Deney platformu detayları	98
Şekil 1.2. Deney çerçevesi detayları	99
Şekil 1.3. Kriko ve yük hücresi bağlantı adaptörlerinin detayları.....	100
Şekil 1.4. Deney çerçevesi mafsallarının detayları.....	102
Şekil 1.5. Deney çerçevesi üst mesnet ayağı detayları.....	103
Şekil 1.6. Deney çerçevesi alt mesnet ayağı detayları	104

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1 Karbon lifli polimer (CFRP) ile güçlendirme [5]	6
Resim 3.1 Yatay delikli tuğla ile örülmüş duvar.....	23
Resim 3.2. Sıvanmış tuğla duvar.....	23
Resim 3.3. Güçlendirmeden önce deney elemanları.....	24
Resim 3.4. Delikli sac levhalar	24
Resim 3.5. Deney elemanına deliklerin açılması.	41
Resim 3.6. Referans deney elemanının deneyden önceki durumu.....	44
Resim 3.7. Referans deney elemanının başlangıç hasar durumu	45
Resim 3.8. Referans deney elemanının deney sonundaki hasar durumu	45
Resim 3.9. S0.5-100 elemanının deneyden önceki durumu.....	47
Resim 3.10. S0.5-100 deney elemanının deney sonundaki hasar durumu.....	47
Resim 3.11. S0.5-150 deney elemanının deney öncesi durumu	49
Resim 3.12. S0.5-150 deney elemanının deney sonundaki hasar durumu.....	50
Resim 3.13. S0.5-200 deney elemanının deney öncesi durumu	52
Resim 3.14. S0.5-200 deney elemanının deney sonundaki hasar durumu.....	52
Resim 3.15. S1.0-100 deney elemanının deney öncesi durumu	54
Resim 3.16. S1.0-100 deney elemanının deney sonundaki hasar durumu.....	54
Resim 3.17. S1.0-150 deney elemanının deney öncesi durumu	56
Resim 3.18. S1.0-150 deney elemanının deney sonundaki hasar durumu.....	56
Resim 3.19. S1.0-200 deney elemanının deney öncesi durumu	58
Resim 3.20. S1.0-200 deney elemanının deney sonundaki hasar durumu.....	58
Resim 3.21. S1.5-100 deney elemanının deney öncesi durumu	60

Resim	Sayfa
Resim 3.22. S1.5-100 deney elemanının deney sonundaki hasar durumu.....	60
Resim 3.23. S1.5-150 deney elemanının deney öncesi durumu	62
Resim 3.24. S1.5-150 deney elemanının deney sonundaki hasar durumu.....	62
Resim 3.25. S1.5-200 deney elemanının deney öncesi durumu	64
Resim 3.26. S1.5-200 deney elemanının deney sonundaki hasar durumu.....	64
Resim 3.27. S2.0-100 deney elemanının deney öncesi durumu	66
Resim 3.28. S2.0-100 deney elemanının deney sonundaki hasar durumu.....	66
Resim 3.29. S2.0-150 deney elemanının deney öncesi durumu	68
Resim 3.30. S2.0-150 deney elemanının deney sonundaki hasar durumu.....	68
Resim 3.31. S2.0-200 deney elemanının deney öncesi durumu	70
Resim 3.32. S2.0-200 deney elemanının deney sonundaki hasar durumu.....	70
Resim 1.1. Yük hücresi (Load cell) ve bağlantı adaptörü.....	100
Resim 1.2. Hidrolik krik o sabitleme düzeneği ve krik o üstüne adaptörle yerleştirilen rijit plaka	101
Resim 1.3. U80 profillerle oluşturulan güvenlik dayanakları.	101
Resim 1.4. Deney çerçevesi alt, üst mafsal mesnet ayağı.....	103

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
δ_y	Levhanın akması anındaki deplasman.
δ_u	Maximum yüke ulaşıldıktan sonra yükün %15 azaldığı andaki deplasman.
P_y	Levhanın akması anındaki yük.
P_u	Maximum yüke ulaşıldıktan sonra yükün %15 azaldığı andaki yük.
P_{maks}	Maksimum yük.
$\emptyset$	Bulon çapı
Kısaltmalar	Açıklama
FRP	Fiber lifli polimer
GFRP	Cam lifli polimer
CFRP	Karbon lifli polimer
LVDT	Elektronik deplasman ölçerler

1. GİRİŞ

Mevcut yapılar, tasarım ve işçilik hataları, yapının kullanım amacının değişmesi, yapıya gelmesi beklenen ilave servis yükleri ve yapının yeni yönetmeliklere uygun duruma getirilmesi gibi çeşitli sebeplerden ötürü güçlendirmeye ihtiyaç duyabilir. Ülkemizin büyük bir bölümünün deprem kuşağında yer aldığı ve mevcut yapıların önemli bir kısmının deprem yüklerine karşı yetersiz olduğu göz önüne alındığında, ülkemizdeki yapıların deprem davranışlarının iyileştirilmesi amacıyla güçlendirilmesinin önemi anlaşılabacaktır. Yapıların deprem yüklerine karşı güçlendirilmesine ilişkin ülkemizde ve dünyada yapılan araştırmalarla yeni güçlendirme yöntemleri geliştirilerek denenmekte ve deneme sonucu uygun görülen yöntemlerin bazıları da pratikte uygulanmaktadır. Yapılar genellikle “Eleman Güçlendirmesi” veya “Sistem İyileştirmesi” şeklinde iki farklı yöntem ile güçlendirilmeye çalışılmaktadır. Aşağıda bu iki yöntemden kısaca bahsedilecektir.

Eleman Güçlendirmesi

Bu yöntem genel olarak, depremler tarafından yapılarda oluşturulan zorlamaları karşılamak veya kullanım amacına yönelik olarak, taşıyıcı sistemin dayanım ve davranışının iyileştirilmesi amacıyla tüm taşıyıcı elemanların analiz edilerek, dayanımı veya davranışı yetersiz görülenlerin durumlarına uygun şekilde güçlendirilmesi şeklinde tanımlanabilir. Güçlendirilecek betonarme elemanda, uygun şekilde ankrajlanmış donatı üzerine beton manto giydirilmesi en çok uygulanan yöntemlerden biridir. Bu yöntem genellikle çok sayıda taşıyıcı elemanın olmadığı, büyük hacim veya bölünmemiş açık alana ihtiyaç duyulan fabrika, depo, köprü, katlı otopark gibi yapılarda tercih edilir. Bu yöntem özel malzemeler ve nitelikli iş gücü gerektirdiğinden yüksek maliyetli bir yöntem olarak anılır.

Sistem İyileştirmesi

Bu yöntem de genel olarak, yapının deprem davranışının ve dayanımının iyileştirilmesi amacıyla yapının taşıyıcı sisteminde yapılacak değişiklikleri kapsar.

Yapının taşıyıcı sistemini oluşturan çerçevedeki tuğla duvarlarla doldurulmuş bazı açıklıkların boşaltılarak betonarme perdelerle doldurulması, mevcut taşıyıcı olmayan duvarların güçlendirilerek taşıyıcı hale getirilmesi, taşıyıcı sisteme yeni elemanlar eklenmesi (çelik çaprazlar, vs.) en çok başvurulan sistem iyileştirmesi uygulamalarıdır. Yapılan geçmiş araştırmalar ve geçmiş depremlerde yapılan gözlemler, hasarlı taşıyıcı elemanları güçlendirilmeyen yapılarda dahi sistem iyileştirmesinin, yapının deprem davranışını önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermiştir.

Sistem iyileştirmesi uygulamaları arasında uygulanabilirliği en kolay ve en az zaman alıcı ve yapının kullanımını en az kısıtlayan yöntem olması sebebiyle, mevcut elemanların güçlendirilmesi öne çıkmaktadır. Ülkemizdeki yapıların önemli bir kısmı perde duvar içermemekte ve bu yapıların taşıyıcı sistemleri yalnızca kolon ve kirişlerden oluşmaktadır. Bu yapılarda perde duvarların bulunmaması yanal rijitliğin çok sınırlı olmasına ve yapının deprem yükleri altında büyük yanal deformasyonlara uğramasına neden olmaktadır. Daha önce yapılan bazı çalışmalar [1,2], çerçeve içerisindeki boşlukların doldurulması amacıyla kullanılan dolgu tuğla duvarların sınırlı da olsa yapının yanal rijitliğine katkıda bulunduklarını göstermiştir. Bu tuğla duvarlar güçlendirilmek suretiyle davranışları betonarme perde davranışına yaklaştırılabilir. Bu sayede yapının yanal rijitliği artırılarak, yapının deprem dayanımı ve davranışı iyileştirilebilir.

Tuğla duvar güçlendirme yöntemleri arasında üzerinde en çok araştırma yapılmış olan yöntemlerden biri de duvar yüzeylerine lifli kumaşlar (FRP) yapıştırılması yöntemidir. Bu yöntemin diğer güçlendirme yöntemlerine göre olumlu yönleri bulunsa da, ülkemizde lifli kumaşların oldukça pahalı olması, lifli polimer malzemelerin gevrek malzeme özellikleri, epoksi ile uygulanan lifli kumaşların yangın hassasiyetleri ve lifli kumaşların duvara ankrajında sorunlar yaşanması gibi sebepler, bu güçlendirme yönteminin kullanımını sınırlandırmaktadır.

Bu çalışmada, tuğla duvarların güçlendirilmesinde sünek, kolay bulunabilir ve işlenebilir ve duvara ankraj sorunu olmadan uygulanabilen delikli çelik levhaların

kullanılmasının tuğla duvarların dayanım ve davranışlarına etkileri araştırılacaktır. Diğer güçlendirme malzemelerine göre ucuz olan yerli üretim delikli çelik levhaların tuğla duvarların deprem davranışlarını istenen ölçülerde iyileştirmesi, bu konuda yapılacak yeni çalışmaların önünü açacak ve bu yöntemin yaygınlaşmasını sağlayacaktır. Bu sayede, ülkemizde depreme karşı yetersiz olan birçok yapının güçlendirilerek depreme karşı hazır hale getirilmesinin maliyeti azaltılarak ülke ekonomisine katkıda bulunulacaktır.

Tuğla duvarların delikli sac levhalarla güçlendirilmesinin duvarın davranışına iki yönlü bir katkı yapacağı düşünülmüştür. Birinci olarak, duvardaki çekme kuvvetlerinin büyük bir kısmını üzerine alan sac levhaların, çekme gerilmeleri altında diyagonal yönde oluşan çekme çatlaklarının genişliklerini sınırlandıracağı düşünülmüştür. İkinci olarak ise, duvarın iki yüzüne de uygulanıp bulonlar vasıtasıyla tuğla duvarlarla iyice kenetlenen sac levhaların tuğla duvarlar üzerindeki sargılama özelliği sayesinde duvarın basınç dayanımının artacağı varsayılmıştır. Ayrıca sac levhaların burkulmaları önlediği sürece basınç kuvvetlerinin taşınmasına da yardım edeceği düşünülerek, tuğla duvarın basınç dayanımında da meydana gelecek artışlarla, duvarın basınç yönünde burkulması ve ezilmesinin geciktirileceği düşünülmüştür. Bu iki yönlü katkı sayesinde, sac levha kullanımının duvarın yük taşıma kapasitesi, rijitliği ve sünekliğine katkı yapacağı varsayılmıştır.

Duvarların güçlendirilmesinde deliksiz sac levhalar yerine delikli sac levhalar tercih edilmesinin sebepleri şu şekilde özetlenebilir:

- Delikli levhaların deliksiz levhalara göre daha yüksek deformasyon kapasitesine sahip olmalarının duvarın sünekliğine katkı yapacağı düşünülmüştür. Delikli levhalarda bulunan ve başlangıçta dairesel şekle sahip deliklerin, duvarın deformasyonlara uğramasından sonra oval bir şekil alarak duvarın sünekliğini arttırdığı bilinmektedir. Deliklerdeki bu deformasyonlar, duvarın göçmeden önce daha yüksek oranlarda enerji sönmülmesini ve daha sünek bir davranış göstermesini sağlamaktadır.

- Levhalarda bulunan delikler levha ile duvar sıvası arasındaki temas yüzeyini arttırarak, duvarla levha arasında daha iyi bir kenetleme oluşmasına katkıda bulunmaktadır. Levhanın üstüne uygulanan sıva bu deliklerden geçerek ve deliklerin çeperleri etrafında birikerek, duvar, sıva ve levha arasında daha iyi bir kompozit etki oluşmasını sağlamaktadır. Bu kompozit etkinin duvarın taşıma gücü, rijtlik ve sünekliğine katkı yapacağı düşünülmektedir.
- Levhalarda bulunan delikler, levhaların duvara montajında kullanılan bulonlar için gerekli olan deliklerin açılmasını kolaylaştırmaktadır. Bu levhalar duvar üzerine yerleştirildikten sonra deliklerin açılmasıyla levhalar üzerindeki deliklerle duvardaki deliklerin denk gelmesi sağlanmaktadır.
- Levhalar üzerinde bulunan delikler, güçlendirme işleminden sonra da duvarda tadilat yapılması gerektiğinde bu işlemlerde kolaylık sağlamaktadır.

Bu kapsamda, birisi referans, onikisi güçlendirilmiş olmak üzere onüç deney elemanı tekdüze diyagonal yükler altında denenmiştir. Deney elemanlarında değişkenler; sac levha kalınlığı (0,5; 1,0; 1,5; 2,0 mm), bulon ankraj aralıkları (100, 150, 200 mm) olup, tuğla duvar kalınlığı sıva ile birlikte 12,5 cm'dir. Yatay delikli tuğlanın kalınlığı 8,5 cm olup, ankrajlara uygulanacak tork kuvvetleri 3,5 kNm olarak seçilmiştir. Deney sonuçları, taşıma gücü, süneklik ve enerji tüketimi bakımından irdelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

2. GEÇMİŞTEKİ ÇALIŞMALAR

Tuğla duvarların güçlendirilmesine ilişkin çalışmalar, yöntem ve kullanılan malzeme açısından genel olarak dokuz farklı şekilde yapılmıştır. Bu çalışma yöntemlerinden bazıları aşağıda kısaca açıklanacaktır. Her yöntem konusunda mevcut çalışmalar özetlendikten sonra bu yöntemin negatif yönlerine ve sac levhalarla güçlendirme yönteminin bu yönteme karşı üstünlüklerine de değinilecektir.

FRP (Lifli Polimer) ile Güçlendirme

Bu yöntemde dolgu tuğla duvarların bir veya iki yüzüne lifli polimerler yapıştırılmak suretiyle, duvarların yükleme boyunca bütünlüğünün korunması ve bu sayede yatay yüklere karşı dayanımın ve sünekliğin arttırılması amaçlanmıştır (Resim 2.1). FRP malzemelerin dolgu duvarlara kolayca yapıştırılabilmesi, güçlendirilmesi amaçlanan yapının kullanımının uzun süreli olarak kısıtlanmadan güçlendirme işleminin tamamlanmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca, lifli polimerlerin ağır çevre koşullarına, korozyona, asitlere ve diğer olumsuz çevresel etkenlere karşı olan direnci, güçlendirme işleminde FRPlerin kullanımını cazip kılmaktadır. Bu sebeplerle, lifli polimer kumaşlarla dolgu duvarların güçlendirilmesi birçok araştırma projesine konu olmuş ve olmaktadır. Son yıllarda bu yöntem, gerçek bina güçlendirme projelerinde de kullanılmaya başlanmıştır [3].

Triantafillou, T. C., karbon lifli (CFRP) kumaşlarla güçlendirilmiş dolgu duvarların eksenel yük etkisi altında düzlem ve düzlem dışı eğilmeyle kesme davranışlarını analitik ve deneysel olarak incelemiştir. 12 tuğla duvar paneli üzerinde yapılan deneyler, lifli polimer kumaşların tuğla duvarların düzlem dışı eğilme ve kesme davranışlarına çok önemli katkıları olduğunu göstermiştir. Eksenel kuvvet ile kendi düzleminde eğilmeye maruz kalan duvarlarda ise lifli polimerlerin duvarlardan koparak ayrılması, düzlemdeki eğilme dayanımının lifli polimer kumaşların duvarlara yeterli olarak bağlanması suretiyle arttırılabileceğini göstermiştir [4].



Resim 2.1. Karbon lifli polimer (CFRP) ile güçlendirme [5]

Vandergrift J., Gergely J. ve Young D. T. tarafından yapılan çalışmada; 6 adet 1219 x 2438 mm boyutlarındaki tuğla duvar yalın halde ve CFRP (karbon lifli polimer) ile güçlendirilmiş halde test edilmiştir. Uygulanan yük ise yatay olarak; üç numunede doğrudan duvara, diğer üçünde ise duvarın üstündeki kirişe etki ettirilmiştir. CFRP bantlar sayesinde süneklikte artış görülmekle birlikte, duvarların orta kısmında ağır hasar oluşmasına engel olunamamıştır. Sonuç olarak CFRP bantların, duvarın süneklik ve enerji tüketme kapasitesinde artışa neden olduğu, ancak yüksek deplasmanlarda duvarın bütünlüğünü koruyarak, dağılmasına engel olamadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca bu güçlendirme tekniğinin, çatlak tuğla duvarların düzlem içi kesme ve düzlem dışı eğilme dayanımlarına önemli ölçüde katkıda bulunduğu saptanmıştır [5].

Ozcebe G., Ersoy U., Tankut T., Erduran E., Keskin R. S. O. ve Mertol H. C., yatay delikli tuğla duvarların lifli polimer şeritlerle güçlendirilmesi yöntemini araştırmak için iki katlı ve tek açıklıklı betonarme çerçeveler test etmişlerdir. Ülkemizdeki yapı

stoğunu temsil etmesi açısından, test edilen çerçeveler depreme karşı yetersiz ve kusurlu olarak inşa edilmişlerdir. Düşük beton dayanımı, zayıf kolon ve güçlü kirişler, eleman sonlarında yeterli sıklıkta etriye bulunmaması, etriye sonlarının 135° kıvrılmaması, deney elemanlarının güçlendirmeden önce depreme karşı yetersiz olmalarına neden olmuştur. Yapılan deneyler, taşıyıcı olmayan dolgu duvarların diyagonal CFRP şeritlerle güçlendirmesinin yapının yanal rijitliği ve dayanımına önemli derecede katkıda bulunabileceğini göstermiştir [6].

Erdem I., Akyuz U., Ersoy U. ve Ozcebe G., CFRP şeritlerle güçlendirme yönteminin etkinliğini göstermek için 1/3 ölçekli iki katlı ve üç açıklıklı iki adet betonarme çerçeve test etmişlerdir. Bu çerçevelerde alt kat üst kata göre daha yüksek olarak tasarlanarak, yanal yükler altında zayıf kat oluşması sağlanmıştır. Bu çerçevelerden birtanesi orta açıklığına betonarme perde duvar ekleme yöntemiyle, diğeri ise iki katın da orta açıklığına tuğla dolgu duvar ekleme ve daha sonra bu duvarlara diyagonal CFRP şeritler yapıştırma yöntemiyle güçlendirilmiştir. Birinci elemanda perde duvar çerçeveye çelik bağlantı çivileri, ikinci elemanda ise polimer şeritler dolgu duvarlara ve çerçeveye FRP bağlantı elemanları yardımıyla bağlanmıştır. Deneyler, CRFP yapıştırılmış tuğla duvarların, betonarme perdeler gibi çerçeveye gelen yatay yüklerin büyük bir kısmını alarak çerçevedeki kolonlara düşen yanal kuvvetleri önemli ölçüde düşürdüğünü ve çerçevenin yanal rijitliğini büyük oranda arttırdığını göstermiştir. CFRP şeritlerle güçlendirme yönteminin etkinliğinin artırılabilmesi için şeritleri duvara ve çerçeveye bağlayan bağlantıların sayısının artırılmasının önemi vurgulanmıştır [7].

El-Dakhkhni W. W., Hamid A. A., Hakam Z. H. R. ve Elgaaly M., donatısız dolgu duvarların lifli polimer plakalarla güçlendirilmesinin bu duvarların göçme modları, dayanım ve deformasyonları üzerindeki etkilerini araştırmış ve bu güçlendirme metodunun, duvarların depremde hasar görmesi durumunda bile duvar bütünlüğünün korunarak göçmenin engellenmesi için yeterli olup olmadığını incelemişlerdir. Dolgu duvarların farklı bölgelerindeki yükleme durumlarını araştırmak amacıyla 24 adet duvar bölümü, tuğlaların boşluklarına paralel ve dik yönlerde aksenal basınç, diyagonal yönde basınç ve kesme deneylerine tabi tutulmuştur. Ayrıca, 5 adet 1/3

ölçekli çelik çerçeve dolgu duvarsız, güçlendirilmemiş (yalın) dolgu duvarlı ve lifli polimer plakalarla güçlendirilmiş dolgu duvarlı olarak test edilmiştir. Bu çerçevelerin üçünde diğer iki çerçeveye göre daha zayıf çelik profiller kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucu aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Tuğla blokların boşluklarına paralel ve dik yönde yapılan deneyler, güçlendirilmemiş duvar bölümlerinin eksenel basınç yükleri altında bütünlüğünü koruyamadığını ve bloklarda meydana gelen çatlaklar sonucu parçalanıp döküldüğünü göstermiştir. Lifli polimer levhalarla güçlendirilmiş duvar bölümlerinde ise, çatlamadan sonra duvarın iki büyük parçaya ayrıldığı fakat parçaların dağılmadan bir bütün olarak kaldığı görülmüştür.
- Diyagonal doğrultuda yükleme deneyleri, lifli polimer ile güçlendirilmemiş duvar bölümlerinin tuğlalar arasındaki derzlere paralel yönde kesme kırılmasına uğradığını ve bu yolla duvar bloklarının birbiri üzerinde kayarak, duvarın bütünlüğünü kaybettiğini göstermiştir. Lifli polimerlerle güçlendirilmiş duvar bölümleri ise deney sonuna kadar çekme ve kesme kırılmalarına uğramamış ve duvar bölümleri köşelerde ezilme meydana gelene kadar yük taşımaya devam etmiştir.
- Duvar bölümlerinin kesme deneyleri, güçlendirilmemiş numunelerinin tuğla bloklar ile harç arasında çatlamadan başlamasından kısa bir süre sonra bütünlüğünü kaybettiğini ve son derece gevrek bir şekilde kırıldığını göstermiştir. Güçlendirilmiş duvar bölümleri ise tuğla bloklardan biri çatlayarak parçalara ayrılana kadar yük taşımaya devam etmiştir. Lifli polimer plakalar numunelerin kesme dayanımını arttırmış ve tuğla bloklar arasındaki derzlerdeki çatlamalar sonucu blokların birbirinden ayrılmasını engellemiştir. Numunelerin kesme dayanımlarının artması ve gevrek kesme kırılmalarının önlenmesi, numunelerin basınç dayanımlarına ulaşmalarını ve daha sünek bir şekilde kırılmalarını sağlamıştır.

- Dolgu duvarlı çelik çerçevelerin diyagonal doğrultudaki yükleme deneyleri, duvarı çevreleyen çerçevenin dayanımı arttıkça duvarın lifli polimerlerle güçlendirilmesinin çerçevenin yük taşıma kapasitesine olan etkisinin azaldığını ve diyagonal basınç ezilmesine uğrayıp bütünlüğünü kaybeden ve dağılan güçlendirilmemiş deney elemanlarının aksine, tuğla duvarları güçlendirilmiş çerçevelerde duvarların deney sonuna kadar bütünlüğünü koruduğunu ve duvarlardaki göçmenin köşelerdeki ezilmeler sonucu olduğunu göstermiştir [8].

Binici B., Ozcebe G. ve Ozcelik R., betonarma çerçeve yapıların tuğla dolgu duvarlarının lifli polimer şeritler vasıtasıyla depreme karşı güçlendirilme uygulamalarında kullanılacak bir tasarım yöntemi geliştirmişlerdir. Daha sonra bu yöntemin binaların deprem davranışlarının iyileştirilmesindeki etkisini göstermek için, depreme karşı yetersiz olan gerçek bir betonarme çerçeve yapının güçlendirilmeden önceki ve sonraki hallerini lineer olmayan itme analizine tabi tutmuşlardır. Bu yapının Düzce yer hareketi altında güçlendirilmeden önceki ve sonraki davranışları karşılaştırıldığında, bu çalışmada geliştirilen analitik yöntem uygun olarak güçlendirilen yapıların kolonlarının önemli bir kısmının hasar düzeyinin altında kalarak, yapıların deprem esnasında yıkılmalarının önlendiği ve yapılardaki göreceli kat ötelenmelerinin büyük ölçüde azaldığı görülmüştür [9].

Altın S., Anil O., Kara M. E. ve Kaya M., 1/3 ölçeğinde tek katlı ve tek açıklı betonarme çerçeveleri, bu çerçevelerdeki tuğla dolgu duvarları karbon lifli polimer şeritlerle güçlendirerek test etmişlerdir. Bu çalışmada, şeritlerin düzeninin ve genişliğinin çerçevenin sünekliği ile yanal dayanım ve rijitliğine etkisi araştırılmıştır. Deneyler, özellikle duvarın iki yüzünün de simetrik olarak çapraz şeritlerle güçlendirilmesinin çerçevenin yük taşıma kapasitesi, rijitliği ve maksimum yükte ötelenme oranına önemli derecede katkı yaptığını göstermiştir. Şeritlerin duvarın iç veya dış veya her iki yüzüne yerleştirildiği bütün deney elemanlarında maksimum yükte ulaşılan yanal ötelenme oranının deprem yönetmeliğinde [10] öngörülen göreceli kat ötelenme sınırının (% 0.35) üstüne çıktığı saptanmıştır. Bu çalışma lifli polimer şeritlerle güçlendirme yönteminin çerçevenin davranışına yapacağı katkının şeritle

duvar arasındaki bağlantıların sağlamlığına bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Şeritlerin yalnızca duvarın iç yüzüne yapıştırıldığı numunelerle, yalnızca dış yüzüne yapıştırıldığı numuneler arasındaki dayanım ve süneklik farklarının bağlantı farklılıklarından kaynaklandığı ortaya konulmuş ve şerit genişliğinin arttırılmasının çerçeve davranışına yapacağı katkının, iki yüzüne de şerit yapıştırılmış duvarlara sahip çerçevelerde maksimum olacağı gösterilmiştir. Son olarak FEMA 356 [11] yönetmeliği ve deneyde şeritler üzerinde ölçülen birim deformasyon değerleri kullanılarak elde edilen yanal dayanım değerlerinin deneysel değerlerin yaklaşık % 33 altında olduğu saptanmıştır [12].

Üzerinde en çok araştırma yapılmış duvar güçlendirme yöntemlerinden biri olan lifli polimer malzemelerle güçlendirme yönteminin duvarların deprem davranışları üzerindeki olumlu etkileri gözlemlenmiş olsa da, bu yöntemin özellikle ülkemizde yaygınlık kazanmasını önleyen ve delikli çelik levhalarla güçlendirme yönteminin lifli polimerlerle güçlendirme yöntemine üstünlüğü olarak ortaya çıkan yönler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Lifli polimer malzemeler, güçlendirmede kullanılabilecek alternatif malzemelere göre pahalıdır. Yapı güçlendirmesi gibi birçok yapı elemanının güçlendirilmesinin gerekli olduğu büyük çapta güçlendirme projelerinde kullanılacak olan güçlendirme malzemesi miktarı düşünüldüğünde, güçlendirme işleminde FRP kullanımının maliyeti önemli derecede arttıracak görülmür. FRP malzemelerin yüksek maliyetlerinin yanında, bu malzemelerin yapı elemanlarına yapıştırılmasında kullanılan epoksi yapıştırıcılar da pahalı malzemelerdir.
- FRP malzemelerin yapı elemanlarına uygulanması için nitelikli iş gücüne ihtiyaç vardır. Bu malzemelerin ülkemizde henüz istenen oranda yaygınlaşmadığı göz önüne alındığında, bu yöntemin uygulanması için gerekli nitelikli iş gücü azlığının yöntemin uygulanmasını zorlaştıracak görülmür.

- Düşük karbon içerikli çeliğin aksine, FRP malzemeler gevrek malzeme özelliklerine sahiptir. FRP malzemeler çok sınırlı elastik olmayan deformasyonlardan sonra gevrek bir şekilde kırılırlar. Bu malzemelerin güçlendirmede kullanılması güçlendirilen yapı elemanının ve dolayısıyla yapının sünekliğini sınırlandıracaktır.
- FRP kumaşların yapı elemanlarına uygulanmasında karşılaşılan en büyük sorunlardan biri de bu kumaşların elemanlara ankrajlanmasının zor olmasıdır. Bu kumaşlar elemana çelik bulonlar vasıtasıyla ankrajlandığında bulonun kumaşı yırtmasından dolayı istenen davranış ve sünekliklere ulaşılamamaktadır. FRP malzemelerle güçlendirme çalışmalarında araştırılan en önemli konulardan biri de, duvar üzerine uygulanan FRP kumaşların duvara ve duvarı çevreleyen çerçeve elemanlarına ankrajlanmasında kullanılacak farklı ankraj elemanlarının deprem davranışına etkileridir.
- Lifli polimer malzemeler ve bu malzemelerin yapı elemanlarına yapıştırılmasında kullanılan epoksi yapıştırıcılar yangına karşı dayanıksız malzemelerdir. Dolayısıyla, bu yöntemde güçlendirilen elemanların yangına karşı dayanıklılıklarının artırılması için gerekli önlemler alınmalıdır.
- Lifli polimer kumaşların etkinliği bu kumaşların yapıştığı yüzeyle aralarındaki yük transferine bağlıdır. Dolayısıyla, bu malzemeler malzeme dayanımının fazla olmadığı yüzeylere yapıştırılamazlar. Ülkemizdeki yapı stoğu dikkate alındığında, bu güçlendirme tekniğinin uygulama sahasının sınırlı olduğu görülecektir.

Elyaf Donatılı Harç (FRM) ile Güçlendirme

Güçlendirme işlemi esnasında yapı elemanına lifli polimerlerin yapıştırılmasında kullanılan epoksi reçinesinin yangına karşı dayanıksız olmasından dolayı, özellikle tarihi yapıların güçlendirilmesinde içinde lifli polimer dokumaların donatı malzemesi olarak kullanıldığı harçların (FRM) kullanılması gündeme gelmiştir. Harçlarda

donatı malzemesi olarak kullanılan bu dokumalar, 0 ile 90 derece polimer liflerin birleşiminden oluşmaktadır. Son yıllarda, çok önemli tarihi yapıların yer aldığı Avrupa ülkelerinde FRM ile güçlendirme yöntemi birçok araştırma projesine konu olmuştur.

Triantafillou T. C. ve Papanicolaou C. G. [13] ve Triantafillou T. C., Papanicolaou C. G., Zissimopoulos P. ve Laourdekis T. [14], lifli dokuma donatılı harç (TRM) kullanılarak güçlendirmenin betonarme elemanlar üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Daha sonra, Prota A., Marcari G., Fabbrocino G., Manfredi G. ve Aldea C. [15] ve Papanicolaou C. G., Triantafillou T. C., Karlos K. ve Papathanasiou M. [16,17], bu yöntemin tuğla dolgu duvarların davranışları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.

Papanicolaou C. G., Triantafillou T. C. ve Lekka M., TRM ile güçlendirme yönteminin hem yatay delikli tuğla duvarlar hem de taş duvarlar üzerindeki etkilerini araştırmışlar ve deneysel çalışmaları kapsamında 34 tane deney elemanını düzlem ve düzlem dışı eğilme altında test etmişlerdir. Bu kapsamlı deneysel çalışmada lifli polimerleri duvara bağlayan bağlayıcının çeşidi, güçlendirmede kullanılan dokuma katmanlarının sayısı ve çeşidi ile deney elemanına uygulanan basınç kuvvetinin duvarın dayanım ve sünekliği üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Güçlendirmede ucuzluğu, yangına, asitlere, radyasyona, UV ışınlarına ve korozyona karşı dayanıklılığı ve yüksek çekme dayanımı gibi özellikleriyle her geçen gün yaygınlık kazanan Bazalt lifli polimer (BFRP), bitümlü cam fiber (GFRP), ve polyester lifler kullanılmıştır. Yapılan deneyler, lifli polimer donatılı harçlarla güçlendirme yönteminin, duvara lifli polimer yapıştırılmak suretiyle yapılan güçlendirmeye göre çok daha etkin olduğunu, güçlendirmede kullanılan dokuma katmanı sayısı arttıkça duvarın düzlem içi ve dışı eğilme dayanımının ve sünekliğinin arttığını ve harç içinde dayanımı diğer fiberlere göre düşük olan polyester fiberlerin dahi kullanımının duvarın dayanım ve sünekliğinde çok önemli artışlara sebep olduğunu göstermiştir [18].

Lifli polimer malzemelerin harç içinde donatı malzemesi olarak kullanılması (FRM) yöntemi, lifli polimer malzemelerin yangına karşı olan dayanıklılıklarını arttırması ve epoksi yapıştırıcıların kullanımının gerekliliğini ortadan kaldırması yönleriyle lifli polimer kumaşlarla güçlendirme yöntemine göre üstünlük gösterse de, daha önceki bölümde vurgulanmış olan güçlendirmede FRP malzeme kullanımının diğer olumsuz yönlerini taşımaktadır.

Donatılı Püskürtme Beton ile Güçlendirme

Kahn L. F., içerisinde donatı bulunan püskürtme beton ile güçlendirmenin donatısız tuğla duvarların davranışları üzerindeki etkilerini araştırmak için 17 tane tuğla paneli diyagonal basınç yükü altında test etmiştir. Bu deneylerde, duvar yüzeyinin ıslak veya kuru olmasının veya epoksi ile kaplanmasının ve duvar yüzeyinde bağlantı çivileri bulunmasının bu yöntem üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneyler, püskürtme beton ile duvar arasında bağlantı çivileri bulunmasının veya duvar yüzeyinin epoksi ile kaplı olmasının, püskürtme beton ile güçlendirme yönteminin etkinliğini önemli bir derecede etkilemediğini göstermiştir. Ayrıca, güçlendirilmiş duvarın kesme dayanımının, püskürtme beton ve içerisindeki donatı tarafından sağlandığı ve duvarın kendi kesme dayanımının güçlendirilmiş duvarın kesme dayanımına fazla katkısının olmadığı bulunmuştur [19].

ElGawady M. A., Lestuzzi P. ve Badoux M., ½ ölçekli tuğla duvarları hasır donatı ile takviye edilmiş püskürtme beton kullanarak güçlendirmiş ve eksenel ve yanal yükler altında test etmişlerdir. Deneyler, belirli bir miktar hasır donatıyı duvarın tek yüzünde kullanmak yerine iki eşit parça halinde iki yüzde de kullanmanın, duvarın enerji tüketme ve deformasyon kapasitelerine çok büyük ölçüde katkıda bulunduğunu göstermiştir [20].

Bu yöntem, güçlendirmede kullanılan malzemelerin FRP malzemelere göre daha kolay bulunur ve nispeten ucuz olmaları yönüyle FRP ile güçlendirme yöntemlerine göre üstünlük gösterse de, hasır donatının duvara bağlanması için gerekli bağlantı

çivilerinin duvara çakılması, hasır donatının yerleştirilmesi ve püskürtme betonun uygulanması gibi zaman alıcı aşamalar içermektedir. Ülkemizde uygulamada yaşanacak zorluklar dikkate alındığında birçok elemanın güçlendirilmesinin gerekli olduğu yapı güçlendirmesi projelerinde bu yöntemin uygulanmasının sınırlı olacağı anlaşılabılır.

Çelik Lif Katkılı Harç (SFRM) ile Güçlendirme

Sevil T., Baran M., Bilir T. ve Canbay E., tuğla dolgu duvarların çelik lif katkılı harç ile güçlendirilmesi yöntemini araştırmış ve yaptıkları malzeme deneyleri aracılığıyla hacimce % 2 oranında çelik lif içeren plastikleştirici katkılı harcın, basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı ve yapışma dayanımı gibi mekanik özelliklerinin istenilen seviyede olması açısından güçlendirme işleminde kullanılmaya en uygun harç karışımı olduğunu göstermişlerdir. Tek açıklıklı ve iki katlı tuğla dolgu betonarme çerçeveler üzerinde yapılan deneyler, % 2 oranında çelik lif ve plastikleştirici içeren harç ile dolgu duvarları güçlendirilen çerçevenin dolgu duvarları güçlendirilmemiş çerçeveye göre iki kat daha büyük yanal dayanım, yaklaşık üç kat daha büyük rijitlik ve iki kat daha büyük enerji sönümleme kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir [21].

FRP malzemerle ve donatılı püskürtme beton ile güçlendirme yöntemlerine göre uygulaması daha kolay ve az zaman alıcı bir yöntem olsa da, çelik liflerin betonun işlenebilirliğini azaltması ve sertleşme süresini kısaltması ve betonun işlenebilirliğinin istenen düzeye çekilebilmesi için gerekli olan plastikleştirici beton katkılarının bu yöntemin maliyetini arttıracak olması, bu güçlendirme yönteminin başlıca olumsuz yönleri olarak ortaya çıkmaktadır.

Çelik Şerit veya Çelik Profillerle Güçlendirme

Taghdi M., Bruneau M. ve Saatcioglu M., dördü tuğla ve ikisi betonarme olmak üzere altı adet 1/1 ölçekli duvar test etmiştir. Bu duvarlar, duvarın her iki yüzüne de yapıştırılan ikişer tane diyagonal çelik şerit ve bu şeritleri birbirine bağlayan ve

duvarın uzun kenarları boyunca uzanan ikişer adet dikey çelik şerit vasıyasıyla güçlendirilmiştir. Deneyler, çelik şeritlerde meydana gelen akmanın ve plastik deformasyonların tuğla ve betonarme duvarlarda duvar yüzeyine dağılmış daha fazla sayıda ve daha ince çatlağın oluşmasını sağlayarak, duvarların daha sünek davranmalarına olanak tanıdığını göstermiştir. Ayrıca, çelik şeritlerle güçlendirme yönteminin yanal yük kapasitesinde en büyük artışı donatısız tuğla dolgu duvarlarda meydana getirdiği ve çelik şeritleri duvara bağlayan bulonlarda kaymalar meydana gelene kadar duvarla şeritlerin kompozit olarak davrandığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, çelik şeritlerle güçlendirme yönteminin tuğla ve betonarme duvarların dayanım, rijitlik ve sünekliklerinde önemli artışlar ortaya çıkardığı sonucuna varılmıştır [22]. Taghdi M., Bruneau M. ve Saatcioglu M., basit kafes modelleri kullanarak duvarların dayanım ve sünekliklerini veren analitik formüller geliştirmiş ve bu formüllerden elde edilen sonuçların deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğunu göstermişlerdir [23].

Farooq, S. H., Ilyas, M. ve Ghaffar, A., dört farklı tuğla paneli yalnızca basınç yükü ve dört farklı paneli aksel basınç yükü ve yanal yük altında test etmişlerdir. Bu deneysel çalışmada, duvarın yüzeyine bulonlar vasıyasıyla bağlanan çelik şeritlerin kalınlıkları ve aralıkları ve duvarın bir veya iki yüzeyine uygulanmalarının duvarın dayanım ve sünekliğine etkileri araştırılmıştır. Yapılan deneyler, sargılama etkisi sayesinde çelik şeritlerin duvarın her iki yüzüne de yapıştırılmasının, duvarın basınç ve kesme dayanımlarıyla, sünekliğini önemli ölçüde arttırdığını, çelik şeritlerin duvarın yalnızca bir yüzüne uygulanması durumunda şeritlerin aralıklarının duvarın dayanım ve sünekliğini fazla etkilemediğini göstermiştir. Ayrıca yanal yükler altında tuğla katmanlarının birbiri üzerinde kayması sonucu göçen güçlendirilmemiş duvarın aksine, güçlendirilmiş bütün duvarların diyagonal çatlama sonucu göçmeye uğradığı görülmüştür [24].

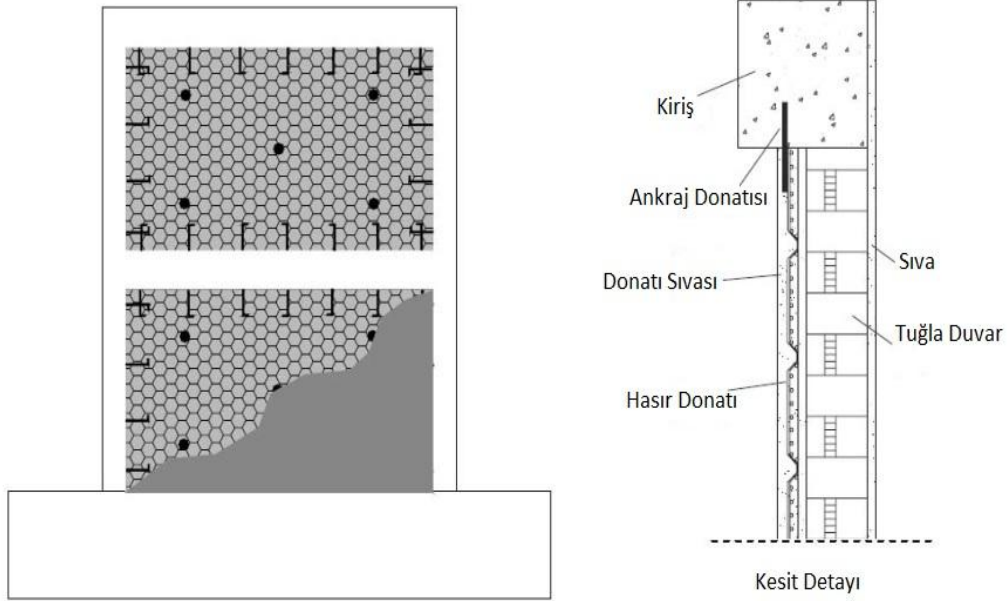
Özbek E. ve Can H., biri yalın ve beş tanesi güçlendirilmiş olmak üzere altı tane $\frac{1}{2}$ ölçekli (1.25 mx 1.5 m ebatlarında) tuğla dolgu duvarı tersinir tekrarlanır yükler altında test etmişlerdir. Deney elemanları duvarın iki yüzüne de 150 mm aralıklı M6 bulonlarla bağlanmış iki adet NPU40 çelik profille güçlendirilmiştir. Bu profillerin

çekme kuvvetlerini üzerlerine alarak duvarda oluşacak çatlakların genişliklerini sınırlandıracakları ve basınç kuvvetlerini üzerlerine alarak duvarın burkulmasını ve ezilmesini önleyecekleri düşünülmüştür. Ayrıca duvarların köşelerinde oluşacak ezilmeleri engellemek için bayrak levhaları kullanılmıştır. Diyagonal profillerin ve bayrak levhalarının duvarların dayanım ve sünekliklerine yapacağı katkıyı saptamak amacıyla yapılan bu çalışma kapsamındaki deneyler, duvarın her iki yüzünde de bayrak levhaları kullanılması durumunda bu levhaların sargılama etkisi sayesinde köşelerdeki ezilmenin önlendiğini ve duvarın dayanım ve sünekliğinde önemli artışlar meydana geldiğini göstermiştir. Ayrıca bayrak levhalarının boyutlarının küçük olması durumunda bayrak levhalarının duvara montajı için açılan bulon deliklerinin köşe bölgelerini zayıflatması nedeniyle, bayrak levhası kullanımının duvarın davranışında olumludan çok olumsuz etkiler oluşturacağı görülmüş ve çelik levhalarla güçlendirilen bütün elemanların maksimum yük değerlerine deprem yönetmeliğinde [10] verilen göçme göreceli kat ötelenmesi sınırının altında ulaşacağı sonucu elde edilmiştir [25].

Güçlendirmede çelik şerit veya profillerin kullanılması yöntemleri, çeliğin sünek, diğer malzemelere göre nispeten ucuz ve kolay temin edilebilir bir malzeme oluşu, duvara ankrajlanma kolaylığı gibi özellikleriyle, yapıların güçlendirilmesinde önemli bir alternatif olarak görülmektedir.

Hasır Donatılı Harç ile Güçlendirme

Acun B. ve Sucuoğlu H. tarafından yapılan çalışmada, 1/3 ölçekli, tek açıklıklı ve iki katlı betonarme çerçeve elemanlar, tuğla dolgu duvar üzerine çelik hasır donatı uygulanarak güçlendirilmiş ve bu güçlendirme işleminin çerçevenin rijitlik ve dayanımına yapacağı katkılar araştırılmıştır. Duvar yüzeyine yapıştırılan hasır donatı katmanlarının sayısı ve bu donatının üzerine atılan sıvanın dayanımı deney parametreleri olarak ele alınmıştır. Tuğla duvar yüzeyine uygulanan hasır donatı, kolon ve kirişlerde açılan deliklere epoksi ile sabitlenen ankraj donatıları yardımıyla çerçeveye bağlanmış (Şekil 2.1) ve daha sonra hasır donatının üzerine sıva atılmıştır. Bu çalışma kapsamında elde edilen deneysel sonuçların Sonuvar [26] tarafından test



Şekil 2.1. Hasır donatı ile güçlendirme [28]

edilen boş çerçeve ve Duvarcı [27] tarafından test edilen referans (güçlendirilmemiş) çerçeveden elde edilen sonuçlarla kıyaslanmasıyla, hasır donatının üzerine atılan sıvanın dayanımı arttırılarak ve bir yerine iki kat hasır donatı kullanılarak, çerçevenin rijitliğinin ve yanal dayanımının boş ve referans çerçevelere kıyasla önemli derecede arttırılabileceğini gösterilmiştir [28].

Bu yöntem, hasır donatının duvarı çevreleyen betonarme çerçeve elemanlarına, bu elemanlara açılan ve içine epoksi enjekte edilen deliklere yerleştirilen ankraj donatıları vasıtasıyla sabitlenmesi ve hasır donatının üzerine sıva atılması gibi zaman alıcı ve iş gücü gerektiren aşamalar içerdiği için, birçok elemanın güçlendirilmesinin gerekli olduğu yapı güçlendirmesi projelerinde uygulama zorluklarına sebep olacaktır.

Epoksi Reçinesi Enjeksiyonu ile Güçlendirme

Araki, H., Yasojima, A. ve Kagawa, J., tuğla duvarların en zayıf bölgeleri olarak nitelendirdikleri derz bölgelerine epoksi reçinesi enjeksiyonunun duvarların yanal

dayanım, rijitlik ve sünekliklerine etkilerini araştırmışlardır. Derzlerde kullanılan harcın dayanımı ve duvara uygulanan eksenel yük, deney parametreleri olarak seçilmiştir. Yapılan deneyler, epoksi reçinesi enjeksiyonunun duvarların basınç, kesme ve eğilme dayanımlarını önemli derecede arttırdığını, derzlerde kullanılan harcın dayanımının duvarların kesme ve eğilme dayanımlarını fazla etkilemediğini göstermiştir [29].

Yaptıkları deneysel çalışmada, Bu, C., Li, Y. ve Salih, O. A., epoksi reçinesi enjeksiyonunun tuğla duvarların düzlemdeki dayanımlarını, sünekliklerini ve başlangıçtaki rijitliklerini önemli derecede arttırdığını göstermiştir. Ayrıca bu yöntemle duvarların her yükleme döngüsü boyunca tükettiği enerjinin de artırılabilceğini sonucuna varılmıştır [30].

Ön Üretimli Panellerle Güçlendirme

Bu güçlendirme yönteminde, binaların etkili ve kullanıcılarını az rahatsız edecek biçimde güçlendirilmesi amacıyla, tuğla duvarların betonarme dolgu duvar ile değiştirilmesi yerine, mevcut tuğla duvarın her iki tarafına yerleştirilecek ön üretimli paneller ile betonarme dolgu duvar oluşturulması hedeflenmiştir.

Akyüz U., Tankut T., Ersoy U., Özcebe G., Karadoğan F., İlki A., Yüksel E., Özden Ş., Baran M., Özdemir G. ve Demir C. tarafından ODTÜ’de yapılan çalışmada, panel dayanımının çerçeve davranışı üzerindeki etkisini gözlemek amacıyla 5 adet dolgu duvarlı betonarme çerçeve test edilmiştir. Güçlendirilmiş olan çerçevelerin taşıma gücü, rijitlik ve enerji sönümleme kapasitelerinin, tuğla dolgulu referans çerçeveye oranla daha yüksek olduğu ve panel dayanımı arttıkça güçlendirilmiş çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesinin arttığı görülmüştür. Ayrıca çatlak oluşumları, daha yüksek dayanımlı panellerle güçlendirilmiş çerçevelerde, daha düşük dayanımlı panellerle güçlendirilmiş çerçevelere kıyasla daha ileri yük çevrimlerinde başlamıştır [31].

Baran M. ve Tankut T., 11 adet 1/3 ölçekli tek açıklıklı ve iki katlı güçlendirme işleminden önce deprem dayanımı yetersiz olan tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeve test etmiştir. Bu çalışmada, altı farklı çeşit beton panel, duvarlara ince bir epoksi katmanı yardımıyla yapıştırılmıştır. Yapılan deneyler, bu güçlendirme işleminin çerçevelerin taşıma güçlerine önemli oranda katkıda bulunduğunu, panelin duvarı çevreleyen çerçeve elemanları ve temele bağlantı detaylarının çerçevenin yanal yük kapasitesini fazla etkilemese de çerçeve davranışını önemli derecede belirlediğini göstermiştir. Buna göre, çerçevenin deprem davranışında en önemli iyileşme, panelin dört taraftan da çevre çerçeve elemanlarına ankrajı durumunda ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, ön üretimli panellerin dolgu duvarlardaki kayma deformasyonlarını da azalttığı gözlemlenmiştir [32].

Tuğla dolgu duvarların beton panellerle güçlendirilmesi yöntemi etkili bir güçlendirme yöntemi olsa da, beton panellerin duvarlara ve bu duvarları çevreleyen çerçeve elemanlarına ankrajlanmalarının zaman alıcı ve zor olması bu yöntemin önde gelen olumsuz yönleri olarak sayılabilir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Deney Programı

Bu çalışma kapsamında biri referans olmak üzere toplam 13 adet eleman test edilmiştir. Her deney elemanının kalınlığı, 8,5 cm'i tuğla duvar kalınlığı ve geri kalanı da sıva kalınlığı olmak üzere toplam 12,5 cm'dir. Güçlendirme işleminde kullanılan delikli sac levhaların kalınlığı ve bu sac levhaları duvara bağlayan bulonların aralığı deney parametreleri olarak belirlenmiştir. Buna göre, deney elemanları delikli sac kalınlıklarına göre 4 gruba (0,5; 1,0; 1,5; 2,0 mm) ayrılmıştır. Her grubu oluşturan üç deney elemanı arasındaki fark ise bulon aralığıdır (100, 150, 200 mm). Bütün deney elemanlarında bulonlara aynı burulma momenti (3,5 kNm) uygulanmıştır. Çizelge 3.1, bu çalışma kapsamında test edilen 13 deney elemanının levha kalınlıkları ve bulon aralıklarını göstermektedir.

Deney elemanlarında kullanılan delikli sac levhalarının delik deseni ve boyutları Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Bu çalışma kapsamında etkileri araştırılan parametreler aşağıda özetlenmektedir:

- a. Duvarların güçlendirilmesinde delikli sac levhaların kullanımının duvarların sünekliğine ve enerji tüketme kapasitesine yapacağı katkılar araştırılmıştır. Delikli levhaların deliksiz levhalara göre daha yüksek olan deformasyon kapasitelerinin duvarların enerji tüketme kapasiteleri ve sünekliklerini arttıracığı düşünülmüştür.
- b. Delikli levha kalınlığının tuğla duvarın sünekliği, taşıma gücü, rijitliği ve enerji tüketme kapasitesi üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla duvarların güçlendirilmesinde farklı kalınlıkta levhalar kullanılmıştır.
- c. Levhayı duvara bağlayan bulonların aralıklarının azalmasının, duvarla levha arasında daha iyi bir kenetlenme sağlanmasına yardımcı olacağı düşünülmüştür. Bu sebeple her levha kalınlığı için 3 farklı bulon aralığı belirlenmiş ve bulon

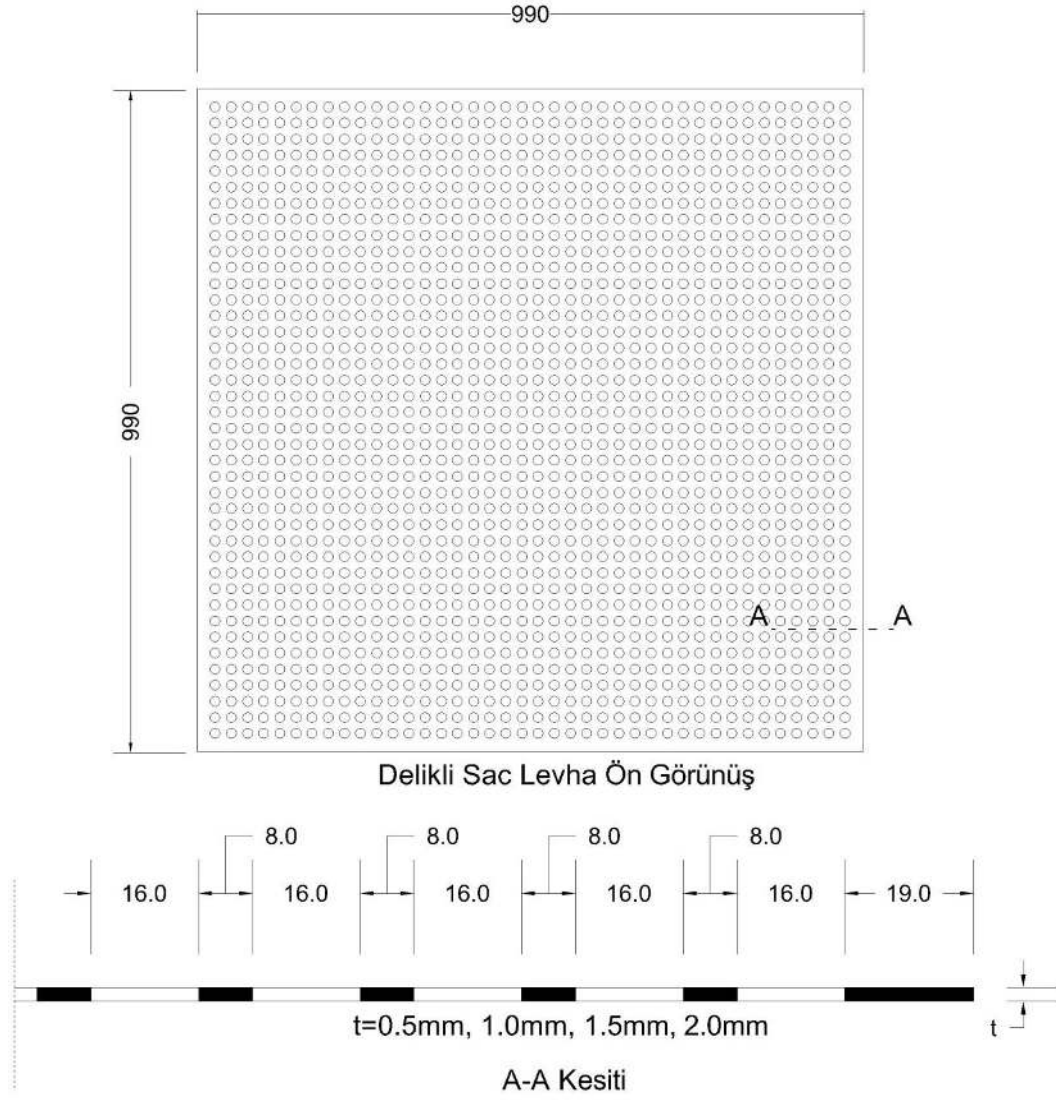
Çizelge 3.1. Deney elemanlarının özellikleri

Eleman	Sac Levha kalınlığı, t (mm)	Bulon aralığı, s (mm)
R	----	----
S0.5-100	0,5	100
S0.5-150	0,5	150
S0.5-200	0,5	200
S1.0-100	1,0	100
S1.0-150	1,0	150
S1.0-200	1,0	200
S1.5-100	1,5	100
S1.5-150	1,5	150
S1.5-200	1,5	200
S2.0-100	2,0	100
S2.0-150	2,0	150
S2.0-200	2,0	200

aralığı değişiminin kompozit davranışa ve duvarın süneklik, rijitlik ve taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır.

3.2. Deney elemanları

Deney elemanlarının laboratuvarında üretilip, deney platformuna yerleştirilebilir olması ve deney ölçüm aletlerinin kapasitelerinin aşılmaması için, deney elemanlarının 1 m x1 m boyutlarında olmasına karar verilmiştir. Bu çalışma kapsamındaki deneylerin esas amacı, yapılardaki taşıyıcı olmayan duvarların güçlendirilerek yapının yanal rijitliğine ve dayanımına katkıda bulunacak hale getirilmesi olduğu için, deney elemanları yapılarda taşıyıcı olmayan ve bölme duvarlar olarak kullanılan yarım tuğla (8,5 cm kalınlığında) duvarlar olarak seçilmiştir. Duvarlar, piyasada 8.5’luk olarak bilinen 85 mm x190 mm x190 mm ebatlarındaki yatay delikli tuğlaların Resim 3.1’de gösterildiği şekilde örülmesiyle ve daha sonra her duvar yüzüne 20 mm kalınlığında çimento kireç karışımı harcın sıvanmasıyla (Resim 3.2) hazırlanmıştır. Duvarların örülmesi ve sıvama işlemi sıradan bir işçilikle yapılarak, duvarların mevcut yapılardaki duvar kalitesini



Not: Tüm ölçüler milimetre cinsindendir.

Şekil 3.1 Delikli sac levha boyutları ve kesiti

yansıtması sağlanmıştır. Duvarlar hazırlandıktan sonra (Resim 3.3), referans duvar haricindeki duvarların iki yüzü delikli sac levhalarla güçlendirilmiştir (Resim 3.4).



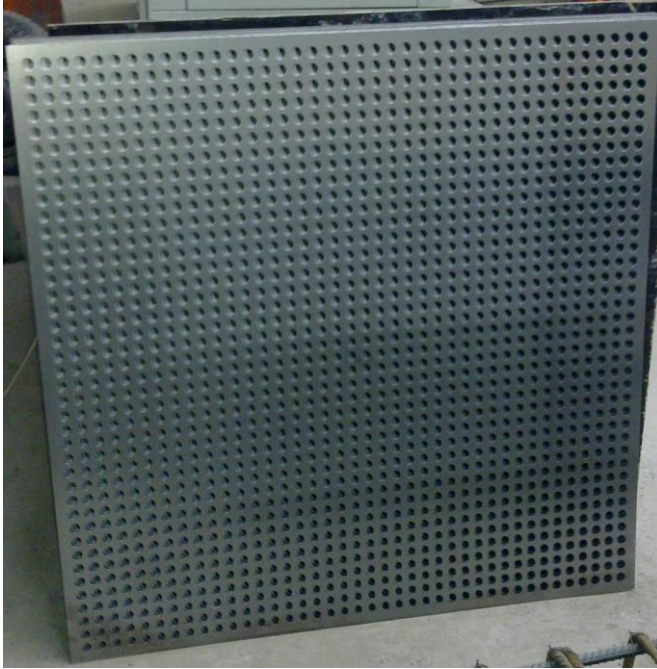
Resim 3.1 Yatay delikli tuğla ile örölmüş duvar



Resim 3.2. Sıvanmış tuğla duvar



Resim 3.3. Güçlendirmeden önce deney elemanları



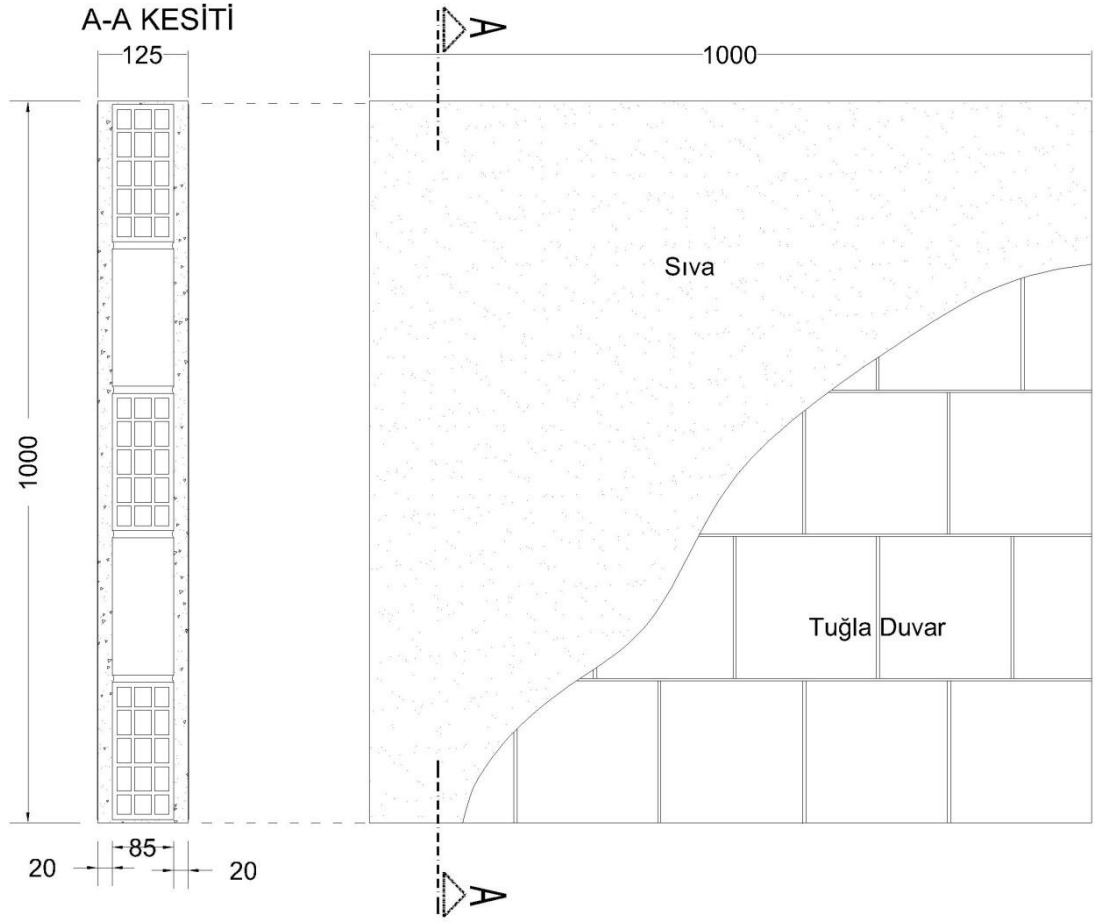
Resim 3.4. Delikli sac levhalar

Deney elemanları;

- a) R; Yalın (referans) elemanı
- b) S0.5-100; 0,5 mm kalınlığında delikli sac levhanın 100 mm aralıklı bulonlarla duvar yüzeyine bağlandığı deney elemanı
- c) S0.5-150; 0,5 mm kalınlığında delikli sac levhanın 150 mm aralıklı bulonlarla duvar yüzeyine bağlandığı deney elemanı

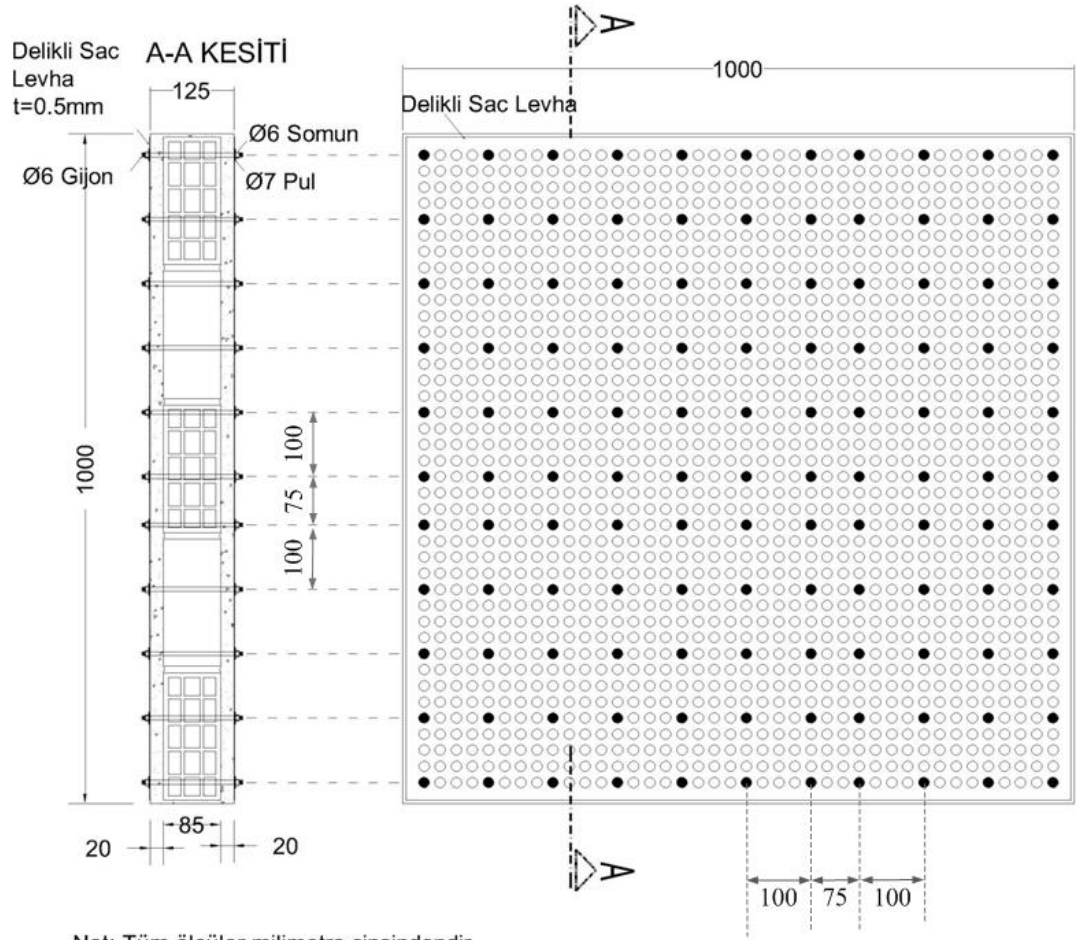
- d) S0.5-200; 0,5 mm kalınlığında delikli sac levhanın 200 mm aralıklı bulonlarla duvar yüzeyine bağlandığı deney elemanı
- e) S1.0-100; 1,0 mm kalınlığında delikli sac levhanın 100 mm aralıklı bulonlarla duvar yüzeyine bağlandığı deney elemanı
- f) S1.0-150; 1,0 mm kalınlığında delikli sac levhanın 150 mm aralıklı bulonlarla duvar yüzeyine bağlandığı deney elemanı
- g) S1.0-200; 1,0 mm kalınlığında delikli sac levhanın 200 mm aralıklı bulonlarla duvar yüzeyine bağlandığı deney elemanı
- h) S1.5-100; 1,5 mm kalınlığında delikli sac levhanın 100 mm aralıklı bulonlarla duvar yüzeyine bağlandığı deney elemanı
- i) S1.5-150; 1,5 mm kalınlığında delikli sac levhanın 150 mm aralıklı bulonlarla duvar yüzeyine bağlandığı deney elemanı
- j) S1.5-200; 1,5 mm kalınlığında delikli sac levhanın 200 mm aralıklı bulonlarla duvar yüzeyine bağlandığı deney elemanı
- k) S2.0-100; 2,0 mm kalınlığında delikli sac levhanın 100 mm aralıklı bulonlarla duvar yüzeyine bağlandığı deney elemanı
- l) S2.0-150; 2,0 mm kalınlığında delikli sac levhanın 150 mm aralıklı bulonlarla duvar yüzeyine bağlandığı deney elemanı
- m) S2.0-200; 2,0 mm kalınlığında delikli sac levhanın 200 mm aralıklı bulonlarla duvar yüzeyine bağlandığı deney elemanı

Deney elemanlarının boyutları ve güçlendirme detayları Şekil 3.2 - Şekil 3.14 'de ve delikli levha ve bulonların uygulanma detayları Şekil 3.15'de verilmektedir.



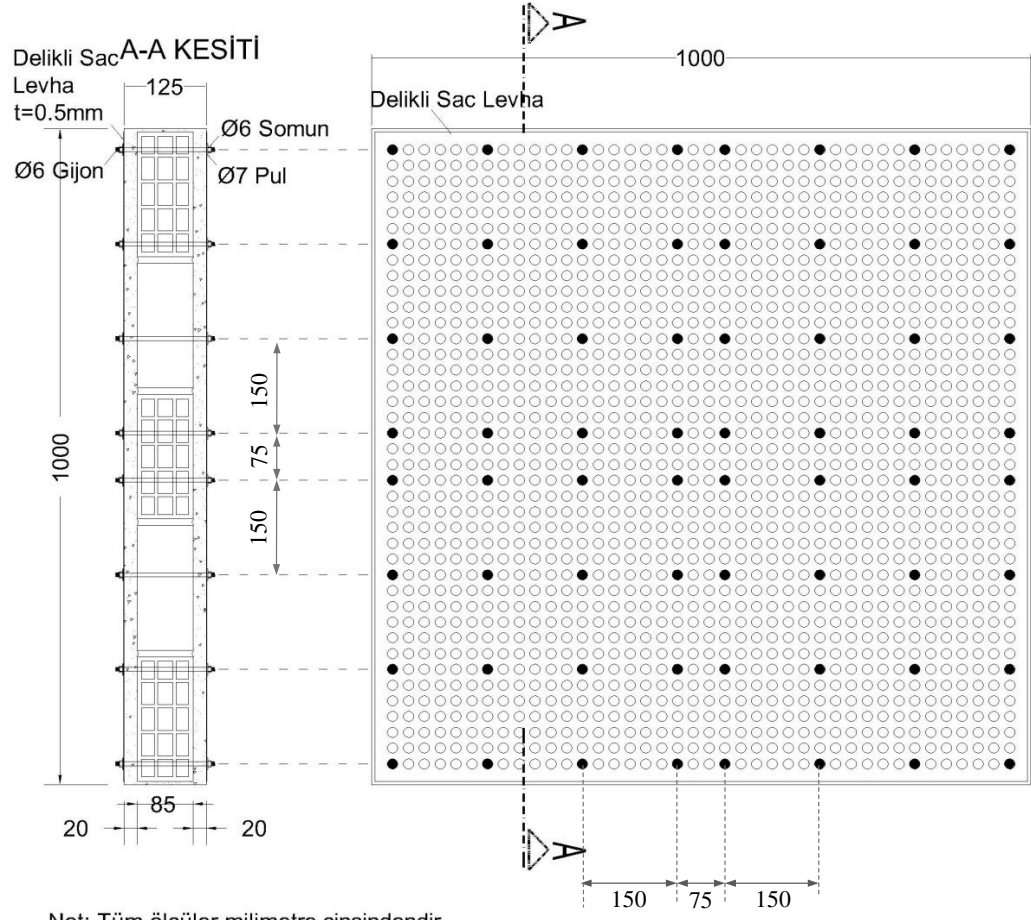
Not: Tüm ölçüler milimetre cinsindendir.

Şekil 3.2. Referans elemanı

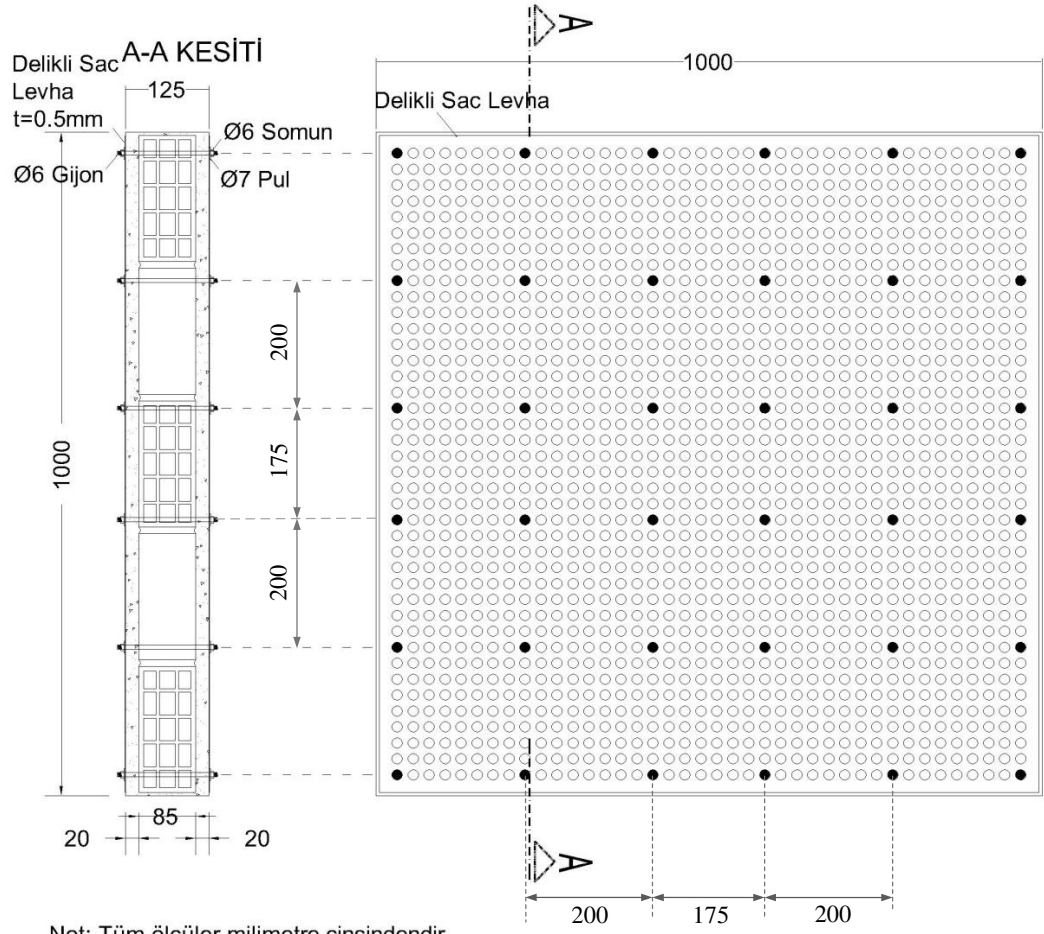


Not: Tüm ölçüler milimetre cinsindendir.

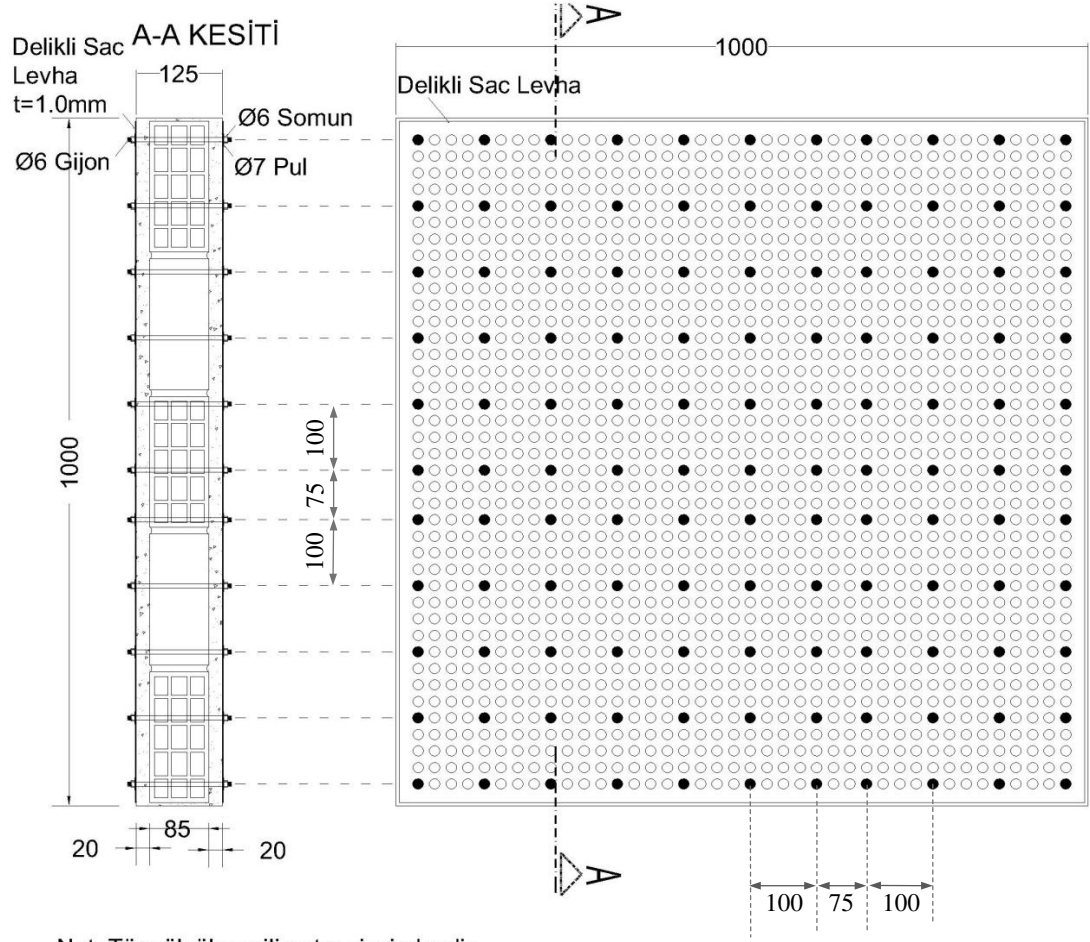
Şekil 3.3. S0.5-100 elemanı



Şekil 3.4. S0.5-150 elemanı

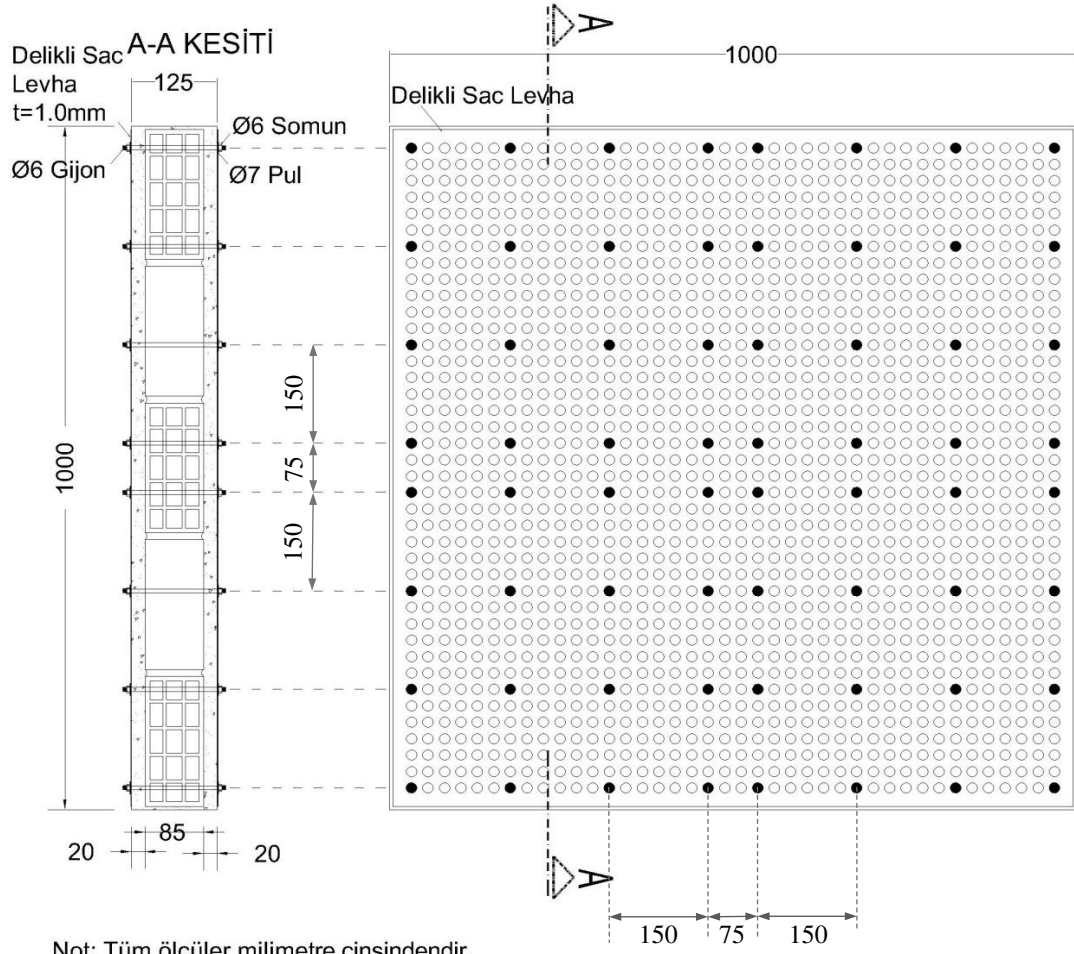


Şekil 3.5. S0.5-200 elemanı

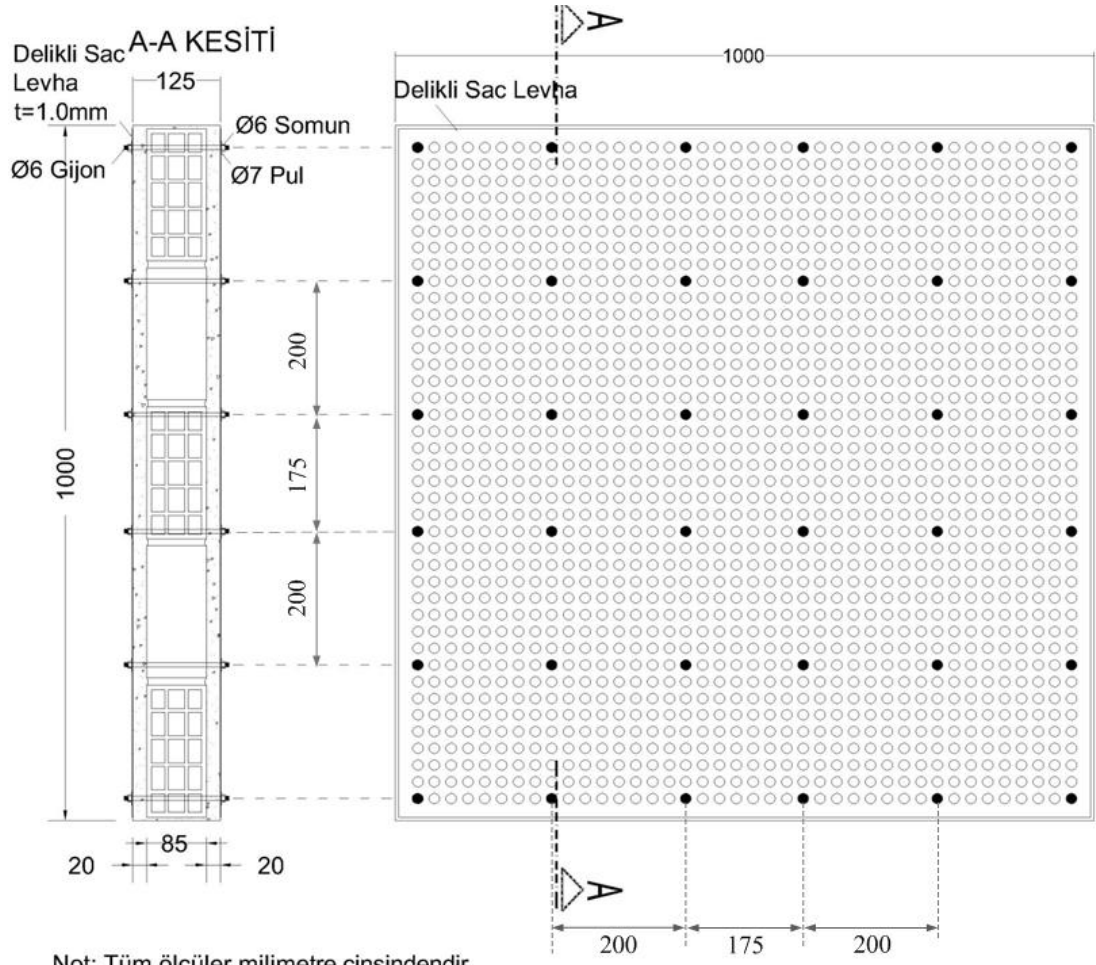


Not: Tüm ölçüler milimetre cinsindendir.

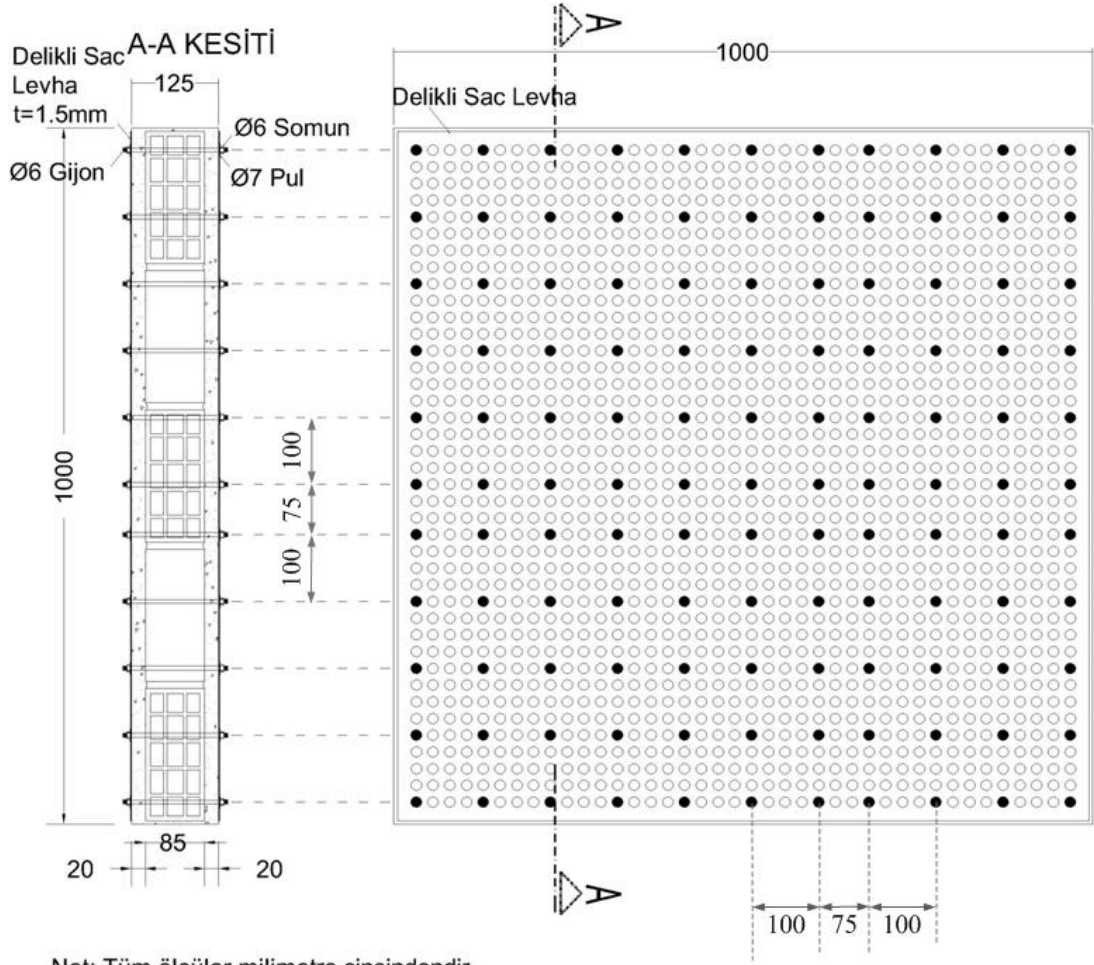
Şekil 3.6. S1.0-100 elemanı



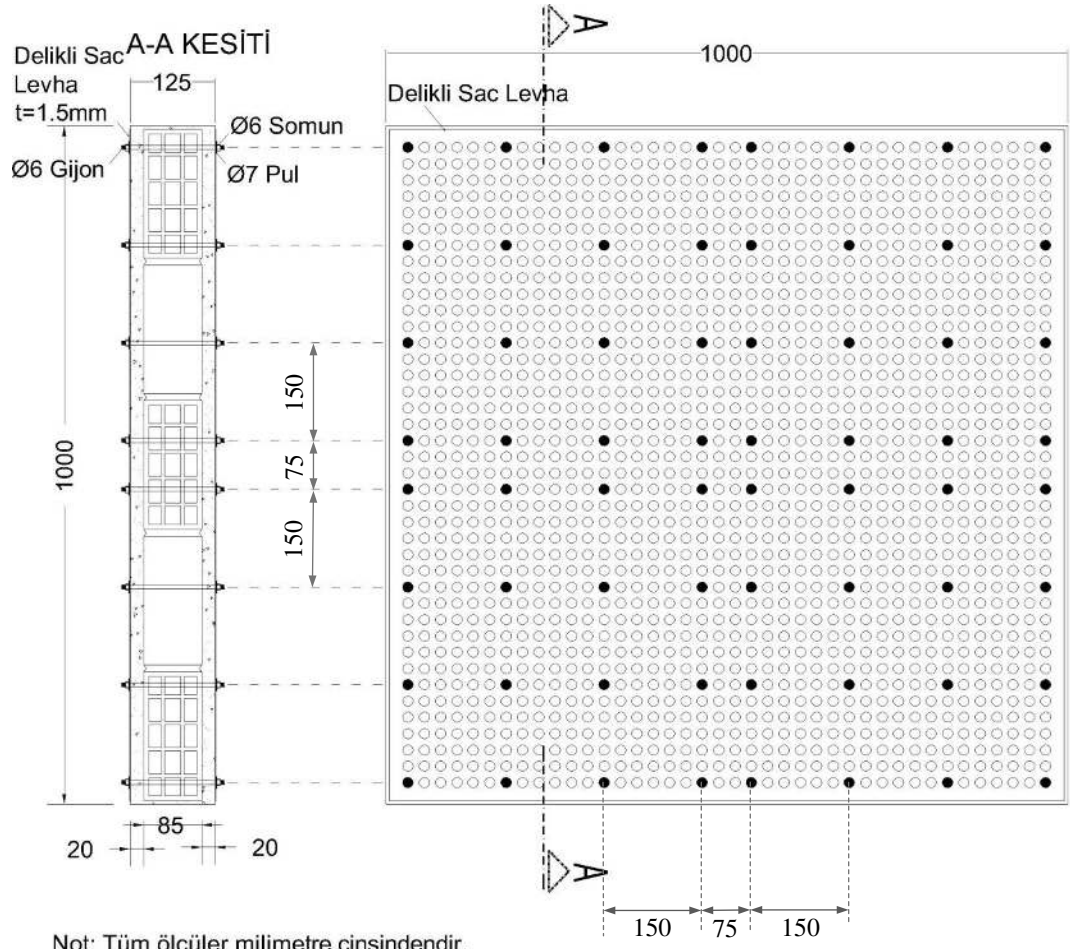
Şekil 3.7. S1.0-150 elemanı



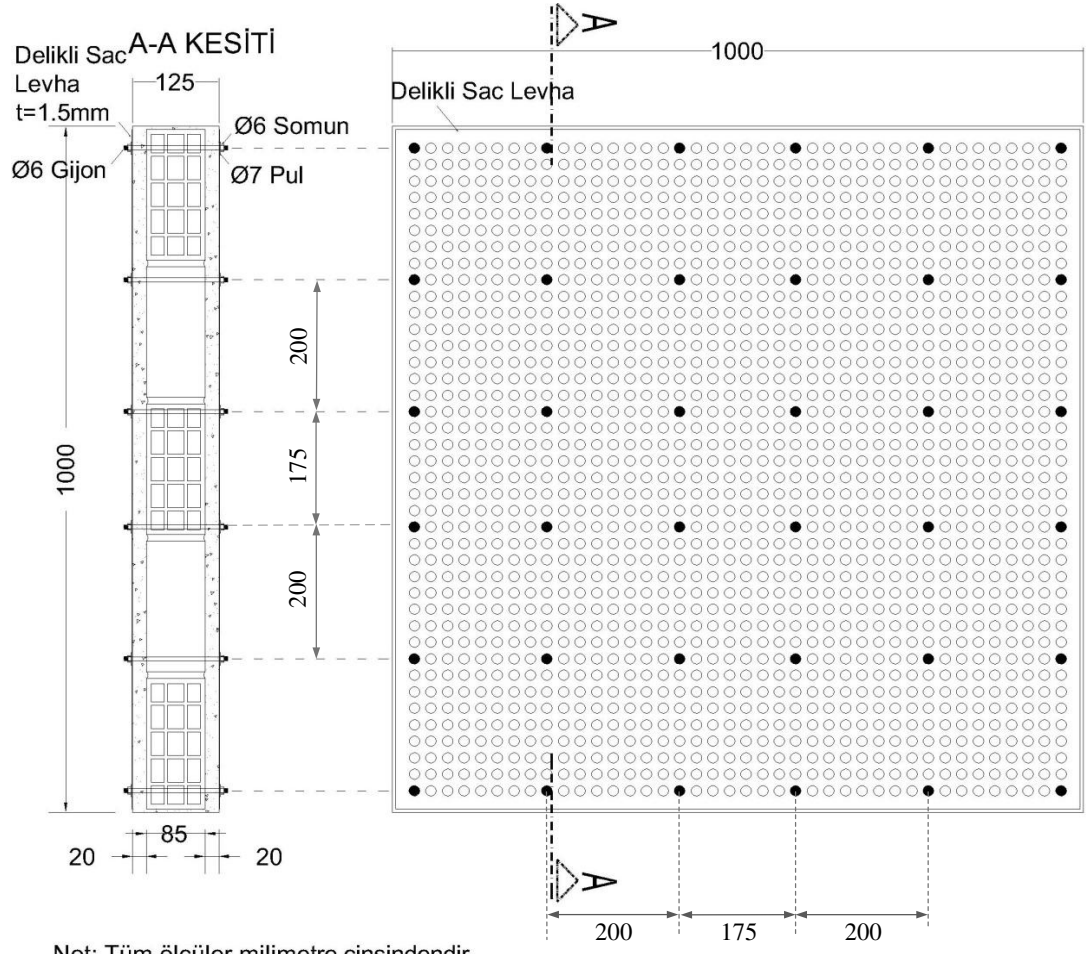
Şekil 3.8. S1.0-200 elemanı



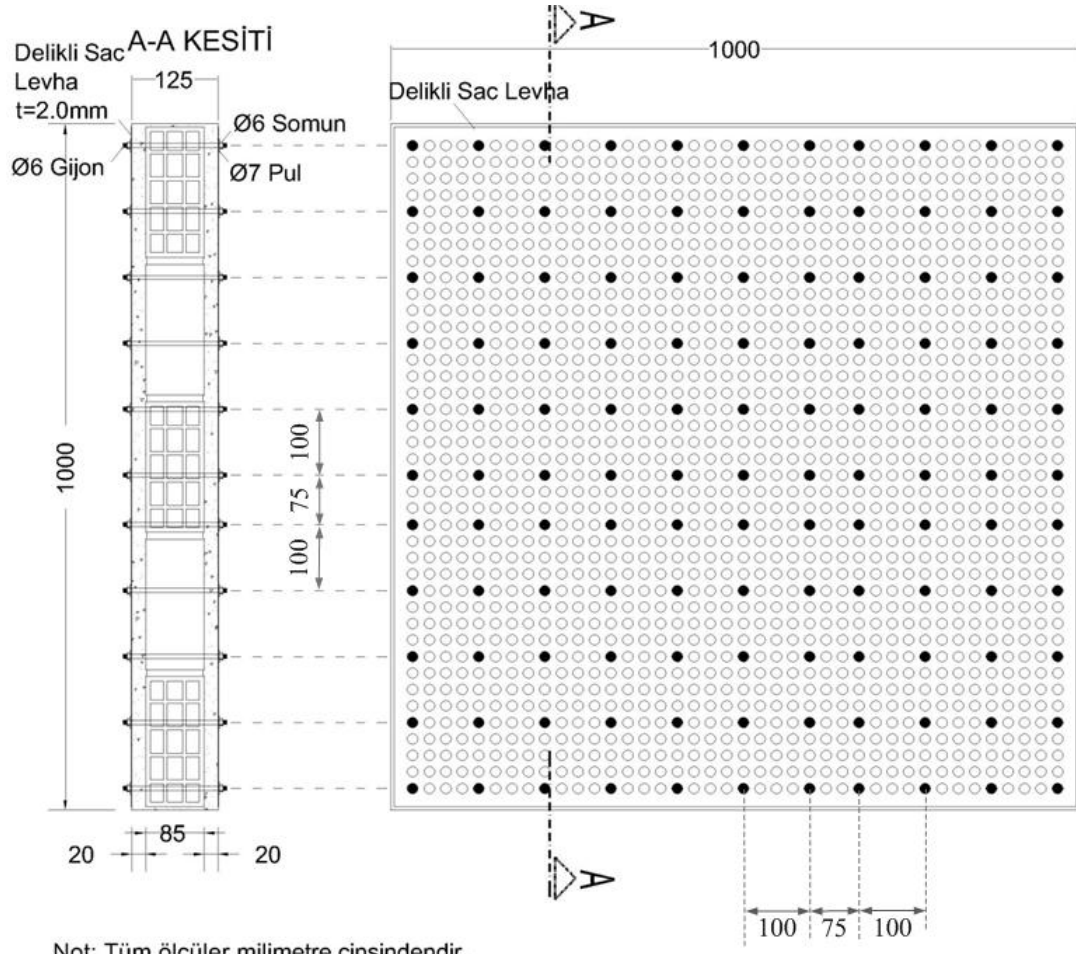
Şekil 3.9. S1.5-100 elemanı



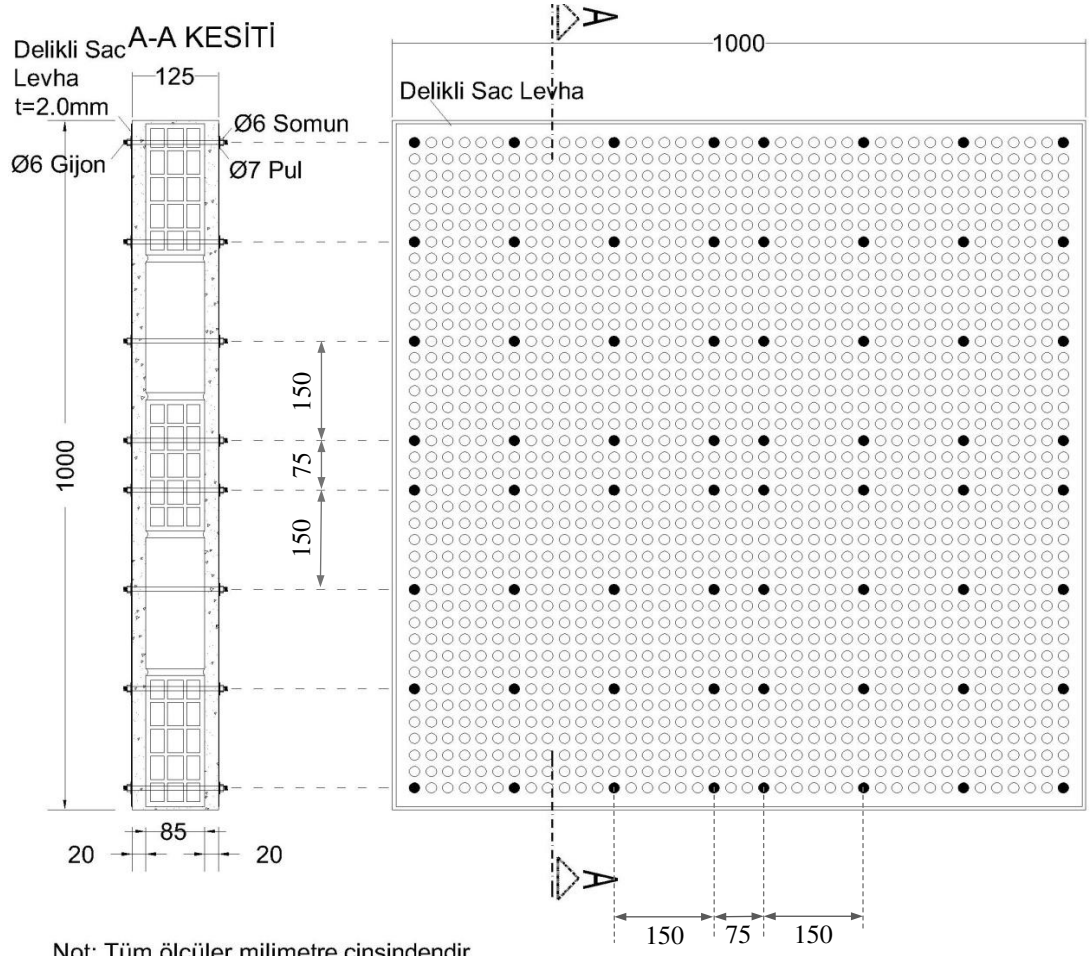
Şekil 3.10. S1.5-150 elemanı



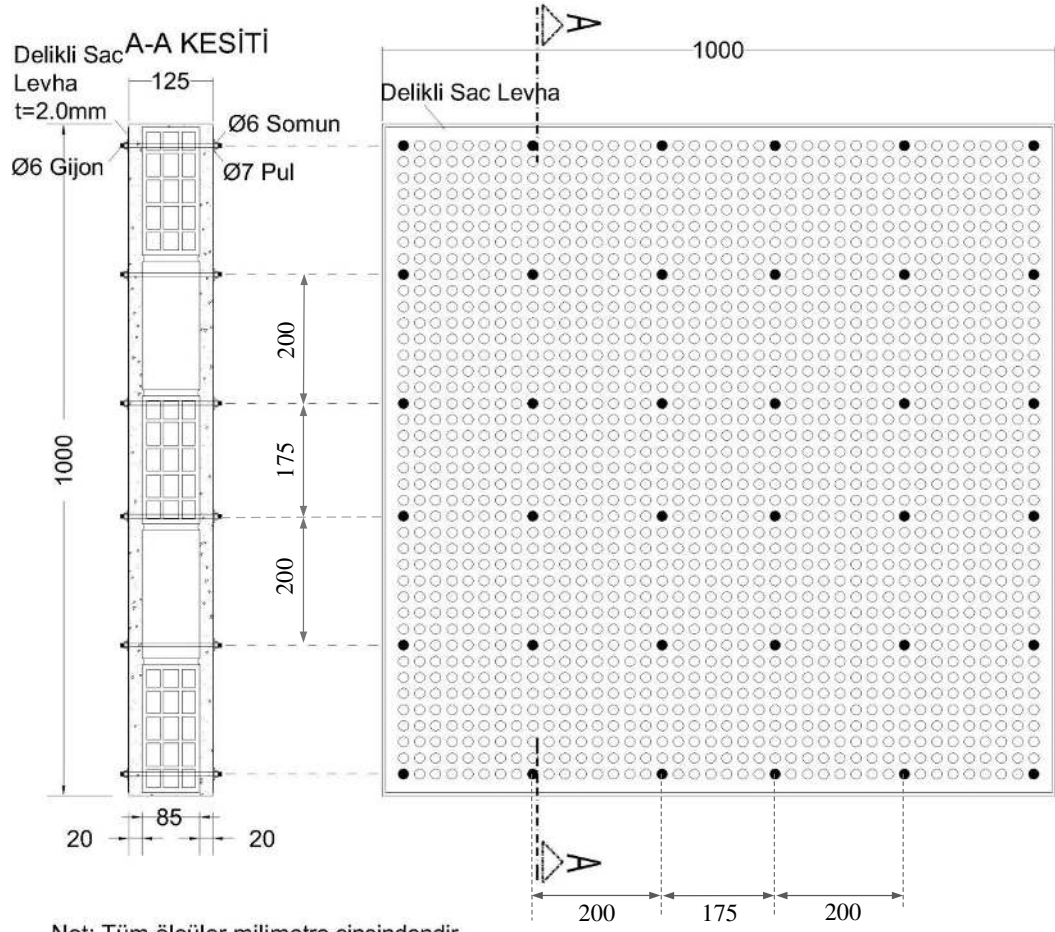
Şekil 3.11. S1.5-200 elemanı



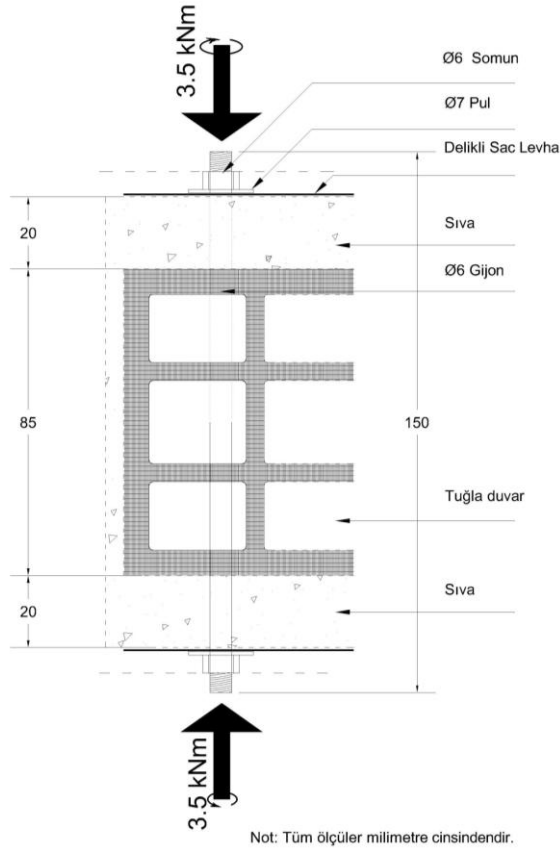
Şekil 3.12. S2.0-100 elemanı



Şekil 3.13. S2.0-150 elemanı



Şekil 3.14. S2.0-200 elemanı



Şekil 3.15. Delikli levha ve bulonların uygulanma detayları

3.3. Malzeme Özellik ve Dayanımları

Deney sonucunda elde edilen verileri karşılaştırmak ve sağlıklı sonuçlara ulaşabilmek için, tuğla duvarların yapımında kullanılan tuğlaların aynı malzemeden aynı şartlarda üretilmiş olmasına özen gösterilmiştir. Bu duvarlarda kullanılan tuğlaların basınç dayanımı deliklere paralel yönde 12,0 MPa, deliklere dik ve kısa yönde 2,8 MPa ve deliklere dik ve uzun yönde 3,2 MPa olarak ölçülmüştür. Yine elemanların güçlendirilmesinde aynı malzemeden aynı şartlarda üretilmiş delikli sac levhalar kullanılmıştır. Deney elemanlarının yapımında ve güçlendirilmesinde piyasada rahatlıkla temin edilebilen malzemeler kullanılarak, deney elemanlarının piyasa şartlarına uygun olması ve güçlendirme yönteminin ekonomik ve rahat uygulanabilir olması sağlanmıştır. Bütün deney elemanlarına aynı kür uygulanmıştır. Duvar ve sıva harcı “Takviyeli Harç” olup, karışım oranları Çizelge

3.2’de belirtilmiştir. Bu harçtan alınan 10x20 cm boyutlarındaki silindir numunelerin basınç deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 3.3’te verilmektedir. Delikli sac levha olarak, St 33-37 sınıfı çelik kullanılmıştır. Delikli sac levhaların duvara montajında Ø6 bulon ve somun ile Ø7 pul kullanılmıştır.

Çizelge 3.2. Duvar ve sıva harcı karışım miktarları

1 m ³ Harç	Malzeme Miktarı (kg)
Sıva Kumu	1400 kg
Kireç	375 kg
Çimento	250 kg
Su	150 kg

Çizelge 3.3. Malzeme deneyi sonuçları

Deney	Basınç dayanımı
1	43,12
2	31,77
3	40,69
4	39,88
5	46,21
6	48,40
7	38,75
8	51,44
9	42,00
10	46,60
11	33,30
12	39,15
13	39,15
14	41,68
15	43,07
Ortalama	41,68
D.K.	%12

3.4. Sac Levhaların Deney Elemanlarına Montajı ve Uygulama Tekniği

Güçlendirilmiş elemanların hepsinde aynı teknik kullanılarak, delikli sac levhalar tuğla duvarlara monte edilmiştir. İlk olarak, bulonların önceden belirlenmiş düzene uygun olarak yerleştirilebilmesi ve levhalardaki deliklerle duvardaki deliklerin denk gelebilmesi amacıyla, delikli levhalar duvar yüzeyine yerleştirilip sabitlendikten sonra duvarlarda 7 mm çapında delikler açılmıştır (Resim 3.5). Daha sonra, duvarın

en üst sırasından başlanarak her deliğe 15cm uzunluğunda Ø6 gijon geçirilmiştir. Bulonun iki tarafına birer Ø7 pul konduktan sonra, Ø6 somunlara 3,5 kNm'lik burulma momenti uygulanarak bulonlar duvara ankrajlanmıştır. Bu işlem en üst sıradan başlanarak sırasıyla en alt sıraya kadar inilerek tamamlanmıştır.

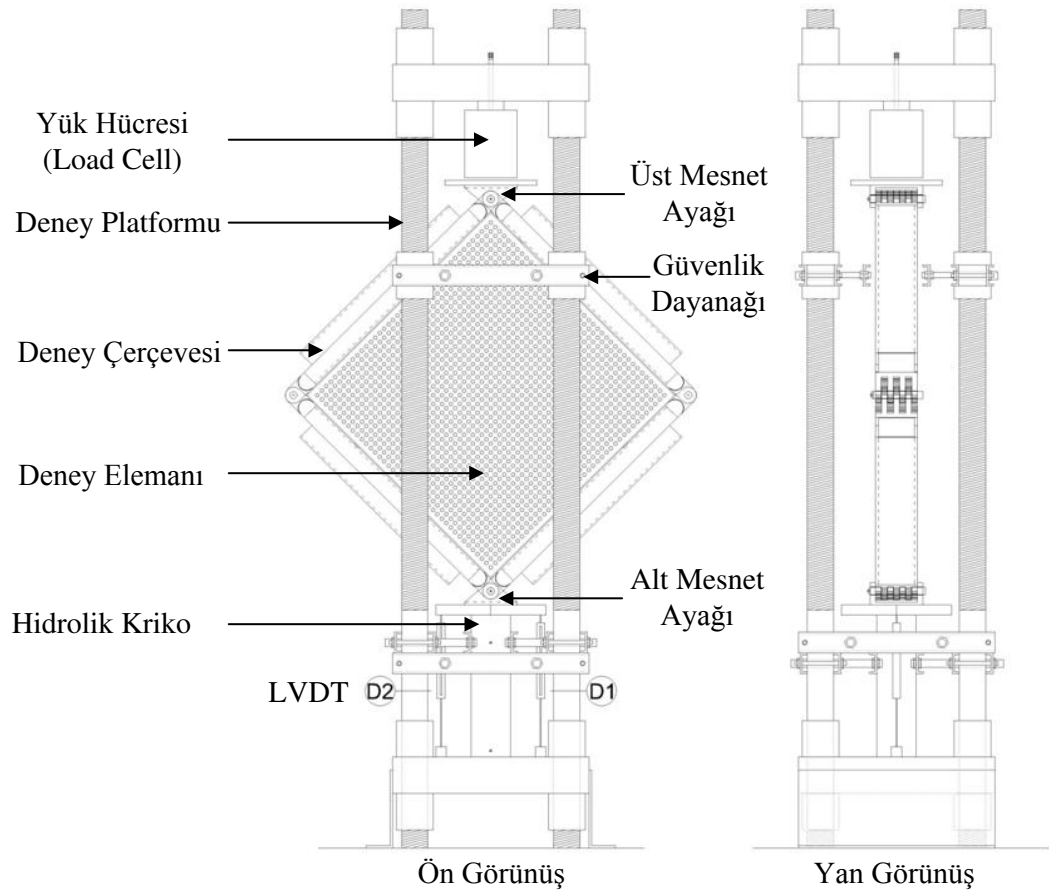


Resim 3.5. Deney elemanına deliklerin açılması

3.5. Deney Düzeni

3.5.1. Deney platformu ve deney çerçevesi

Deneyler Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünün Yapı Mekaniği Laboratuvarında, kapasitesi 4000 kN olan çelik deney platformunda gerçekleştirilmiştir. Bu deney için tasarlanarak imal edilen dört mafsallı deney çerçevesinin kapasitesi ise 600 kN'dur. Deney platformu ve bu platforma yerleştirilmiş olan deney çerçevesi Şekil 3.16'da gösterilmektedir. Deney çerçevesi içine yerleştirilen deney elemanları, deney platformunun alt rijit plakasına bağlanan elektronik pompalı bir hidrolik kriko yardımıyla yüklenmiş ve uygulanan yük deney platformunun üst rijit plakasına bağlanmış bir yük hücresi yardımıyla ölçülmüştür. Deney platformu ve deney çerçevesinin boyut ve detayları ile hidrolik kriko ile yük hücresinin deney platformuna bağlantı detayları Ek-1'de verilmektedir.



Şekil 3.16. Deney platformu ve deney çerçevesi

3.5.2. Yükleme düzeni

Yanal yüklere maruz kalan dolgu duvarlar birer eşdeğer basınç çubuğu gibi davranırlar ve sistem davranışına diyagonal yönde basınç kuvvetleri ileterek katkıda bulunurlar [33]. Bu çalışmada, dolgu duvarların yapı içerisindeki davranışını yansıtması amacıyla duvarlara diyagonal yönde basınç yükü uygulanmıştır. Deney çerçevesi iki köşesinden mafsallı olarak pandül ayak gibi, deney platformunun alt ve üst rijit tablalarına mesnetlenmiştir (Şekil 3.16). Rijit plaka üzerinden yükün uygulanabilmesi için, 2000 kN kapasiteli bir hidrolik kriko ile yük kontrolü için 1000 kN kapasiteli yük hücresi (load cell) simetri merkezleri çakışacak şekilde, deney platformuna yerleştirilerek sabitlenmişlerdir. Yüklemenin, her deneyde tamamen düzeneğin simetri ekseninden geçmesine titizlikle dikkat edilmiştir. Deney elemanları maksimum yük kapasitesine ulaşıncaya kadar yüklenmiş, maksimum

kapasiteye ulaştıktan sonra da yükte ani ve hızlı bir düşüş yaşanıncaya kadar yüklemeye devam edilmiştir.

3.5.3. Ölçüm düzeni

Deneylerde, yük ölçümü için 1000 kN kapasiteli bir yük hücresi ile düşey doğrultudaki deplasman ölçümleri için elektronik deplasman ölçerler (LVDT) kullanılmıştır (Şekil 3.16). Ölçülen değerler bir elektronik okuyucudan geçtikten sonra bilgisayara kaydedilmiştir. Ayrıca deneyler sırasında deney elemanındaki deplasmanlar ile yükün değişimi bilgisayar ekranından grafik olarak izlenmiştir. Her deney öncesinde LVDT'lerin kalibrasyonları kontrol edilmiştir. Ölçüm sisteminde toplam 2 adet LVDT kullanılmış ve her iki LVDT hidrolik kriko üstündeki rijit plakanın iki alt köşesindeki düşey deplasmanları ölçmek amacıyla kullanılmıştır (Şekil 3.16).

3.6. Deneyler

Çizelge 3.1'de özellikleri anlatılan deney numunelerinin deney çerçevesine yerleştirilmesi ve deney çerçevesinin de deney platformuna yerleştirilmesinden sonra, Şekil 3.16'de gösterilen deney düzenine, yükleme ve ölçüm aletlerinin de bağlanmasıyla deney hazır hale getirilmiştir. Deneyler sırasında yük-deplasman eğrileri de çizilmiş ve deneyin gelişimi adım adım izlenmiştir. Bu adımlar aşağıda anlatılmaktadır;

3.6.1. R (Yalın eleman) deneyi

Delikli çelik levhalarla güçlendirme yönteminin etkinliğinin araştırılması amacıyla, referans elemanı olarak güçlendirilmemiş R elemanı düzenlenmiş (Şekil 3.2) ve tekdüze diyagonal basınç yükü altında test edilmiştir (Resim 3.6).



Resim 3.6. Referans deney elemanının deneyden önceki durumu

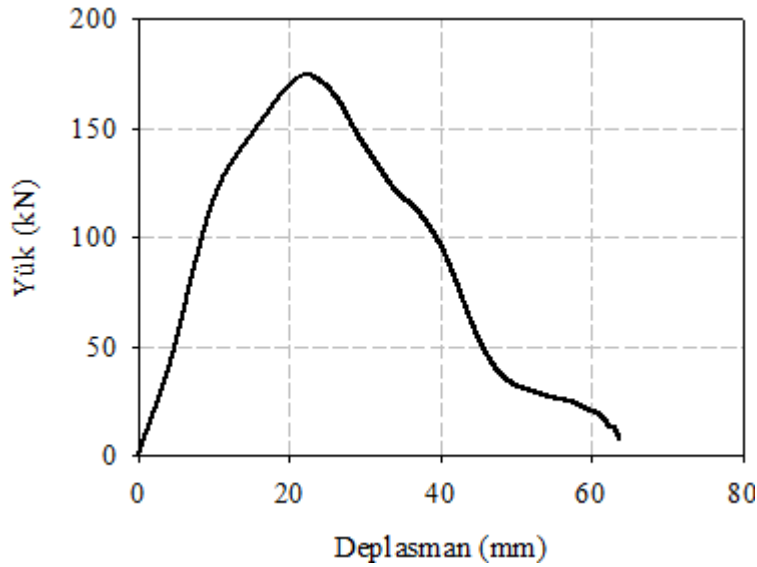
Yükleme başladıktan sonra, ilk çatlaklar 110 kN yük ve 8,5 mm deplasman değerinde sol köşe çevresinde ortaya çıkmıştır (Resim 3.7). 120 kN yük değerinde düşey yönde doğrusal çatlaklar oluşmuş ve 170 kN yük ve 21 mm deplasman değerinde alt ve üst köşerlerde ezilmeler meydana gelmiştir. Elemanın taşıdığı maksimum yüke (180 kN) 25 mm deplasman değerinde ulaşılmış ve daha sonra duvarın yük taşıma kapasitesinde önemli kayıplar meydana gelmiştir. Elemanın taşıdığı yük, 45 mm deplasman değerinde 50 kN'a kadar düşmüş ve bu yük değerinde duvarın ön yüzünde önemli ölçüde kabarma ve koparak düşmeler olmuştur. Deneye 30 kN yük ve 56 mm deplasmanda son verilmiştir (Resim 3.8). Güçlendirilmemiş referans elemanı kendi düzleminde son derece gevrek bir şekilde kırılmıştır. Referans elemanın yük-deplasman grafiği Şekil 3.17'de verilmektedir.



Resim 3.7. Referans deney elemanının başlangıç hasar durumu



Resim 3.8. Referans deney elemanının deney sonundaki hasar durumu



Şekil 3.17. Referans deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

3.6.2. S0.5-100 deneyi

Bu deney elemanının güçlendirilmesinde 0,5 mm kalınlığında sac levhalar kullanılmış ve bu levhalar duvara 10 cm aralıklı bulonlar yardımıyla sabitlenmiştir (Resim 3.9). Bu deneyde, 22 kN yük ve 20 mm deplasman değerinde levhaların alt ve üst köşelerinde buruşmalar olmuştur. 23 kN yük ve 23 mm deplasman değerine ulaşıldığında ise yük eksenine dik yöndeki bu buruşmalar dalgalanma şeklinde elemanın bütününe yayılmıştır. Bu buruşmalar, bulonlar arasında kalan levha kısımlarının düzlem dışına doğru burkulduğunu göstermektedir. 290 kN yük ve 33,5 mm deplasman değerinde yük eksenindeki alt ve üst köşelerde ezilmeler meydana gelmiştir. 300 kN yük ve 40 mm deplasman değerinde ise yük eksenindeki köşelerde oluşan ezilmeler nedeniyle pullar sac levhayı zorlamaya başlamıştır. Eleman maksimum yüke (360 kN) 73 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. 330 kN yük 110 mm deplasman değerinde yük eksenindeki üst köşede 2 adet bulon sac levhayı zımbalama şeklinde yırtarak sıyrılmış, fakat elemanın orta bölgeleri hasarsız kalmıştır. Deneyin devamında, deformasyonlar sonucu sac levha buruşmaları iç bölgeye doğru ilerlemekle birlikte, dayanımda önemli bir kayıp oluşmamıştır. Deneye 280 kN yük ve 154 mm deplasmanda son verilmiştir (Resim 3.10).

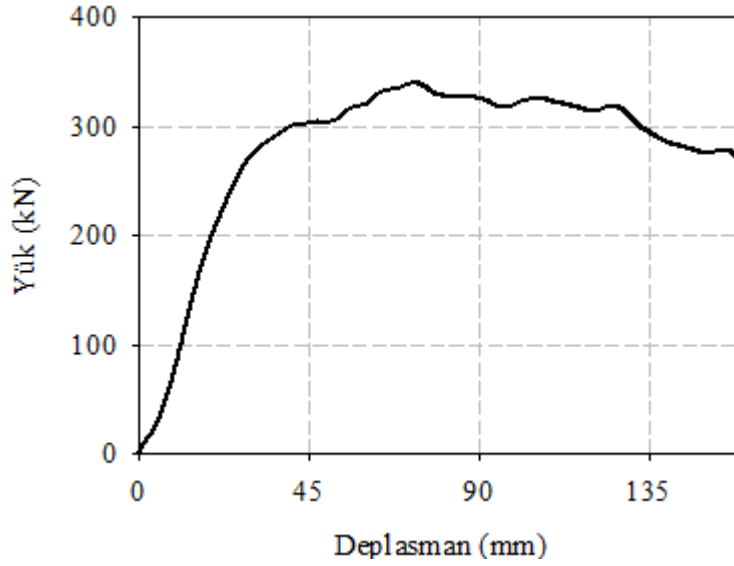


Resim 3.9. S0.5-100 elemanın deneyden önceki durumu



Resim 3.10. S0.5-100 deney elemanın deney sonundaki hasar durumu

Elemanın yük doğrultusundaki köşelerinde çok ileri düzeyde deformasyon olmasına rağmen, eleman gövdesinde gözle görünür düzeyde çatlak oluşmamış, eleman deney sonuna kadar dağılmayıp bütünlüğünü korumuş ve sünek davranış gerçekleştirmiştir. Bu elemanın yük-deformasyon eğrisi Şekil 3.18’de gösterilmektedir.



Şekil 3.18. S0.5-100 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

3.6.3. S0.5-150 deneyi

Bu elemanın güçlendirilmesinde 0,5 mm kalınlığında sac levhalar kullanılmış ve bu levhalar tuğla duvara 15 cm aralıklı bulonlarla sabitlenmiştir (Resim 3.11). Deney elemanında, 160 kN yük ve 17 mm deplasman değerinde yük doğrultusundaki üst ve alt köşelerde küçük buruşmalar oluşmuştur. 240 kN yük ve 30 mm deplasman değerinde yük doğrultusundaki alt köşede levha buruşması artmış, duvarda da küçük ezilmeler meydana gelmiştir. Deneyin devamında levha buruşmaları artarak, elemanın orta bölgelerine doğru dalgalanma şeklinde yayılmıştır. Elemanın taşıdığı maksimum yük değerine (285 kN) 80 mm deplasman değerinde ulaşılmıştır. Maksimum yüke ulaşıldıktan sonra, yük eksenindeki köşelerde deformasyonlar sonucu bulon sıyrılmaları başlamıştır. 200 kN yük ve 156 mm deplasman değerinde dayanım kayıpları devam etse de, S0.5-100 elemanı deney sonuna kadar referans elemanından daha yüksek dayanımlar göstermeye devam etmiştir. 190 kN yük ve

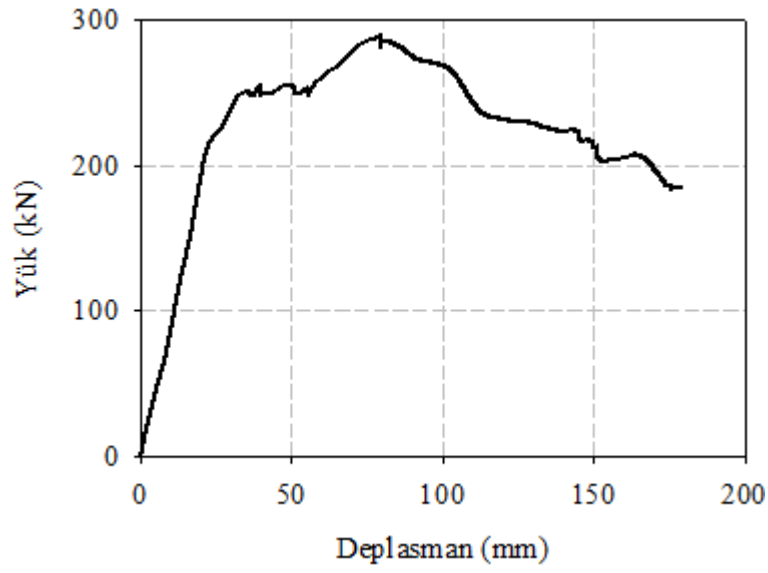


Resim 3.11. S0.5-150 deney elemanının deney öncesi durumu

180 mm deplasman değerinde iki LVDT'nin de ölçüm kapasitesi tükenmiştir. 190 kN yükte kriko boyu 220 mm'ye ulaşmış olmasına rağmen, elemanın orta bölgelerinde halen gözle görünür hasar oluşmamıştır ve bu yükte deneye son verilmiştir (Resim 3.12). Güçlendirilmiş elemanın yük doğrultusundaki köşelerinde çok ileri düzeyde deformasyon oluşmasına rağmen, eleman deney sonuna kadar dağılmayarak bütünlüğünü korumuş ve sünek davranış gerçekleştirmiştir. Bu elemanın yük-deformasyon eğrisi Şekil 3.19'da gösterilmektedir.



Resim 3.12. S0.5-150 deney elemanının deney sonundaki hasar durumu



Şekil 3.19. S0.5-150 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

3.6.4. S0.5-200 deneyi

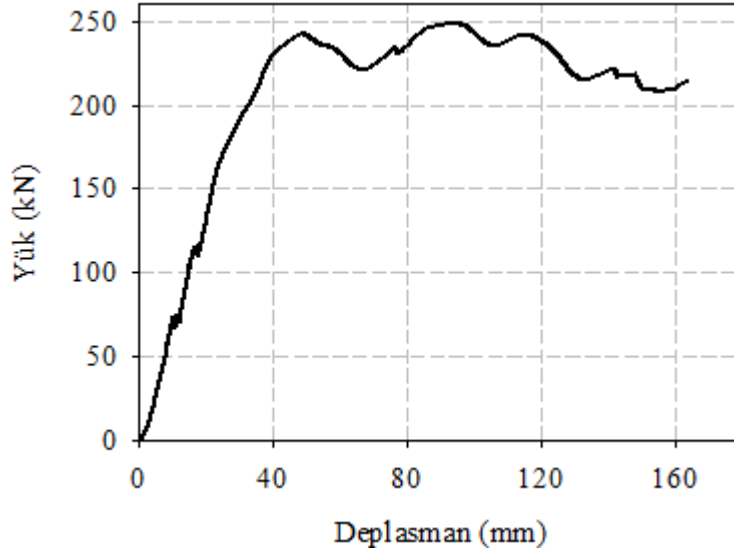
Bu elemanın güçlendirilmesinde 0,5 mm kalınlığında sac levhalar kullanılmış ve bu levhalar 20 cm aralıklı bulonlar yardımıyla tuğla duvara sabitlenmiştir (Resim 3.13). Deney elemanında 245 kN yük ve 51 mm deplasman değerinde yük doğrultusundaki köşelerde levha buruşmaları oluşmaya başlamıştır. 235 kN yük ve 63 mm deplasman değerinde yük doğrultusundaki alt ve üst köşelerde ezilmeler oluşmakla birlikte, 225 kN yük ve 73 mm deplasmanda elemanın dayanımı tekrar artamaya başlamıştır. Elemanın taşıdığı maksimum yük (250 kN) değerine 94 mm deplasmanda ulaşılmıştır. Deneyin devamında yük doğrultusundaki köşelerde ezilmeler devam etmekle birlikte, levha buruşmaları da yük eksenindeki köşelerin alt kısmında bulon zımbalaması şeklinde yırtılmalara dönüşmüştür. Ancak, elemanın orta bölgesinde gözle görünür hasar oluşmamıştır. Kriko boyu 235 mm iken, yük 175 kN seviyelerinde kalmıştır. 170 kN yükte deney sona erdirilmiştir (Resim 3.14). Bu elemanın yük-deplasman eğrisine bakıldığında (şekil 3.20), deney elemanının bulonların daha sık olduğu S0.5-100 ve S0.5-150 elemanlarından farklı olarak, bulonların sıyrılması ve levhaların buruşmasından daha fazla etkilendiği görölmektedir. Bu deney, bulonların sıklığı azaldıkça bulonların sıyrılması sonucu dayanımda ortaya çıkan kayıpların daha fazla olduğunu ve bu esnada yük-deplasman eğrisinde ortaya çıkan vadilerin daha derin olduğunu göstermiştir. Bu duvarın yük doğrultusundaki köşelerinde S05-100 ve S0.5-150 elemanları gibi çok ileri düzeyde deformasyon oluşmasına rağmen, deney sonuna kadar eleman dağılmayarak bütönlüğünü korumuş ve sünek davranış gerçekleştirmiştir.



Resim 3.13. S0.5-200 deney elemanının deney öncesi durumu



Resim 3.14. S0.5-200 deney elemanının deney sonundaki hasar durumu



Şekil 3.20. S0.5-200 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

3.6.5. S1.0-100 deneyi

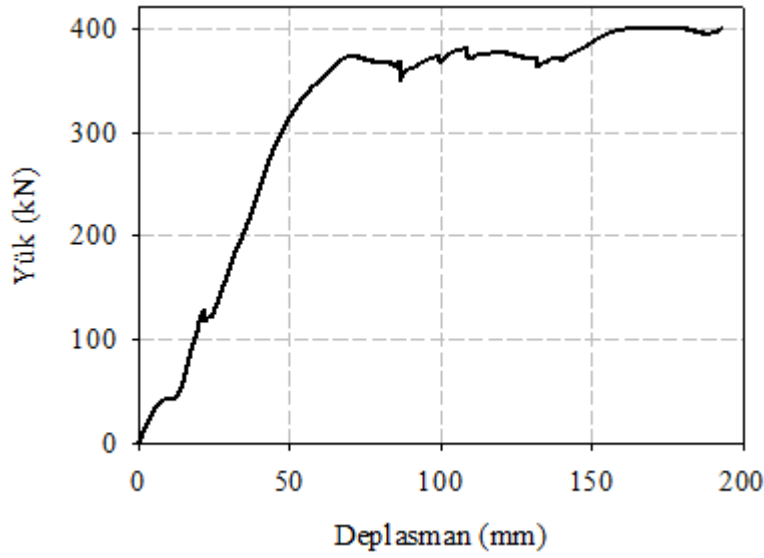
Bu dolgu duvarın güçlendirilmesinde 1,0 mm kalınlığında sac levhalar kullanılmış ve bu levhalar dolgu duvara 10 cm aralıklı bulonlar yardımıyla sabitlenmiştir (Resim 3.15). Bu deney elemanında 300 kN yük ve 48 mm deplasman değerinde yük doğrultusundaki köşelerde küçük buruşmalar oluşmuştur. 370 kN yük ve 78 mm deplasmanda buruşmaların artması haricinde elemanda hasar oluşmamıştır. Elemanın taşıdığı maksimum yüke (400 kN) 176 mm deplasmanda ulaşılmıştır. 390 kN yük ve 238 mm deplasmanda yük eksenindeki köşelerde levha buruşmaları olmakla birlikte, eleman orta bölgelerinde gözle görünür hasar oluşmamış ve önemsenecek oranda yük kaybı görülmemiş olarak deney sonlandırılmıştır (Resim 3.16). Bu eleman 0,5 mm kalınlığında levhalarla güçlendirilmiş deney elemanlarına göre daha yüksek dayanımlara ulaşmış ve deney sonuna kadar bütünlüğünü koruyarak sünek bir davranış göstermiştir. Deney elemanının yük-deplasman eğrisi Şekil 3.21’de gösterilmektedir.



Resim 3.15. S1.0-100 deney elemanının deney öncesi durumu



Resim 3.16. S1.0-100 deney elemanının deney sonundaki hasar durumu



Şekil 3.21. S1.0-100 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

3.6.6. S1.0-150 deneyi

Bu deney elemanının güçlendirilmesinde 1,0 mm kalınlığında sac levhalar kullanılmış ve bu levhalar 15 cm aralıklı bulonlarla duvara sabitlenmiştir (Resim 3.17). Üretim veya yerleştirme esnasındaki işçilik hataları sebebiyle elemanın çerçeveye düzgün olarak yerleştirilememesi sonucu, yük elemana simetrik olarak uygulanamamış ve eleman beklenen dayanım değerlerine ulaşamamıştır. Bu sebeplerle, deney sonuçları elemanın tekdüze diyagonal basınç yükü altındaki davranışını yansıtmamıştır.

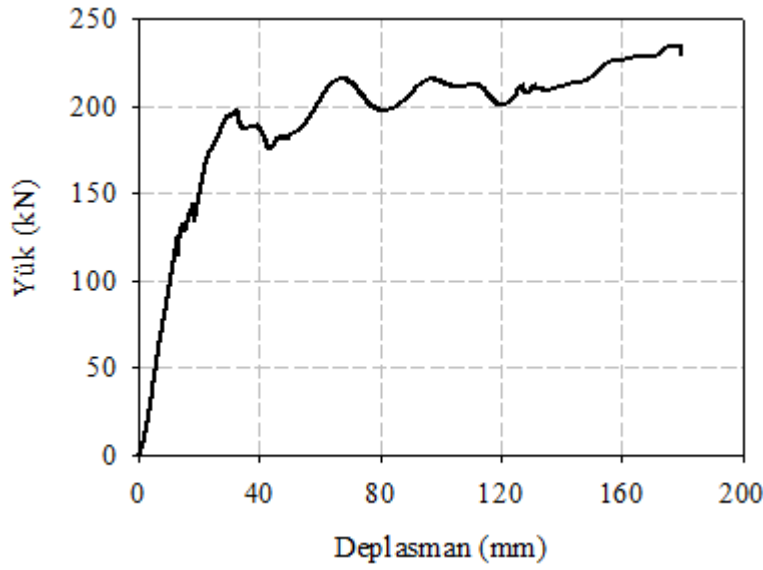
Bu deney elemanında, 150 kN yük ve 34 mm deplasman değerinde yük doğrultusundaki köşelerde sac buruşması ve duvarda ezilme olmuştur. 215 kN yük ve 142 mm deplasmanda levhalardaki buruşma ve duvardaki ezilmeler ileri düzeye ulaşmış olmakla birlikte, elemanın orta bölgelerinde gözle görünür hasar oluşmamıştır (Resim 3.18). Elemanın taşıdığı maksimum yüke (240 kN) 193 mm deplasmanda ulaşılmıştır. Bu aşamada LVDT'lerin kapasitesi dolduğundan deneye son verilmiştir. Şekil 3.22'de görüldüğü üzere eleman deney şartlarının uygun olmaması sebebiyle köşelerde ileri düzeyde hasara uğramasına rağmen deney sonuna kadar bütünlüğünü korumuş ve sünek bir davranış göstermiştir.



Resim 3.17. S1.0-150 deney elemanının deney öncesi durumu



Resim 3.18. S1.0-150 deney elemanının deney sonundaki hasar durumu



Şekil 3.22. S1.0-150 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

3.6.7. S1.0-200 deneyi

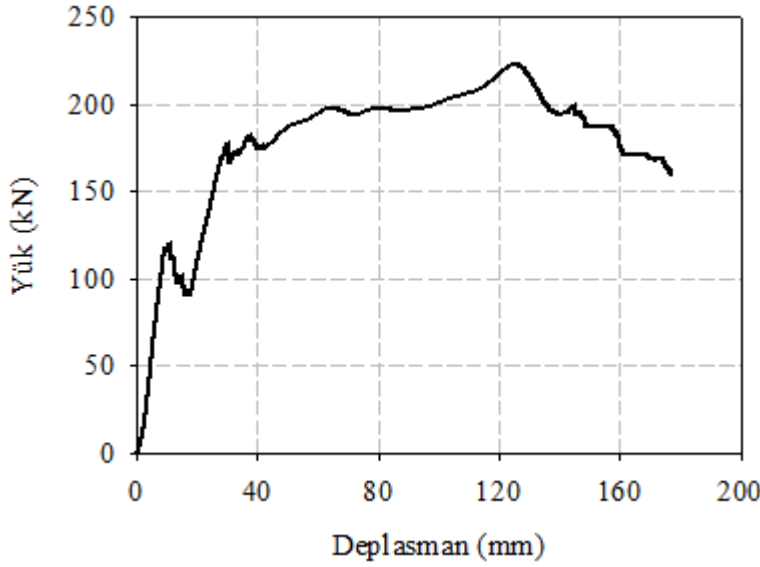
Bu elemanın güçlendirilmesinde 1,0 mm kalınlığında sac levhalar kullanılmış ve bu levhalar duvara 20 cm aralıklı bulonlarla sabitlenmiştir (Resim 3.19). Bu deney elemanında, 130 kN yük ve 21 mm deplasman değerinde yük eksenine doğrultusundaki köşelerde levha buruşmaları şeklinde küçük deformasyonlar oluşmuştur. 205 kN yük ve 66 mm deplasmanda yük doğrultusundaki köşelerde buruşmaların artması dışında elemanda başka gözle görünür hasar oluşmamıştır. Elemanın taşıdığı maksimum yük (237 kN) değerine 135 mm deplasmanda ulaşılmıştır. 180 kN yük ve 186 mm deplasmanda alt köşedeki bulon zımbalama şeklinde levhayı yırtmıştır. 175 kN yük ve 225 mm deplasmanda deney sonlandırılmıştır (Resim 3.20). Bu elemanın yük-deplasman eğrisine bakıldığında (Şekil 3.23), eleman 125 kN yük değerine ulaştığı anda ani bir dayanım kaybı meydana geldiği ve bu ani kaybın elemanın beklenen dayanım değerlerine ulaşmasını engellediği görülmektedir. 125 kN yük seviyesinde meydana gelmiş olan bu ani yük kaybının sebebinin yük doğrultusundaki alt ve üst köşelerdeki levhaların erken burkulması olduğu düşünülmektedir.



Resim 3.19. S1.0-200 deney elemanının deney öncesi durumu



Resim 3.20. S1.0-200 deney elemanının deney sonundaki hasar durumu



Şekil 3.23. S1.0-200 deney elemanı yük-deplasman ilişkisi

3.6.8. S1.5-100 deneyi

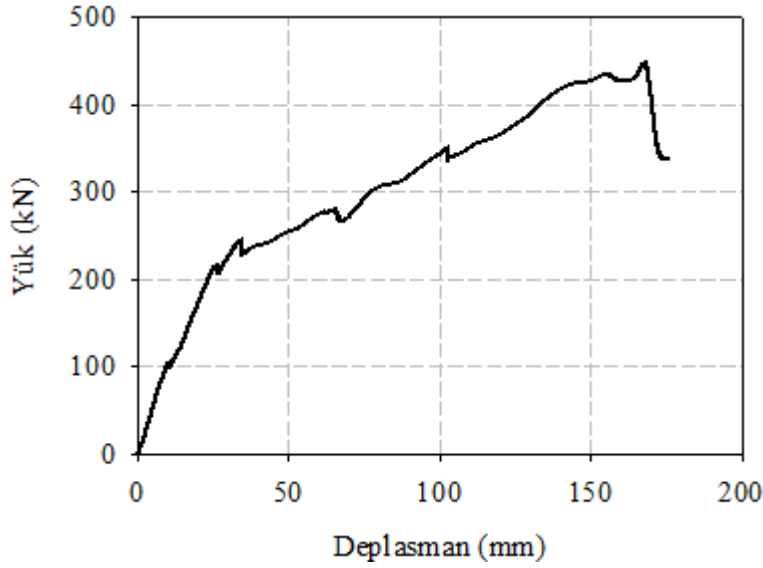
Bu elemanın güçlendirilmesinde 1,5 mm kalınlığında sac levhalar kullanılmış ve bu levhalar duvara 10 cm aralıklı bulonlarla sabitlenmiştir (Resim 3.21). Bu deney elemanına yük uygulandıktan sonra 20 kN yük ve 13 mm deplasmana kadar, üretim veya yerleştirme kaynaklı işçilik hataları nedeniyle çerçeve ile eleman arasında oluşan boşluklar kapanmıştır. Yük verildikten sonra, 260 kN yük ve 55 mm deplasman değerinde yük doğrultusundaki köşelerde levha buruşmaları dışında elemenda başka hasar gözlenmemiştir. 290 kN yük ve 86 mm deplasmanda yük doğrultusundaki köşelerde ezilmeler olmuştur. 340 kN yük ve 110 mm deplasmanda bulon sıyrılmaları başlamıştır. Elemanın taşıdığı maksimum yüke (466 kN) 190 mm deplasmanda ulaşılmıştır. 340 kN yük ve 240 mm deplasmanda deney sonlandırılmıştır. Deney sonunda, yük eksenindeki köşe levhalar tamamen buruşmuştur. Buna rağmen orta bölgelerde gözle görünen hasar oluşmayıp, dayanım kaybı da oldukça az olmuştur (Resim 3.22). Deney elemanları içinde en yüksek dayanıma bu eleman ulaşmıştır. Eleman deney sonuna kadar dağılmayarak bütünlüğünü korumuş ve sünek davranış gerçekleştirmiştir (Şekil 3.24).



Resim 3.21. S1.5-100 deney elemanının deney öncesi durumu



Resim 3.22. S1.5-100 deney elemanının deney sonundaki hasar durumu



Şekil 3.24. S1.5-100 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

3.6.9. S1.5-150 deneyi

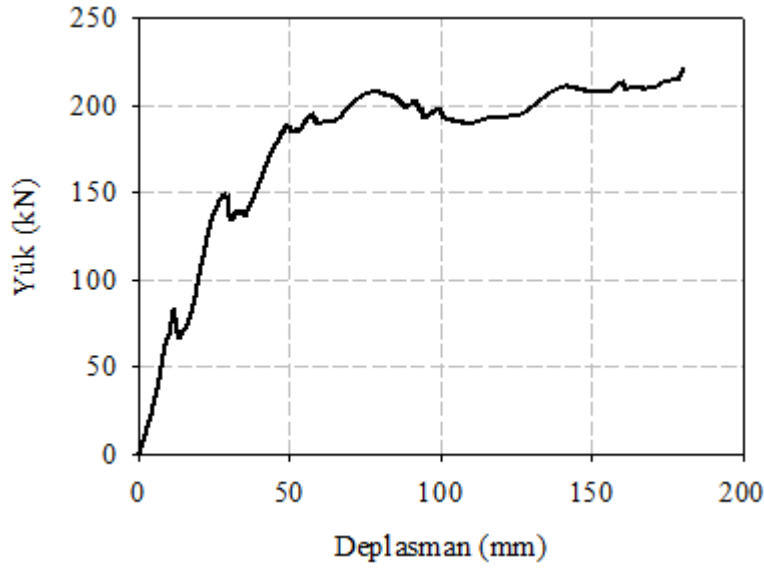
Bu elemanın güçlendirilmesinde 1,5 mm kalınlığında sac levhalar kullanılmış ve bu levhalar duvara 15 cm aralıklı bulonlarla sabitlenmiştir (Resim 3.23). Bu deney elemanına yük uygulandıktan sonra, 150 kN yük ve 39 mm deplasmanda yük doğrultusundaki köşe levhalarda küçük buruşmalar oluşması dışında, elemanda gözle görülen hasar olmamıştır. 200 kN yük ve 94 mm deplasmanda yük doğrultusundaki köşe levhalarda buruşmalar artmıştır. Elemanın taşıdığı maksimum yüke (240 kN) 220 mm deplasmanda ulaşılmıştır. 240 kN yük ve 220 mm deplasmanda düzeneğin kapasitelerinin aşılması sebebiyle deney sonlandırılmış olmakla birlikte, elemandaki taşıma gücü artışının devam ettiği ve yük eksenı doğrultusundaki köşelerde levha buruşmaları ve duvar ezilmeleri oldukça fazla olmasına rağmen, elemanın orta bölgelerinde gözle görünür hasar oluşmadığı gözlemlenmiştir (Resim 3.24). Şekil 3.25'te verilen yük-deplasman eğrisi, elemanın deney sonunda kadar sünek davrandığını göstermektedir.



Resim 3.23. S1.5-150 deney elemanının deney öncesi durumu



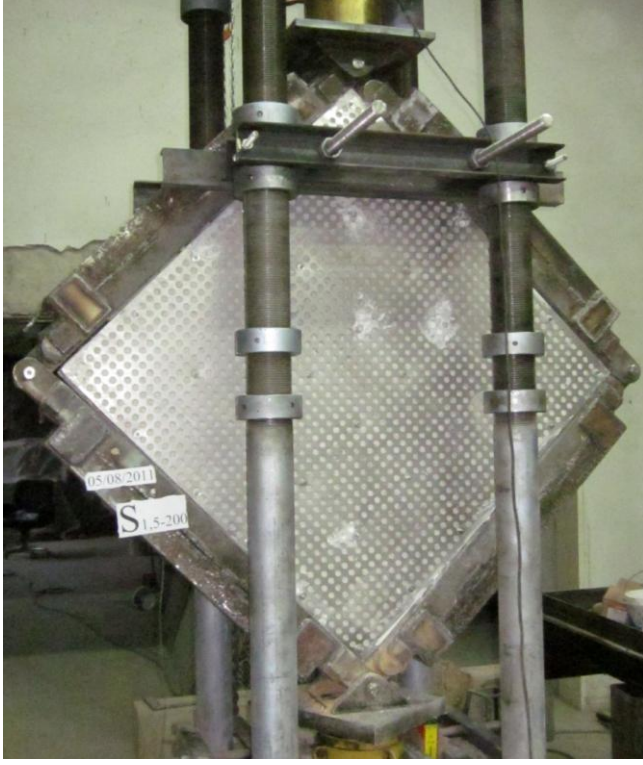
Resim 3.24. S1.5-150 deney elemanının deney sonundaki hasar durumu



Şekil 3.25. S1.5-150 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

3.6.10. S1.5-200 deneyi

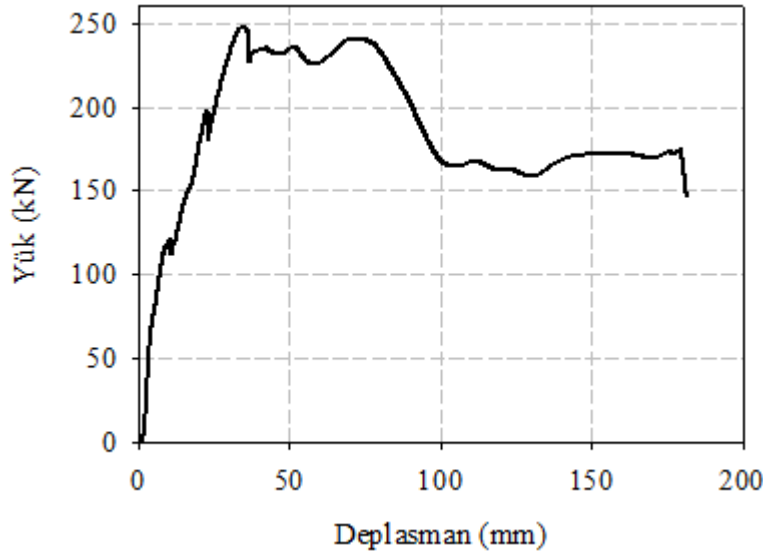
Bu elemanın güçlendirilmesinde 1,5 mm kalınlığında sac levhalar kullanılmış ve bu levhalar duvara 20 cm aralıklı bulonlarla sabitlenmiştir (Resim 3.25). Bu deney elemanında, 175 kN yük ve 166 mm deplasmanda yük doğrultusundaki köşelerde levha buruşmaları oluşması dışında başka hasar gözlenmemiştir (Resim 3.26). Elemanın taşıdığı maksimum yüke (244 kN) 71 mm deplasmanda ulaşılmıştır. Elemanın yük doğrultusundaki köşelerinde çok ileri düzeyde deformasyon oluşmasına rağmen, gövdesinde gözle görünür herhangi bir çatlak oluşmamış, deney sonuna kadar dağılmayarak bütünlüğünü korumuş ve sünek davranış gerçekleştirmiştir (Şekil 3.26).



Resim 3.25. S1.5-200 deney elemanının deney öncesi durumu



Resim 3.26. S1.5-200 deney elemanının deney sonundaki hasar durumu



Şekil 3.26. S1.5-200 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

3.6.11. S2.0-100 deneyi

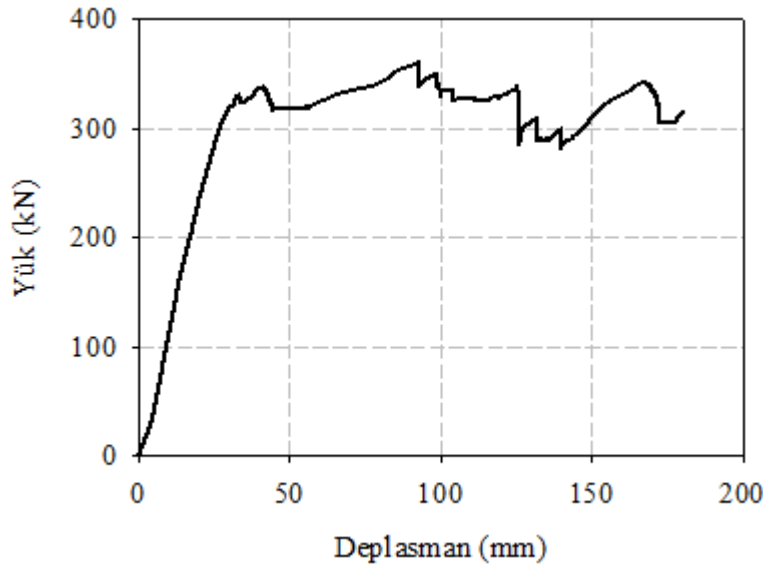
Bu elemanın güçlendirilmesinde 2,0 mm kalınlığında sac levhalar kullanılmış ve bu levhalar duvara 10 cm aralıklı bulonlarla sabitlenmiştir (Resim 3.27). Bu deney elemanında, 190 kN yük ve 15 mm deplasman değerinde yük doğrultusundaki alt köşede somunlardan biri bulondan sıyrılmıştır. 250 kN yük ve 21 mm deplasmanda üst köşedeki levhada buruşmalar oluşmuştur. 330 kN yük ve 31 mm deplasmanda yük doğrultusundaki köşelerde sac levha buruşmaları artarak devam etmiştir (Resim 3.28). Elemanın taşıdığı maksimum yüke (360 kN) 90 mm deplasmanda ulaşılmıştır. 90 mm deplasman ve 360 kN yükte eleman iç bölgeleri halen hasarsız durumda kalmış olmakla birlikte, yük eksenindeki köşelerde bulon sıyrılması ve kopmaları oluşmuştur. Bulon kopması veya sıyrılması sebebiyle yükte ani düşmeler meydana gelmesine rağmen, eleman her defasında tekrar yük alarak bir önceki maksimum seviyenin üstüne çıkmıştır. 330 kN yük ve 161 mm deplasmanda LVDT kapasitesinin tükenmesi sebebiyle deney sonlandırılmış olmakla birlikte, elemandaki taşıma gücü artışının devam ettiği izlenmiş olup, deney süresince de taşıma gücünde önemli bir kayıp görülmemiştir (Şekil 3.27)



Resim 3.27. S2.0-100 deney elemanının deney öncesindeki durumu



Resim 3.28. S2.0-100 deney elemanının deney sonundaki hasar durumu



Şekil 3.27. S2.0-100 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

3.6.12. S2.0-150 deneyi

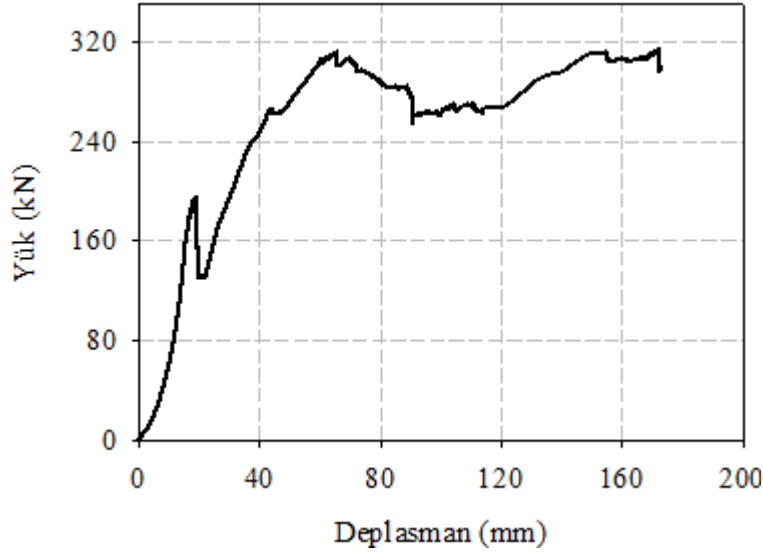
Bu elemanın güçlendirilmesinde 2,0 mm kalınlığında sac levhalar kullanılmış ve bu levhalar duvara 15 cm aralıklı bulonlarla sabitlenmiştir (Resim 3.29). Bu deney elemanında, 70 kN yük ve 23 mm deplasman değerinde yük eksenine doğrultusundaki köşe levhalarda küçük buruşmalar olmakla birlikte, elemanın orta bölgelerinde gözle görünür hasar olmamıştır. 160 kN yük ve 28 mm deplasmanda yük doğrultusundaki köşelerde levha buruşmaları belirginleşmiştir. 185 kN yük ve 30 mm deplasmanda eleman üst köşesinde ezilmeler başlamıştır. Elemanın taşıdığı maksimum yüke (310 kN) 75 mm deplasmanda ulaşılmıştır. 262 kN yük ve 107 mm deplasmanda bir adet bulon kopmuştur. 185 mm deplasman ve 190 kN yükte bulon kopmaları olmakta iken, LVDT'lerin kapasitelerinin de tükenmesi sebebiyle deplasman ölçümleri okunamadığından deneye son verilmiştir. (Resim 3.30). Bu elemanda 190 kN yük seviyesinde meydana gelen ani yük düşüşünün, S1.0-200 elemanında olduğu gibi bulon aralıklarının fazla olması sebebiyle sac levhaların erken burkulması olduğu düşünülmektedir (Şekil 3.28).



Resim 3.29. S2.0-150 deney elemanının deney öncesindeki durumu



Resim 3.30. S2.0-150 deney elemanının deney sonundaki hasar durumu



Şekil 3.28. S2.0-150 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

3.6.13. S2.0-200 deneyi

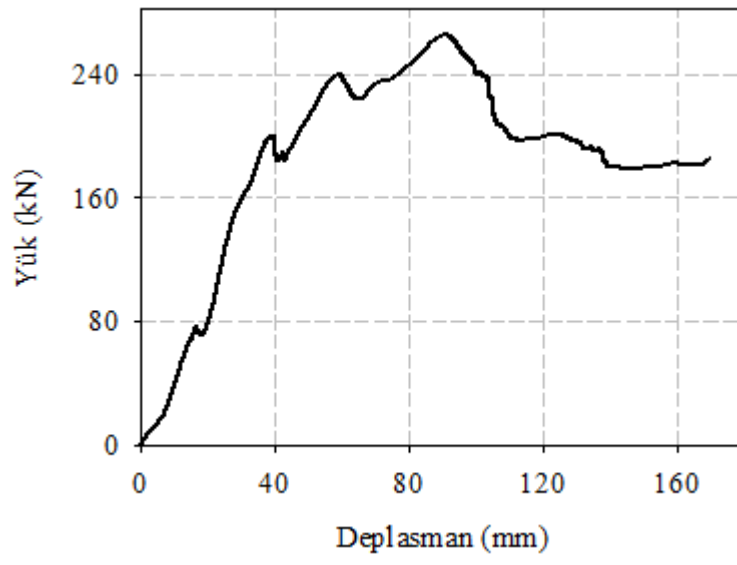
Bu elemanın güçlendirilmesinde 2,0 mm kalınlığında sac levhalar kullanılmış ve bu levhalar duvara 20 cm aralıklı bulonlarla sabitlenmiştir (Resim 3.31). Bu deney elemanında, 160 kN yük ve 29 mm deplasmanda elemanın yük eksenini doğrultusundaki alt ve üst köşelerindeki sac levhalarda buruşma, duvarda ise ezilmeler meydana gelmeye başlamıştır. Elemanın taşıdığı maksimum yüke (260 kN) 86 mm deplasman değerinde ulaşılmıştır. 240 kN yük ve 100 mm deplasmanda yük doğrultusundaki köşelerdeki ezilme ileri düzeye çıkmış olup, birkaç bulon sıyrılması da oluşmuştur (Resim 3.32). 190 kN yük ve 175 mm deplasmanda deney sonlandırılmış olmakla birlikte, son dayanım yükünün halen referans elemanın dayanım yükünden fazla olduğu görülmüştür (Şekil 3.29).



Resim 3.31. S2.0-200 deney elemanının deney öncesindeki durumu



Resim 3.32. S2.0-200 deney elemanının deney sonundaki hasar durumu



Şekil 3.29. S2.0-200 deney elemanının yük-deplasman ilişkisi

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Genel

Bu bölümde, 3. bölümde anlatılan sistem ve yöntemlerle gerçekleştirilen deneyler neticesinde elde edilen bilgiler, taşıma güçlerine, süneklik oranlarına ve enerji tüketme kapasitelerine göre değerlendirilerek uygun olanlar arasında karşılaştırmalar yapılacaktır. Karşılaştırmalar çizelgeler ve grafiklerle ifade edilecektir.

4.2. Taşıma gücü

Bu çalışma kapsamında uygulanan güçlendirme yönteminin dolgu duvarların taşıma gücüne yapacağı katkı iki yönlüdür. Delikli çelik levhalar, dolgu duvarda yanal yükler altında ortaya çıkan diyagonal yöndeki çekme gerilmelerini karşılayarak duvarın çatlamasından sonra dahi taşıdığı yükün artmasını sağlamaktadır. Ayrıca, bulonlarla sac levha üzerinden verilen 3,5 kNm değerindeki burulma momentinin oluşturduğu yanal basıncın da duvar üzerindeki sargılama etkisi nedeniyle duvarın basınç dayanımını ve bu sayede taşıma gücünü arttırdığı bilinmektedir. Deney elemanlarının taşıma güçlerine deney düzeneğinin limitlerinin aşılması dolayısıyla ulaşamadığı durumlarda grafikteki son okunan yük değeri P_u (taşıma kapasitesi) olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 4.1, deney elemanlarının taşıma kapasitelerini ve her deney elemanının taşıma gücünün referans elemanın taşıma gücüne oranını vermektedir. Bu çizelge, güçlendirilmiş bütün deney elemanlarının taşıma güçlerinin referans elemanın en az % 33 üstünde olduğunu göstermektedir. Deney elemanları arasında en yüksek dayanıma S1.5-100 elemanı ulaşmıştır. Bu elemanın S2.0-100 elemanından daha yüksek yük değerlerine ulaşmış olmasının nedeni, S2.0-100 elemanının deneyinde deplasman ölçüm aletlerinin yetersiz kalması nedeniyle eleman tam kapasiteye ulaşmadan deneyin bitirilmiş olmasıdır. Bu çalışma, uygun levha kalınlığı ve bulon aralığı kullanılması durumunda bu güçlendirme tekniğiyle tuğla dolgu duvarların

Çizelge 4.1. Deney elemanlarının deneysel taşıma güçleri

Eleman	P_u (kN)	P_u/P_{ru}
R	180	1.00
S0.5-100	350	1.94
S0.5-150	285	1.58
S0.5-200	250	1.39
S1.0-100	400	2.22
S1.0-150	240	1.33
S1.0-200	237	1.32
S1.5-100	466	2.59
S1.5-150	240	1.33
S1.5-200	244	1.36
S2.0-100	360	2.00
S2.0-150	310	1.72
S2.0-200	260	1.44

tekdüze diyagonal basınç kapasitelerinin %150'nin üzerinde arttırılabileceğini göstermiştir.

Aynı sac kalınlığına sahip elemanların deney sonuçları kıyaslandığında, bulon aralığı arttıkça elemanın taşıma gücünün azaldığı görülmektedir. Sac levhaları duvara bağlayan bulonların aralıkları arttıkça, levhaların desteklenmemiş boyları da artmakta ve bulonlar arasında kalan levha parçalarının burkulmaları kolaylaşmaktadır. Bu sebeple, bulon aralıkları arttıkça levhalar daha düşük yük seviyelerinde burkularak güçlendirilmiş dolgu duvarın dayanımına yaptıkları katkıyı yitirmektedir. Sac levhaların katkısının daha çabuk yitirilmesinden dolayı bulon aralıkları fazla olan duvarlar daha düşük yük seviyelerinde göçmektedir.

Bu çalışmada, sac levha kalınlığının deney elemanının taşıma gücüne etkisinin bulon aralığı kadar büyük olmadığı görülmüştür. Bulon aralığının 10 cm olduğu deney elemanlarında levha kalınlığının artmasıyla eleman taşıma gücünde kayda değer

artışlar gözlenmiş olsa da, bulon aralığının 15 cm ve 20 cm olduğu deney elemanlarında levha kalınlığının artmasıyla eleman taşıma gücünde küçük artışlar, hatta bazı durumlarda azalmalar olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, levha kalınlığının artmasının eleman dayanımı üzerindeki olumlu etkisinin ancak levhalar duvara yeterli sayıda bulon aracılığıyla bağlandığı zaman, yani levhalar ile duvar bir bütün olarak davrandığı zaman (kompozit etki) ortaya çıktığını göstermektedir. Bulon sayısının yeterli olmadığı durumlarda levha kalınlığının artmasının duvarın dayanımı üzerindeki negatif etkisinin, kalın levhaların duvardan daha çabuk ayrılması ve etkinliğini yitirmesi veya elemanlardaki işçilik hatalarıyla ilgili olduğu düşünülmektedir.

4.3. Süneklik

Süneklik basit olarak, taşıyıcı elemanın taşıma gücünde fazla kayıp olmaksızın, elastoplastik deformasyon yapma yeteneği olarak tanımlanabilir. Yapıların yer hareketleri altında sünek davranması, deprem anında yapıların aniden yıkılmasını önleyerek insanların yapıları boşaltması için gerekli zamanı tanıması açısından önem taşımaktadır. Bu sebeple, yapılarda yapılan güçlendirme faaliyetlerinin yapıların taşıma güçlerini arttırması yanında sünek davranmalarını sağlaması da beklenmektedir.

Bu çalışma kapsamında uygulanan güçlendirme tekniğinin, dolgu duvarların sünekliklerine iki yönlü bir katkı yapması amaçlanmıştır. İlk olarak, çelik levhaların duvarın çatlamasından sonra, çekme gerilmeleri altında ortaya çıkan deformasyonları karşılayarak duvarın sünekliğine katkı yapmaları beklenmektedir. Güçlendirmede deformasyon yapabilme kapasitelerinin daha yüksek olması sebebiyle delikli çelik levhalar tercih edilerek, güçlendirilmiş duvarın sünekliğinin arttırılması hedeflenmiştir. İkinci olarak, levhaların sargılama etkisi sonucu tuğlanın kendi sünekliğinde ortaya çıkacak artışların da dolgu duvarın sünekliğine önemli derecede katkı yapacağı düşünülmüştür. Bulonlara uygulanan öngerilme kuvvetinin ortaya çıkardığı yanal basınç, tuğlanın gerime-birim deformasyon eğrisini etkilemekte ve malzemenin dayanımıyla beraber deformasyon kapasitesini de arttırmaktadır. Ayrıca,

güçlendirme levhalarının dolgu duvarın deney sonuna kadar bütünlüğünü koruyarak dağılmadan deforme olabilmesini sağlamaları, bu güçlendirme yönteminin dolgu duvarın davranışına yaptığı önemli katkılardan biri olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada süneklik oranı, bir deney elemanının maksimum yük değerine ulaştıktan sonra, % 15 dayanım kaybettiği andaki deformasyon değerinin (δ_u), akmanın başlangıcı olarak kabul edilen eleman rijitliğinin ilk olarak azaldığı, yani elastik olmayan deformasyonların başladığı noktadaki deformasyon değerine (δ_y) oranı olarak alınmıştır. Referans eleman gevrek bir davranış gösterdiği için bu elemanın süneklik oranı 1 olarak kabul edilmiştir. Çizelge 4.2’de, her deney elemanının % 15 dayanım kaybettiği andaki ve akma anındaki deformasyon değerleriyle bu iki değer oranı olan mutlak süneklik oranı verilmektedir. Ayrıca, her deney elemanının mutlak süneklik oranının referans elemanın mutlak süneklik oranına bölünmesiyle elde edilen göreceli süneklik oranı da çizelgede sunulmaktadır. Referans elemanın süneklik oranı 1 olduğu için her elemanın göreceli süneklik oranı mutlak süneklik oranına eşittir.

Çizelgede verilen değerler, S1.5-150 elemanı haricinde bütün güçlendirilmiş elemanların sünekliklerinin referans elemanının yaklaşık iki katından fazla olduğunu ve bu elemanlar arasında S1.5-100 elemanının maksimum sünekliğe ulaştığını göstermektedir. Deplasman ölçüm aletlerinin yetersiz kalması nedeniyle elemanın tam kapasiteye ulaşmadan deneyin bitirilmiş olması, S2.0-100 elemanının beklenen süneklik değerlerine ulaşamamasına neden olmuştur.

Bu çalışmada yapılan deneyler, genel olarak, bulon aralığı azaldıkça ve sac kalınlığı arttıkça sünekliğin de olumlu etkilenecek arttığını ve sac kalınlığının sünekliğe olan etkisinin bulon sıklığı kadar büyük olmadığını göstermiştir. Buna göre, sac levhalarla güçlendirilmiş tuğla duvarlar, bulon aralıkları azaldıkça elastik limitlerinin çok ötesinde plastik deformasyonlara uğrayabilmektedir. Ayrıca, çizelgede verilen göreceli süneklik değerleri bulon aralığı azaldıkça, levha kalınlığı artışının duvarın sünekliğini daha çok arttırdığını göstermektedir.

Çizelge 4.2. Deney elemanlarının mutlak ve göreceli süneklik oranları

Eleman	δ_u (mm)	δ_y (mm)	Süneklik Oranı (δ_u / δ_y)	Göreceli Süneklik
R	-	-	1.00	1.00
S0.5-100	133.58	25.78	5.18	5.18
S0.5-150	108.57	21.14	5.13	5.13
S0.5-200	158.00	31.00	5.09	5.09
S1.0-100	169.29	30.29	5.58	5.58
S1.0-150	160.15	29.15	5.49	5.49
S1.0-200	157.43	30.28	5.20	5.20
S1.5-100	165.15	24.00	6.88	6.88
S1.5-150	185.00	46.00	4.02	4.02
S1.5-200	90.00	16.54	5.44	5.44
S2.0-100	161.00	29.14	5.53	5.53
S2.0-150	150.49	25.71	5.85	5.85
S2.0-200	80.57	14.14	5.70	5.70

4.4. Enerji Tüketimi

Yapıların depremde ayakta kalabilmeleri, deprem esnasında açığa çıkan enerjiyi sönmüleyebilmelerine bağlıdır. Bir elemanın elastik limitler içinde yani kalıcı deformasyonlara uğramadan tüketebildiği enerjiye rezilyans modülü, göçene kadar tükettiği tüm enerjiye de tokluk modülü adı verilir. Rezilyans modülü, yük-deformasyon eğrisinin akma sınırına kadar olan kısmının altında kalan alandan, tokluk modülü ise yük-deformasyon eğrisi altında kalan tüm alandan elde edilir. Yapıların güçlendirilmesindeki temel hedeflerden biri de, güçlendirilen yapının kalıcı deformasyonlara uğramadan enerji tüketmesinden ziyade göçmeden ayakta kalması olduğu için, bu çalışmada deney elemanlarının tokluk modülleri kıyaslanarak sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.3’de elemanların mutlak tokluk modülleri joule cinsinden verilmiştir. Ayrıca çizelgede her elemanın mutlak tokluk modülünün referans elemanın tokluk modülüne oranı olan göreceli tokluk oranları da sunulmaktadır.

Ölçüm aletlerinin yetersiz kalması sebebiyle deneyi sonlandırılmamış olan S2.0-100 elemanı haricinde, deney elemanlarının tokluk modülleri, bu güçlendirme tekniğinin elemanın enerji tüketme kapasitesi üzerindeki etkisi hakkında önemli bilgiler vermektedir. Güçlendirilmiş deney elemanlarının bütününün referans elemana oranla çok yüksek enerji tüketme kapasitelerine ulaşmış olması, bu güçlendirme tekniğinin dolgu duvarların ve dolayısıyla tüm yapının enerji tüketme kapasitesilerine yapacağı katkının ne kadar büyük olduğunu göstermektedir. Güçlendirilmiş deney elemanlarından en az enerji tüketeni olan S1.5-200 elemanı dahi referans elemanın yaklaşık 4.6 katı kadar enerji sönmlemiştir.

Çizelgede verilen değerler, süneklik oranlarından elde edilen çıkarımlara paralel olarak, bulon sıklığının azaltılmasının ve saç levha kalınlığının arttırılmasının elemanın enerji tüketme kapasitesini genel olarak arttırdığını göstermektedir. Değişik levha kalınlıklarına sahip eleman gruplarının deney sonuçlarına bakılarak bulon aralığının 20 cm’den 10 cm’e düşürülmesinin elemanın enerji tüketme kapasitesini 2-3 kat arttırdığı görülmektedir. Buna karşın aynı bulon sıklığına sahip farklı kalınlıklı levhalarla güçlendirilmiş deney elemanlarının tokluk modüllerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir.

4.5. Deney Elemanları Arasında Karşılaştırma

4.5.1. Bulon aralıklarına göre S0.5-100, S0.5-150, S0.5-200 elemanları ile R elemanı arasında karşılaştırma

Bu bölümde, 0,5 mm kalınlığında levhalarla güçlendirilmiş deney elemanları referans elemanla karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.4). Karşılaştırılan elemanların yük-deplasman eğrileri Şekil 4.1’de ve enerji-deplasman eğrileri Şekil 4.2’de verilmektedir.

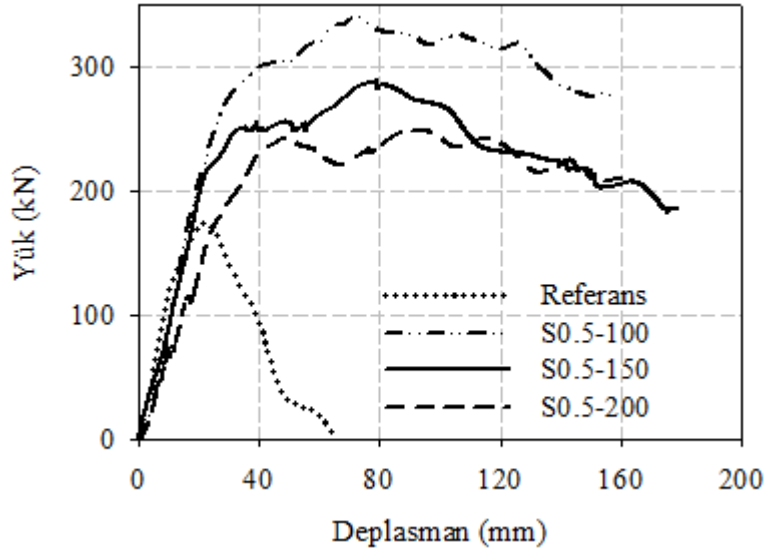
Çizelge 4.3. Elemanların enerji tüketme kapasiteleri

Eleman	Tokluk Modülü (Joule)	Göreceli Tokluk Oranı
R	3955.51	1.00
S0.5-100	45826.99	11.58
S0.5-150	25924.64	6.55
S0.5-200	>33941.28	>8.58
S1.0-100	>59520.20	>15.04
S1.0-150	>36981.25	>9.35
S1.0-200	30642.24	7.75
S1.5-100	>53472.27	>13.52
S1.5-150	>32220.7	>8.15
S1.5-200	18274.61	4.62
S2.0-100	40982.05	10.36
S2.0-150	>42248.64	>10.68
S2.0-200	19306.77	4.88

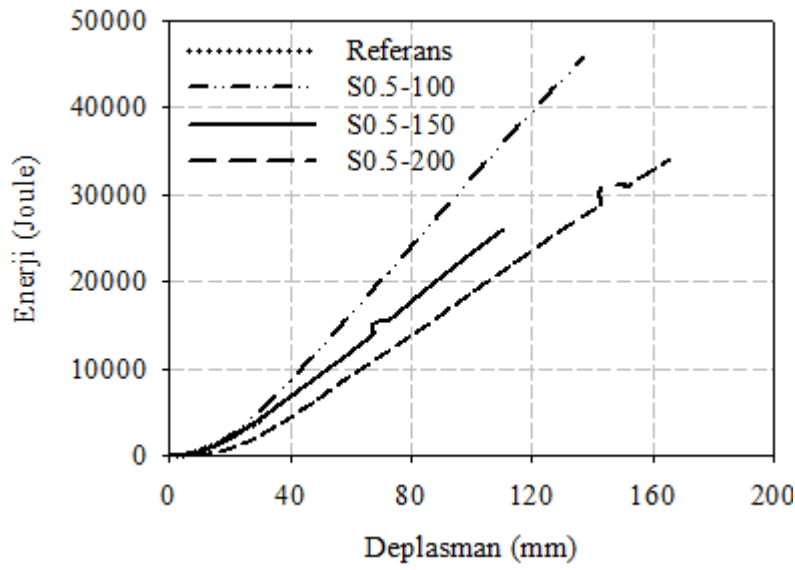
Çizelge 4.4. Karşılaştırılan 0,5 mm levha kalınlıklı elemanların özellikleri

Eleman	Levha kalınlığı (mm)	Bulon aralığı (mm)
R	----	----
S0.5-100	0,5	100
S0.5-150	0,5	150
S0.5-200	0,5	200

0,5 mm kalınlığında levhalarla güçlendirilmiş deney elemanları yalın elemanla kıyaslandığında, güçlendirme işleminin duvarın taşıma gücünü (P_u), yaklaşık % 41 ile % 94 oranında arttırdığı, bununla beraber süneklik ve enerji tüketimindeki artışların da kayda değer olduğu görülmektedir (Şekil 4.2). Güçlendirme işlemi eleman sünekliğini % 251 ile % 259 oranında, enerji tüketme kapasitesini de 6,55 kat ile 11,58 kat arasında arttırmıştır. Bulon sıklığı arttıkça süneklik ve taşıma gücünün de arttığı görülmektedir. Dolayısıyla ince levhalarla güçlendirilmiş tuğla duvarlarda,



Şekil 4.1. R, S0.5-100, S0.5-150, S0.5-200 elemanlarının yük-deplasman ilişkileri



Şekil 4.2. R, S0.5-100, S0.5-150, S0.5-200 elemanlarının enerji-deplasman ilişkileri

bulon aralığının süneklik, taşıma gücü ve enerji tüketme kapasitesi üzerindeki etkilerinin büyük boyutlarda olduğu anlaşılmıştır.

Şekil 4.1, S0.5-100, S0.5-150 ve S0.5-200 elemanlarının başlangıçtaki rijitliklerinin referans elemana yakın olduğunu göstermektedir. S0.5-100 ve S0.5-150 elemanları, elastik olmayan deformasyonlara uğrayıncaya kadar bu başlangıç rijitliklerini

korumuştur. S0.5-200 elemanının yük değerlerinde ise elastik limitler içinde iki kez ani düşüşler yaşanmış fakat bu düşüşlerden sonra eleman aynı rijitlikle tekrar yük almaya devam etmiştir. Bu elemanda ortaya çıkan bu ani düşüşlerin tuğlalarda meydana gelen ezilmelerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca elemanların yük-deplasman eğrilerine bakıldığında, S0.5-200 elemanında elastik limitlerin ötesinde de S0.5-100 ve S0.5-150 elemanlarına oranla daha ani yük düşüşleri meydana geldiği görülmektedir. Buna göre, aynı levha kalınlığı için bulon sıklığı elemanın başlangıç rijitliğini etkilememektedir. Ancak, bulonların sıklığı arttıkça levhanın sargılama etkisinin de artmasından dolayı tuğlaların ezilme ve bu sebeple duvarın taşıma gücünde ani düşüşler meydana gelme riski de azalmaktadır.

Şekil 4.2, elemandaki bulon aralıkları azaldıkça elemanın belirli bir deplasman değerinde tükettiği enerjinin arttığını göstermektedir. Buna göre, S0.5-100 elemanı yükleme boyunca S0.5-200 elemanı ile aynı deplasmana maruz kalırken 1.5 kat daha fazla enerji tüketmektedir. S0.5-100 ve S0.5-150 deney elemanlarının elastik limitler içinde enerji tüketme hızlarının referans elemana çok yakın olduğu, fakat S0.5-200 elemanının elastik limitler içinde enerji tüketme hızının bu iki elemanın çok gerisinde kaldığı da Şekil 4.2’den yapılabilecek çıkarımlardır.

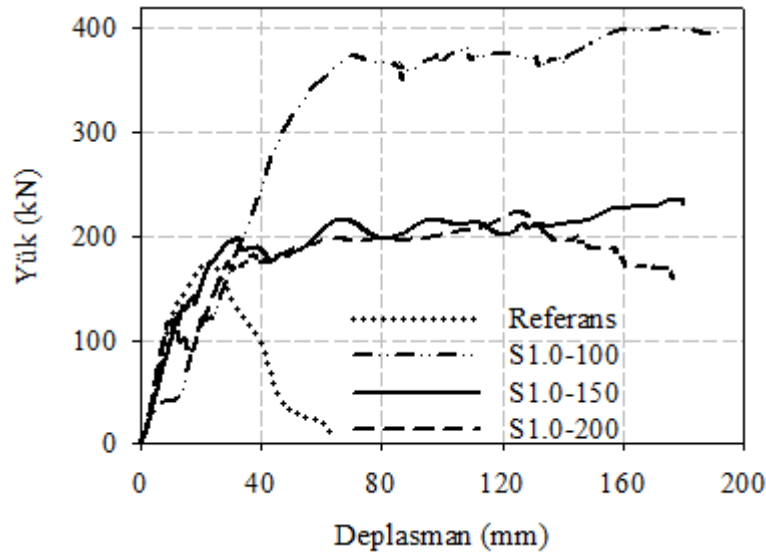
4.5.2. Bulon aralıklarına göre S1.0-100, S1.0-150, S1.0-200 elemanları ile R elemanı arasında karşılaştırma

Bu bölümde, 1,0 mm kalınlığında levhalarla güçlendirilmiş deney elemanları referans elemanla karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.5). Karşılaştırılan elemanların yük-deplasman eğrileri Şekil 4.3’te ve enerji-deplasman eğrileri Şekil 4.4’te verilmektedir.

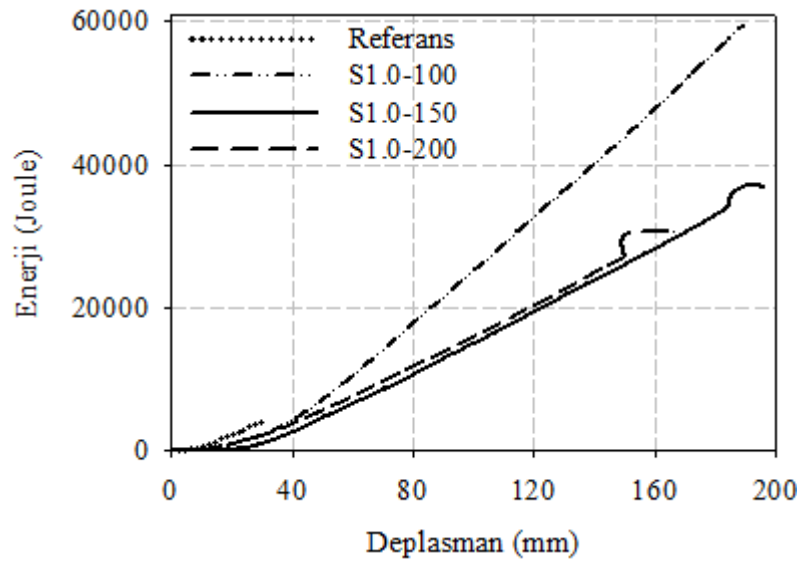
1,0 mm kalınlığında levhalarla güçlendirilmiş deney elemanları yalın elemanla kıyaslandığında, güçlendirme işleminin duvarın taşıma gücünü (P_u), yaklaşık % 32 ile % 134 oranında arttırdığı, bununla beraber süneklik ve enerji tüketimindeki artışların da kayda değer olduğu görülmektedir (Şekil 4.3). Güçlendirme işlemi eleman sünekliğini % 259 ile % 298 oranında, enerji tüketme kapasitesini de 7,75 kat

Çizelge 4.5. Karşılaştırılan 1,0 mm levha kalınlıklı elemanların özellikleri

Eleman	Levha kalınlığı (mm)	Bulon aralığı (mm)
R	----	----
S1.0-100	1,0	100
S1.0-150	1,0	150
S1.0-200	1,0	200



Şekil 4.3. R, S1.0-100, S1.0-150, S1.0-200 elemanlarının yük-deplasman ilişkileri



Şekil 4.4. R, S1.0-100, S1.0-150, S1.0-200 elemanlarının enerji-deplasman ilişkileri

ile 15,04 kat arasında arttırmıştır. Bulon sıklığı arttıkça süneklik ve taşıma gücünün de arttığı görülmektedir.

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'e bakıldığında S1.0-100 elemanının başlangıç rijitliğinin ve belirli bir deformasyon değerine ulaşırken enerji tüketme kapasitesinin S1.0-150 ve S1.0-200 elemanlarının çok ötesinde olduğu görülmektedir. S1.0-100 elemanı elastik limitler içinde belirli bir süre yük aldıktan sonra 40 kN seviyesinde bir süre sabit yük değerinde deforme olmuştur. Bu deformasyonlardan sonra elemanın yük taşıma kapasitesi başlangıç rijitliğine yakın bir eğimle artmaya devam etmiştir. 40 kN seviyesinde yükün belirli bir deformasyon aralığında sabit kalmasının sebebinin tuğla ezilmesi olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.3, 1,0 mm kalınlığında levhalarla güçlendirilmiş bütün deney elemanlarının başlangıç rijitliklerinin birbirine yakın olduğunu göstermektedir. 0,5 mm kalınlığında levhalarla güçlendirilmiş deney elemanlarının deney sonuçlarından elde edilen çıkarımlara paralel olarak, bulon aralığının elemanın başlangıç rijitliğini etkilemediği ancak süneklik ve taşıma gücünü önemli derecede etkilediği görülmektedir.

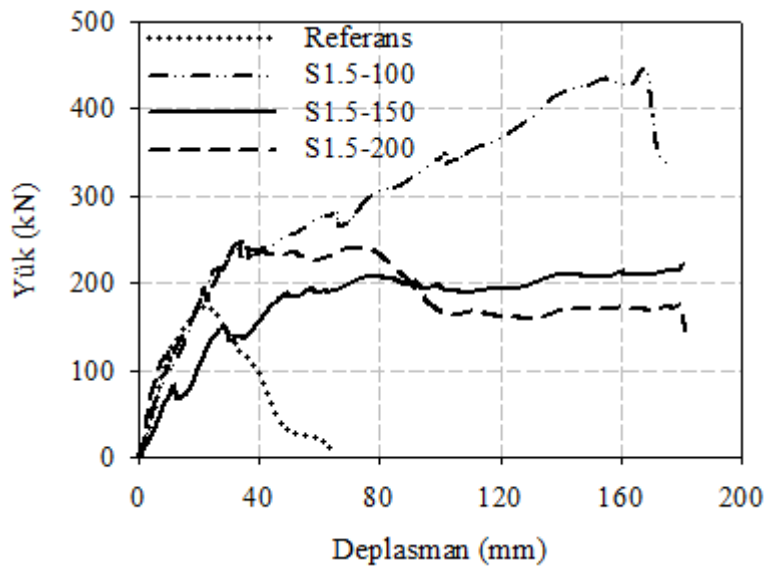
4.5.3. Bulon aralıklarına göre S1.5-100, S1.5-150, S1.5-200 elemanları ile R elemanı arasında karşılaştırma

Bu bölümde, 1,5 mm kalınlığında levhalarla güçlendirilmiş deney elemanları referans elemanla karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.6). Karşılaştırılan elemanların yük-deplasman eğrileri Şekil 4.5'te ve enerji-deplasman eğrileri Şekil 4.6'da verilmektedir.

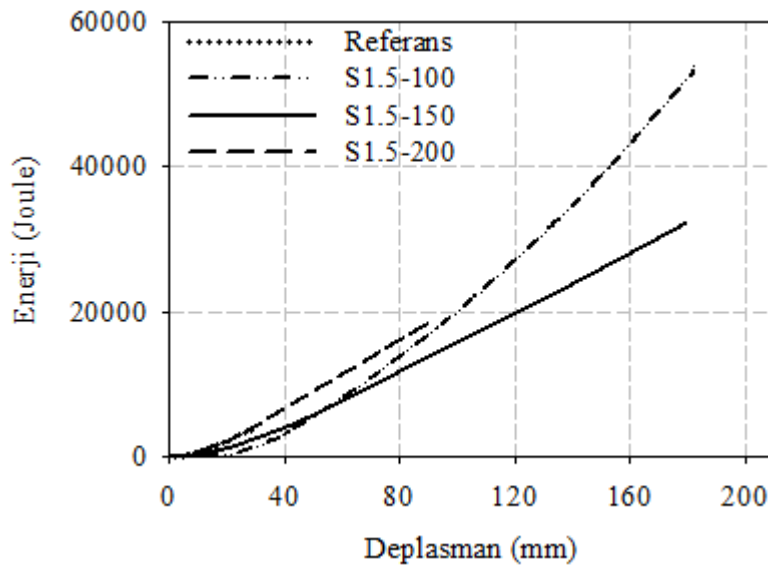
1,5 mm kalınlığında levhalarla güçlendirilmiş deney elemanları yalın elemanla kıyaslandığında, güçlendirme işleminin duvarın taşıma gücünü (P_u), yaklaşık % 36 ile % 205 oranında arttırdığı görülmektedir. Güçlendirme işlemi eleman sünekliğini % 142 ile % 427 oranında, enerji tüketme kapasitesini de 4,62 kat ile 13,52 kat arasında arttırmıştır.

Çizelge 4.6. Karşılaştırılan 1,5 mm levha kalınlıklı elemanların özellikleri

Eleman	Levha kalınlığı (mm)	Bulon aralığı (mm)
R	----	----
S1.5-100	1,5	100
S1.5-150	1,5	150
S1.5-200	1,5	200



Şekil 4.5. R, S1.5-100, S1.5-150, S1.5-200 elemanlarının yük-deplasman ilişkileri



Şekil 4.6. R, S1.5-100, S1.5-150, S1.5-200 elemanlarının enerji-deplasman ilişkileri

Şekil 4.5, S1.5-100 elemanının başlangıç rijitliği, süneklik, enerji sönümleme kapasitesi ve taşıma gücü olarak S1.5-150 ve S1.5-200 elemanlarından daha iyi bir davranışa sahip olduğunu göstermektedir. S1.5-150 elemanının S1.5-200 elemanına göre daha yüksek tokluk modülüne sahip olmasına karşın, taşıma gücü, süneklik ve rijitlik olarak S1.5-200 elemanının gerisinde kalmasının, Şekil 4.5'te de görüldüğü gibi bu elemanda elastik limitler içinde gerçekleşen tuğla ezilmeleriyle ve işçilik ile deney düzeneğine yerleşim hatalarıyla ilgili olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.6, S1.5-200 elemanının enerji tüketme hızının diğer elemanların gerisinde kaldığını ve S1.5-100 elemanının artan deformasyonlarla beraber enerji tüketme hızında kayda değerler artışlar olduğunu göstermektedir.

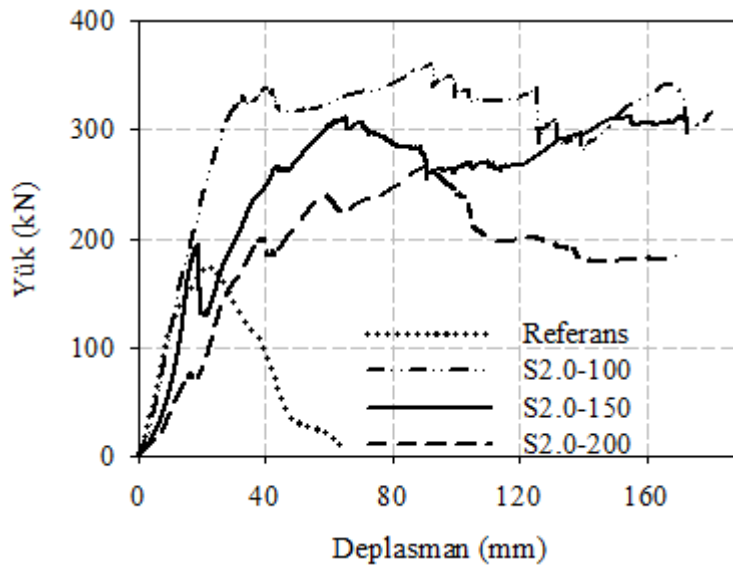
4.5.4. Bulon aralıklarına göre S2.0-100, S2.0-150, S2.0-200 elemanları ile R elemanı arasında karşılaştırma

Bu bölümde, 2,0 mm kalınlığında levhalarla güçlendirilmiş deney elemanları referans elemanla karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.7). Karşılaştırılan elemanların yük-deplasman eğrileri Şekil 4.7'de ve enerji-deplasman eğrileri Şekil 4.8'de verilmektedir.

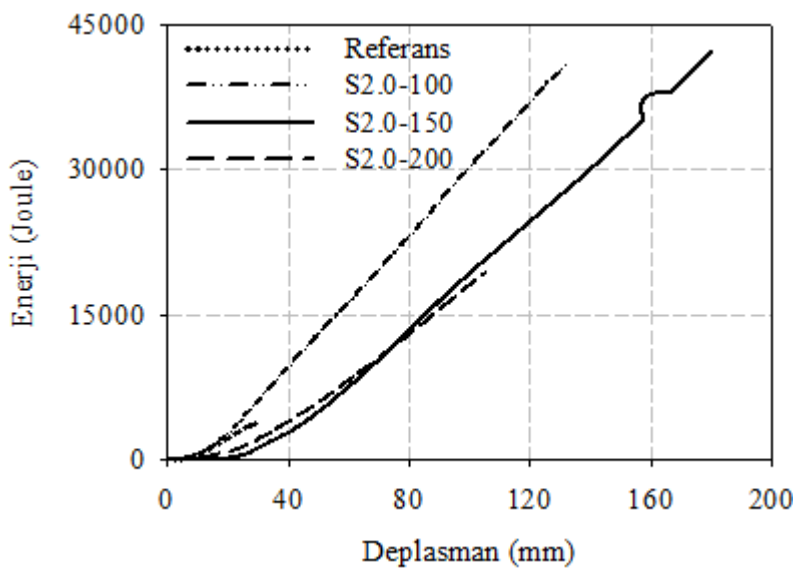
Yalın elemanla kıyaslandığında 2,0 mm kalınlığındaki sac levhaların, elemanların taşıma güçlerini yaklaşık % 44 ile % 127 oranında arttırdığı, bununla beraber elemanların sünekliklerini % 292 ile % 326 aralığındaki oranlarda, enerji tüketme kapasitelerini ise 4,88 kat ile 10,68 kat aralığındaki oranlarda arttırdığı görülmektedir. 2,0 mm sac kalınlığında bulon sıklığı arttıkça süneklik ve taşıma gücü artışının da olumlu etkilendiği görülmekle birlikte, S2.0-100 elemanı tam kapasiteye ulaşmadan deneyin sonlandırılmış olması sebebiyle, bu elemandaki süneklik ve taşıma gücü artışları sınırlı kalmıştır.

Çizelge 4.7. Karşılaştırılan 2,0 mm levha kalınlıklı elemanların özellikleri

Eleman	Levha kalınlığı (mm)	Bulon aralığı (mm)
R	----	----
S2.0-100	2,0	100
S2.0-150	2,0	150
S2.0-200	2,0	200



Şekil 4.7. R, S2.0-100, S2.0-150, S2.0-200 elemanlarının yük-deplasman ilişkileri



Şekil 4.8. R, S2.0-100, S2.0-150, S2.0-200 elemanlarının enerji-deplasman ilişkileri

Şekil 4.7, S2.0-150 ve S2.0-200 elemanlarının elastik limitler içinde ve elastik bölgenin ötesinde, S2.0-100 elemanının ise yalnızca elastik olmayan bölgede yükte ani düşüşler yaşadığını göstermektedir. Buna göre, levha kalınlığı arttırıldığı zaman bulon sıklığına bağlı olmaksızın tuğla duvarların taşıdıkları yükte meydana gelen ani düşüşlerin önlenemediği çıkarımı yapılabilir. S2.0-150 ve S2.0-200 elemanlarının elastik bölgede yaşadıkları ani yük düşüşlerinin tuğla ezilmeleriyle ilgili olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.8, S2.0-100 elemanının özellikle plastik bölgedeki enerji sönümleme hızının referans eleman ve diğer iki güçlendirilmiş elemana oranla çok daha yüksek olduğunu ve S2.0-150 ve S2.0-200 elemanlarının enerji sönümleme hızlarının referans elemanının bile gerisinde kaldığını göstermektedir. Bunun en önemli sebebinin, sac levhaların montesi için gerekli olan gijon deliklerinin güçlendirilmiş elemanların yük ve deformasyon kapasitelerinde ortaya çıkardığı kayıplar olduğu düşünülmektedir.

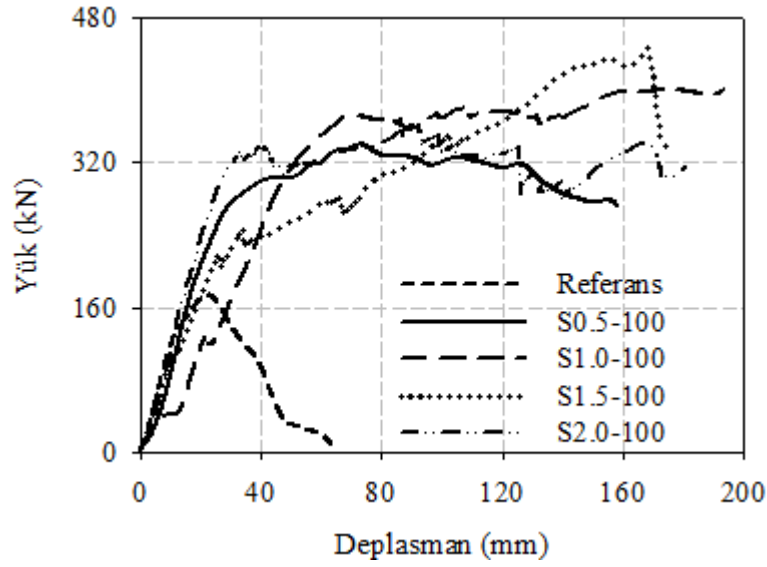
4.5.5. Sac kalınlıklarına göre S0.5-100, S1.0-100, S1.5-100, S2.0-100 elemanları ile R elemanı arasında karşılaştırma

Bu bölümde, farklı kalınlıkta sac levhalarla güçlendirilmiş ve 10 cm bulon aralığına sahip deney elemanları referans elemanla karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.8). Karşılaştırılan elemanların yük-deplasman eğrileri Şekil 4.9’da ve enerji-deplasman eğrileri Şekil 4.10’da verilmektedir.

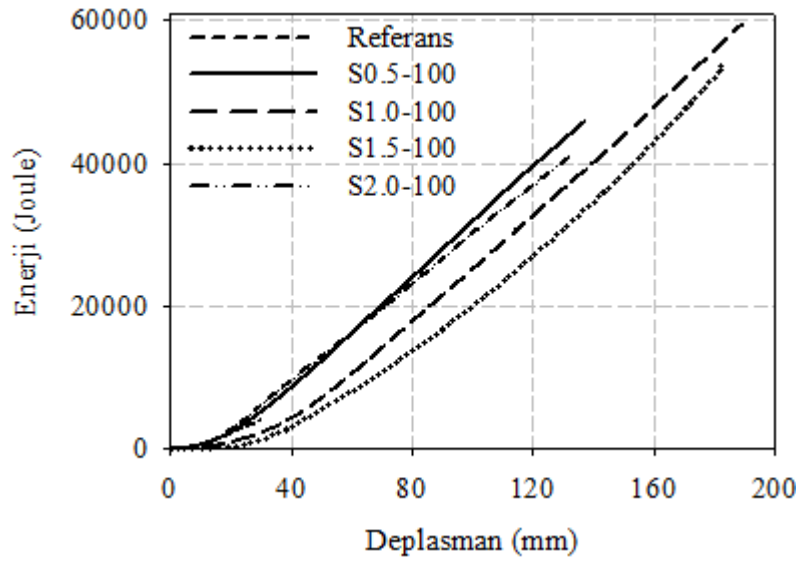
Yalın elemanla kıyaslandığında, bu güçlendirme işleminin elemanın taşıma gücünü yaklaşık % 94 ile % 205 aralığındaki oranlarda arttırdığı, bununla beraber elemanın sünekliğini % 259 ile % 427 aralığındaki oranlarda, enerji tüketme kapasitesini ise 10,36 kat ile 15,04 kat aralığındaki oranlarda arttırdığı görülmektedir. Deney düzeneği limitlerinin izin vermemesi sebebiyle deneyi sonlandırılmayan S2.0-100 elemanı gözardı edildiğinde, sac levha kalınlığı arttırıldıkça tuğla duvarların taşıma gücü ve enerji tüketme kapasitelerinde de kayda değer artışlar olduğu gözlemlenebilir. Ayrıca, tuğla ezilmesi sonucu elastik limitler içinde yük kaybı yaşayan S1.0-100 elemanı gözardı edildiğinde, sac levha kalınlığı arttıkça duvarın

Çizelge 4.8. Karşılaştırılan 10 cm bulon aralıklı elemanların özellikleri

Eleman	Levha kalınlığı (mm)	Bulon aralığı (mm)
R	----	----
S0.5-100	0,5	100
S1.0-100	1,0	100
S1.5-100	1,5	100
S2.0-100	2,0	100



Şekil 4.9. R, S0.5-100, S1.0-100, S1.5-100, S2.0-100 elemanlarının yük-deplasman ilişkileri



Şekil 4.10. R, S0.5-100, S1.0-100, S1.5-100, S2.0-100 elemanlarının enerji-deplasman ilişkileri

başlangıç rijitliğinin de arttığı görülmektedir. Son olarak, Şekil 4.10 duvarın enerji tüketme hızının sac levha kalınlığıyla beraber arttığını göstermektedir.

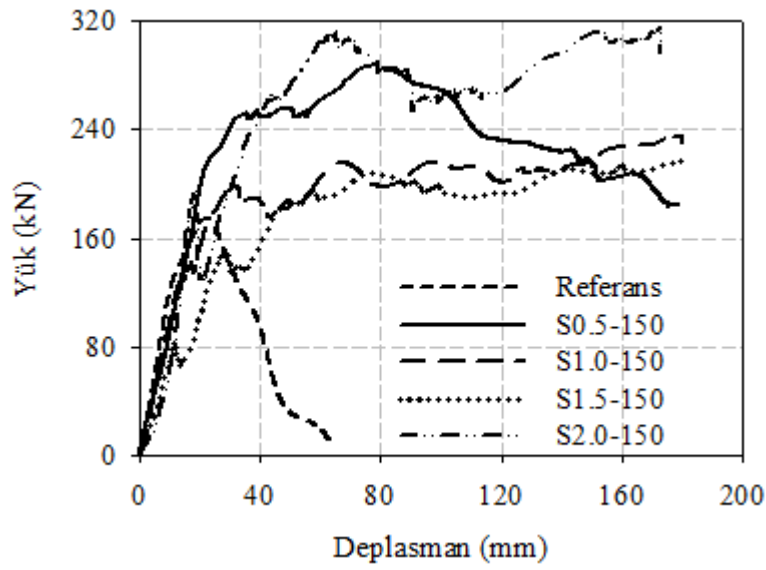
4.5.6. Sac kalınlıklarına göre S0.5-150, S1.0-150, S1.5-150, S2.0-150 elemanları ile R elemanı arasında karşılaştırma

Bu bölümde, farklı kalınlıkta sac levhalarla güçlendirilmiş ve 15 cm bulon aralığına sahip deney elemanları referans elemanla karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.9). Karşılaştırılan elemanların yük-deplasman eğrileri Şekil 4.11’de ve enerji-deplasman eğrileri Şekil 4.12’de verilmektedir.

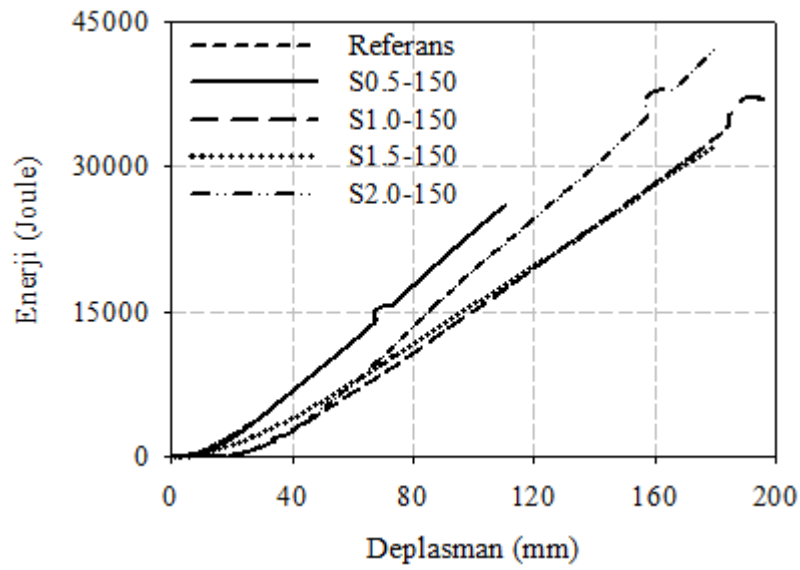
Referans elemanla kıyaslandığında güçlendirilen elemanların taşıma güçlerinin, sünekliklerinin ve tokluk modüllerinin, referans elemandan sırasıyla yaklaşık % 47 ile % 72 aralığındaki oranlarda, % 254 ile % 326 aralığındaki oranlarda ve 6,55 kat ile 10,68 kat fazla oldukları görülmektedir. Şekil 4.11 incelendiğinde, S1.0-150 ve S1.5-150 elemanlarının taşıma gücü ve enerji tüketme kapasitesi olarak S0.5-150 ve S2.0-150 elemanlarının gerisinde kaldığı görülmektedir. Şekil 4.12, bu iki elemanın enerji tüketme hızı olarak referans elemanın bile gerisinde kaldığını göstermektedir. S1.0-150 ve S1.5-150 elemanlarının başlangıç rijitlikleri S0.5-150 ve S2.0-150 elemanlarına yakın olsa da, bu iki eleman elastik bölgede tuğla ezilmesi sonucu yükte yaşadıkları kayıpları telafi edememiş ve beklenen taşıma gücü değerlerinin altında geçmiştir. S2.0-150 elemanı da elastik bölgede yük kaybına uğramış olsa da, sac levha kalınlığının fazla olması nedeniyle bu kaybı telafi etmiş ve bu dört eleman arasında en yüksek yük kapasitesine ulaşmıştır. S1.0-150 ve S1.5-150 deney elemanlarının elastik bölgenin ötesinde de yükte dalgalanmalar yaşaması bu iki elemanda levha burkulmaları ve tuğla kırılmaları sebebiyle stabil bir davranışın elde edilemediğini göstermektedir. Bu sebeple, elastik limitler içinde tuğla duvarda yaşanan ezilmelerin duvarın taşıma gücü ve sünekliğini büyük ölçüde belirlediği söylenebilir. 10 cm bulon aralıklı elemanların aksine 15 cm bulon aralıklı elemanlarda bu ezilmelerin genellikle telafi edilemediği görülmektedir.

Çizelge 4.9. Karşılaştırılan 15 cm bulon aralıklı elemanların özellikleri

Eleman	Levha kalınlığı (mm)	Bulon aralığı (mm)
R	----	----
S0.5-150	0,5	150
S1.0-150	1,0	150
S1.5-150	1,5	150
S2.0-150	2,0	150



Şekil 4.11. R, S0.5-150, S1.0-150, S1.5-150, S2.0-150 elemanlarının yük-deplasman ilişkileri



Şekil 4.12. R, S0.5-150, S1.0-150, S1.5-150, S2.0-150 elemanlarının enerji-deplasman ilişkileri

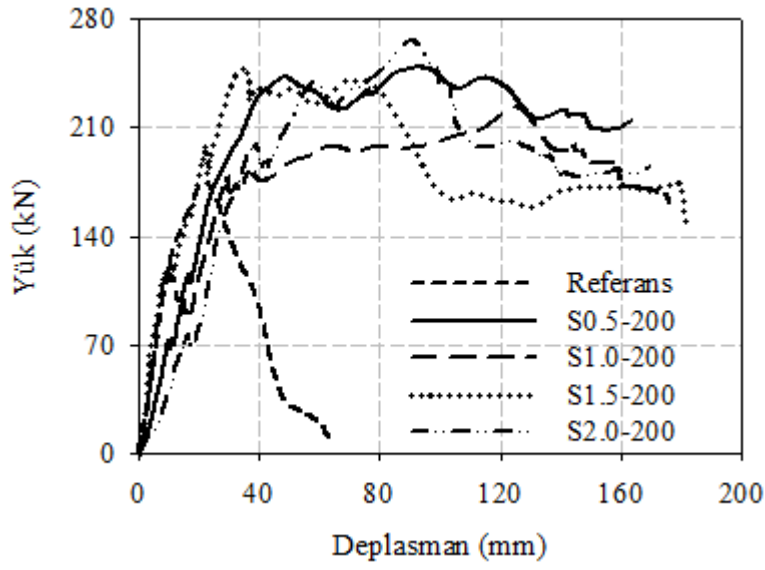
4.5.7. Sac kalınlıklarına göre S0.5-200, S1.0-200, S1.5-200, S2.0-200 elemanları ile R elemanı arasında karşılaştırma

Bu bölümde, farklı kalınlıkta sac levhalarla güçlendirilmiş ve 20 cm bulon aralığına sahip deney elemanları referans elemanla karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.10). Karşılaştırılan elemanların yük-deplasman eğrileri Şekil 4.13'te ve enerji-deplasman eğrileri Şekil 4.14'te verilmektedir.

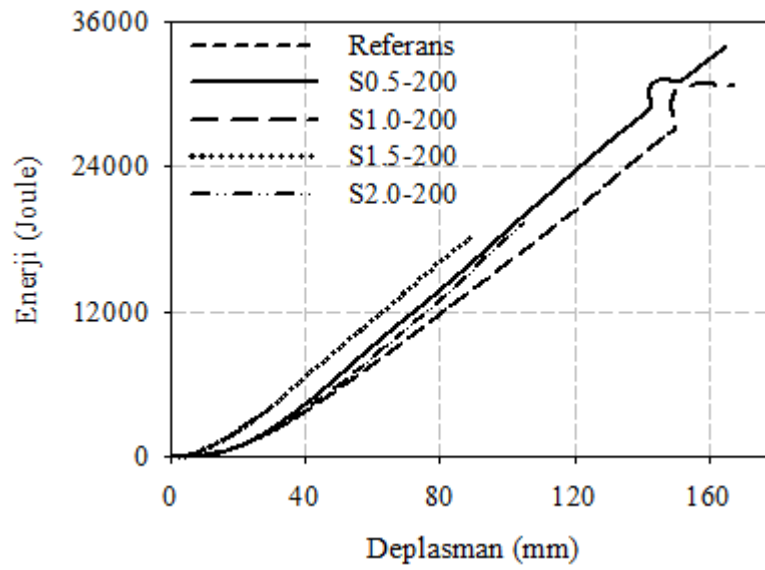
Referans elemanla kıyaslandığında güçlendirilen elemanların taşıma güçlerinin, sünekliklerinin ve tokluk modüllerinin, referans elemandan sırasıyla yaklaşık % 32 ile % 44 aralığındaki oranlarda, % 251 ile % 311 aralığındaki oranlarda ve 4,62 kat ile 8,58 kat arasında fazla oldukları görülmektedir. Şekil 4.13 incelendiğinde, bütün elemanların yükleme boyunca yük değerlerinde büyük dalgalanmalar yaşadıkları görülmektedir. Bu dalgalanmaların elemanların taşıma güçlerini fazla etkilemediği ve sac levha kalınlığından bağımsız olarak 20 cm bulon aralığına sahip bütün elemanların birbirlerine yakın yük değerlerinde göçtüğü görülmektedir. Buna göre, 10 cm ve 15 cm bulon aralıklı elemanların aksine, bulon aralığı 20 cm olan tuğla duvarların sac levha kalınlığından fazla etkilenmediği söylenebilir. Benzer bir çıkarım da Şekil 4.14'ten yapılabilir. Bu şekilde gösterilen enerji-deplasman eğrileri, sac levha kalınlığından bağımsız olarak 20 cm aralıklı bulonlara sahip deney elemanlarının enerji tüketme hızlarının birbirine yakın olduğunu göstermektedir. Buna göre, sac levha kalınlığının tuğla duvarların dayanım ve süneklikleri üzerindeki etkisinin ancak levhalar duvarlara sık bulonlarla bağlandıkları zaman ortaya çıktığı söylenebilir.

Çizelge 4.10. Karşılaştırılan 20 cm bulon aralıklı elemanların özellikleri

Eleman	Levha kalınlığı (mm)	Bulon aralığı (mm)
R	----	----
S0.5-200	0,5	200
S1.0-200	1,0	200
S1.5-200	1,5	200
S2.0-200	2,0	200



Şekil 4.13. R, S0.5-200, S1.0-200, S1.5-200, S2.0-200 elemanlarının yük-deplasman ilişkileri



Şekil 4.14. R, S0.5-200, S1.0-200, S1.5-200, S2.0-200 elemanlarının enerji-deplasman ilişkileri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çerçeve sistemlerin tasarım ve analizinde taşıyıcı sisteme katkısı yok sayılan ancak yapıların davranışları üzerinde önemli etkileri olan tuğla dolgu duvarların güçlendirilmesi, yapıların deprem davranışlarının iyileştirilmesinde önemli bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Bu güçlendirme işleminde karbon lifli polimer kumaş, çelik hasır donatı, önüretimli beton panel, epoksi reçinesi gibi birçok farklı malzeme kullanılmış olup duvarların bu yöntemlerle güçlendirilmesine ilişkin günümüze kadar süregelen bir çok çalışma yapılmıştır. Fakat, bu çalışmalarda incelenmiş olan güçlendirme tekniklerinden, kullanılmış olan malzemelerin yüksek maliyetleri, ankrajlanmalarının zor olması, güçlendirme işlemi esnasında binanın boşaltılmasının gerekmesi, ileri deformasyonlarda elemanların bütünlüğünü koruyamaması, istenen oranda dayanım ve süneklik elde edilememesi gibi sebeplerle istenen verim elde edilememiştir. Söz konusu olumsuzluklar göz önünde bulundurularak, temini ve duvara ankrajı kolay, sünek, nispeten ucuz, yerli malı ve kolay bulunabilir olan delikli sac levhaların duvarların güçlendirilmesinde kullanılması gündeme gelmiştir. Bu amaçla, değişik levha kalınlıkları ve değişik bulon aralıklarına sahip 12 güçlendirilmiş eleman ve bir referans eleman tekdüze diyagonal basınç yükü altında test edilmiştir. Duvarın iki yüzündeki sac levhaları duvara bağlayan bulonlar, 3,5 kNm değerindeki burulma momenti yardımıyla sıkılmıştır. Sac levha kalınlığı ve bu levhaları duvara bağlayan bulonların aralığı deney parametreleri olarak belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler yardımıyla ulaşılan başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1. Tekdüze diyagonal yükler altında oluşan basınç gerilmelerine karşı, delikli sac levhalar kullanılarak yapılan güçlendirme tekniğinden son derece başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Güçlendirilmiş deney elemanlarından taşıma gücünün yanı sıra yeterli süneklik de elde edilmiştir. Bu deneysel çalışmada belirtilen şartlar altında, sac levhalarla güçlendirme işleminin yarım tuğla duvarların diyagonal basınç kapasitelerini % 30 ile % 160 arasında değişen oranlarda arttırdığı görülmüştür. Bununla beraber, sünek özellikleri sayesinde sac

levhaların gevrek bir davranış gösteren yalın tuğla duvarların enerji tüketme kapasitelerini de 3,62 ile 14,04 kat arttırdıkları görülmüştür.

2. Deney kapsamında etkisi incelenen iki parametreden, bulon sıklığının duvarların dayanım ve süneklikleri üzerindeki etkisinin sac levha kalınlığına oranla daha büyük olduğu görülmüştür. Yapılan deneyler, bulon aralığının 20 cm'den 10 cm'e indirilmesinin tuğla duvarın diyagonal basıç dayanımını farklı levha kalınlıkları için % 28 ile % 48 arasında değişen oranlarda, enerji tüketme kapasitesini ise % 26 ile % 66 arasında değişen oranlarda arttırdığı görülmüştür. Buna karşın, aynı bulon sıklığı için levha kalınlığının 0,5 mm'den 2,0 mm'ye çıkarılmasının ise, tuğla duvarın diyagonal kapasitesini yalnızca % 3 ile % 8 arasında değişen oranlarda arttırdığı, enerji sönümleme kapasitesini de bazen azalttığı bazen de sınırlı oranda arttırdığı görülmüştür. Ayrıca, levha kalınlığının artırılmasının duvarın davranış ve dayanımı üzerinde beklenen olumlu etkiyi göstermesinin ancak bulon sıklığı yeterli olduğunda (≈ 10 cm bulon aralığı) mümkün olduğu görülmüştür.
3. Sac levhaların kalınlıklarının artırılmasının yükleme esnasında bulonların sac levhalardan sıyrılmasını engellediği ancak ileri deformasyonlarda bulonların kopmalarına engel olamadığı gözlemlenmiştir.
4. Sac levha kalınlığı ve bulon aralığına bağlı olmaksızın bütün güçlendirilmiş deney elemanlarının referans elemanın aksine deney sonuna kadar bütünlüklerini korudukları ve çok ileri deformasyonlarda dahi referans elemanın taşıma gücünün üstünde yük taşıyabildikleri görülmüştür.
5. Sac levhalarla güçlendirme tekniğinin duvarların elastik bölgedeki rijitlikleri (başlangıç rijitlikleri) üzerindeki etkisinin duvarların taşıma gücü ve süneklikleri üzerindeki etkileri kadar büyük olmadığı görülmüştür. Bazı güçlendirilmiş deney elemanlarının başlangıç rijitliklerinin referans elemanın altında kalması, sac levhaların duvara montajı için tuğla duvarlarda açılmış olan deliklerin duvarlarda oluşturduğu zayıf bölgelerin sebep olduğu tuğla ezilmelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. 10 cm bulon aralığına sahip elemanlarda, sık bulonların sargılama etkisinden ötürü bütün güçlendirilmiş elemanlar referans elemanın üstünde başlangıç rijitliği göstermiş ve sac levha kalınlığı arttıkça duvarın rijitliği de artmıştır. Ancak bulon aralığı 15 cm ve 20 cm olan

elemanlarda levha kalınlığı arttıkça başlangıç rijitliğinin artmadığı, sargılama etkisi yetersiz olduğu için yük-deformasyon eğrisinin elastik bölgesinde taşıma gücünde yaşanan kayıpların duvarları yumuşattığı ve başlangıç rijitliğini önemli derecede azalttığı görülmüştür.

6. Bulon sıklığı arttıkça elastik ve elastik olmayan bölgelerde duvarın yük-deformasyon eğrisinde görülen dalgalanmaların daha sınırlı olduğu yani levhaları sık bulonlarla duvara bağlanmış elemanların fazla yük kaybı yaşamadan ve yük kapasitesini büyük oranda koruyarak göçme limitlerine ulaştıkları görülmüştür.
7. Bulon sıklığı arttıkça, sac levha kalınlığının arttırılmasının duvarın aynı deformasyon değerinde sönümlediği enerji miktarını önemli oranda arttırdığı, buna karşın bulonları daha büyük aralıklarla yerleştirilmiş elemanlarda (15 cm ve 20 cm) farklı sac levha kalınlığına sahip elemanların birbirlerine yakın hızlarda enerji sönümlediği görülmüştür.
8. Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler, test edilen güçlendirme yönteminin, kullanılan malzemelerin kalitesinden ve duvarların güçlendirilmesi esnasında ortaya çıkabilecek üretim ve işçilik hatalarından önemli derecede etkilendiğini göstermiştir.

Bu çalışma kapsamında yapılmış deneyler, bulonların sağladığı sargılama etkisinin tuğla duvarların basınç dayanımı ve deformasyon kapasitesi üzerindeki olumlu etkileri sayesinde, duvar davranışının iyileştirilmesinde çok önemli bir etken olduğunu göstermiştir. Ayrıca, sac levhaların çekme gerilmelerine karşı sağladıkları faydaların da duvarların davranış ve dayanımını önemli şekilde iyileştirdiği görülmüştür. Literatürdeki mevcut çalışmalarda incelenmiş olan uygulanması zor ve maliyeti yüksek diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında, duvarların süneklik ve dayanımlarında önemli artışlar sağlayan sac levha kullanımının yapı güçlendirilmesinde önemli bir alternatif olduğu anlaşılabılır. Delikli sac levhalarda bulunan deliklerin gijonlar için duvarda delik açılmasına ve levhaların duvara montajına kolaylık sağlaması, delikli sac levhaların deliksiz levhalara göre daha büyük deformasyon kapasitelerine sahip olmaları, delikli levhanın üzerine uygulanan sıvanın deliklerden geçerek duvar, sıva ve levha arasında daha iyi bir kompozit etki

oluşmasına yardım etmesi, deliklerin güçlendirme işleminden sonra da duvarda yapılacak tadilatlarla kolaylık sağlaması gibi birçok avantaj bu yöntemin mevcut diğer yöntemlere göre üstünlükleri olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada delikli çelik levhaların duvarların diyagonal basınç kapasiteleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Güçlendirilmiş duvarların deprem davranışlarının daha iyi anlaşılabilmesi için sac levhalarla güçlendirilmiş duvar elemanlarının tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test edilmesi gerekmektedir. Daha ilerleyen aşamalarda da, aynı güçlendirme tekniğinin betonarme çerçeve içindeki dolgu duvarlara uygulanması ve çerçeve elemanlarının deprem yükleri altında test edilmesi tavsiye edilmektedir. Bu sayede, güçlendirilmiş duvarların çerçeve içindeki davranışı da anlaşılacaktır. Bu deneylerden elde edilen sonuçların, deneyde kullanılmış olan levha kalınlıkları, malzeme özellikleri ve bulon aralıklarıyla yakından ilgili olduğu unutulmamalıdır.

EKLER

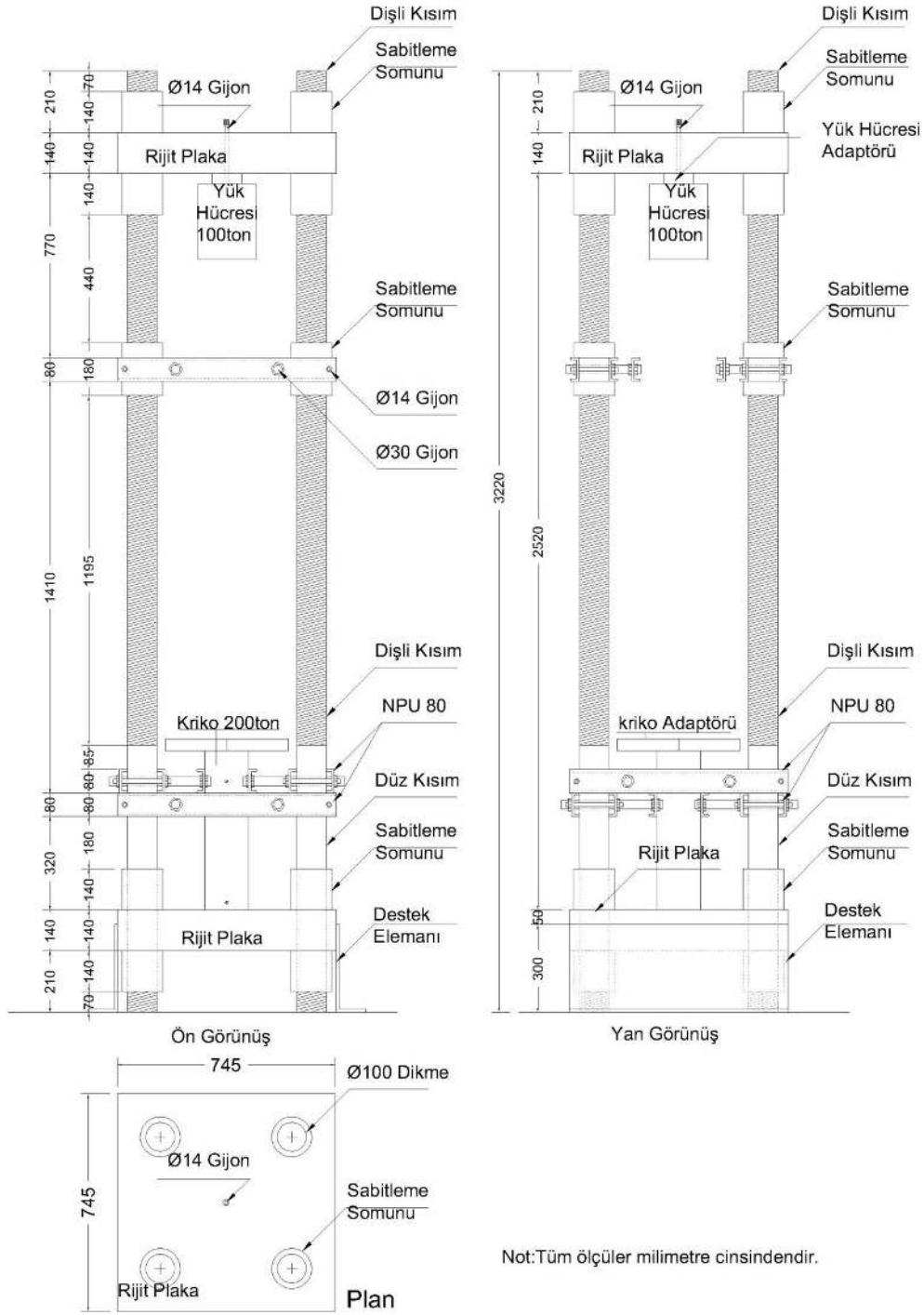
Ek-1. Deney platformu, deney çerçevesi ve bağlantı detayları

Elemanların test edilmesinde kullanılan deney düzeneği, deney platformu ve deney çerçevesinden meydana gelmiştir. Bir elektronik pompaya bağlı olan hidrolik kriko tarafından uygulanan yük, bu krikonun bağlı olduğu deney platformu tarafından deney çerçevesine iletilmiştir. Deney platformunun boyutları ve detayları Şekil 1.1’de gösterilmektedir. Hidrolik kriko tarafından platforma iletilen yük, bu platformun bağlı olduğu ve detayları Şekil 1.2’de gösterilen deney çerçevesi tarafından deney elemanına uygulanmıştır.

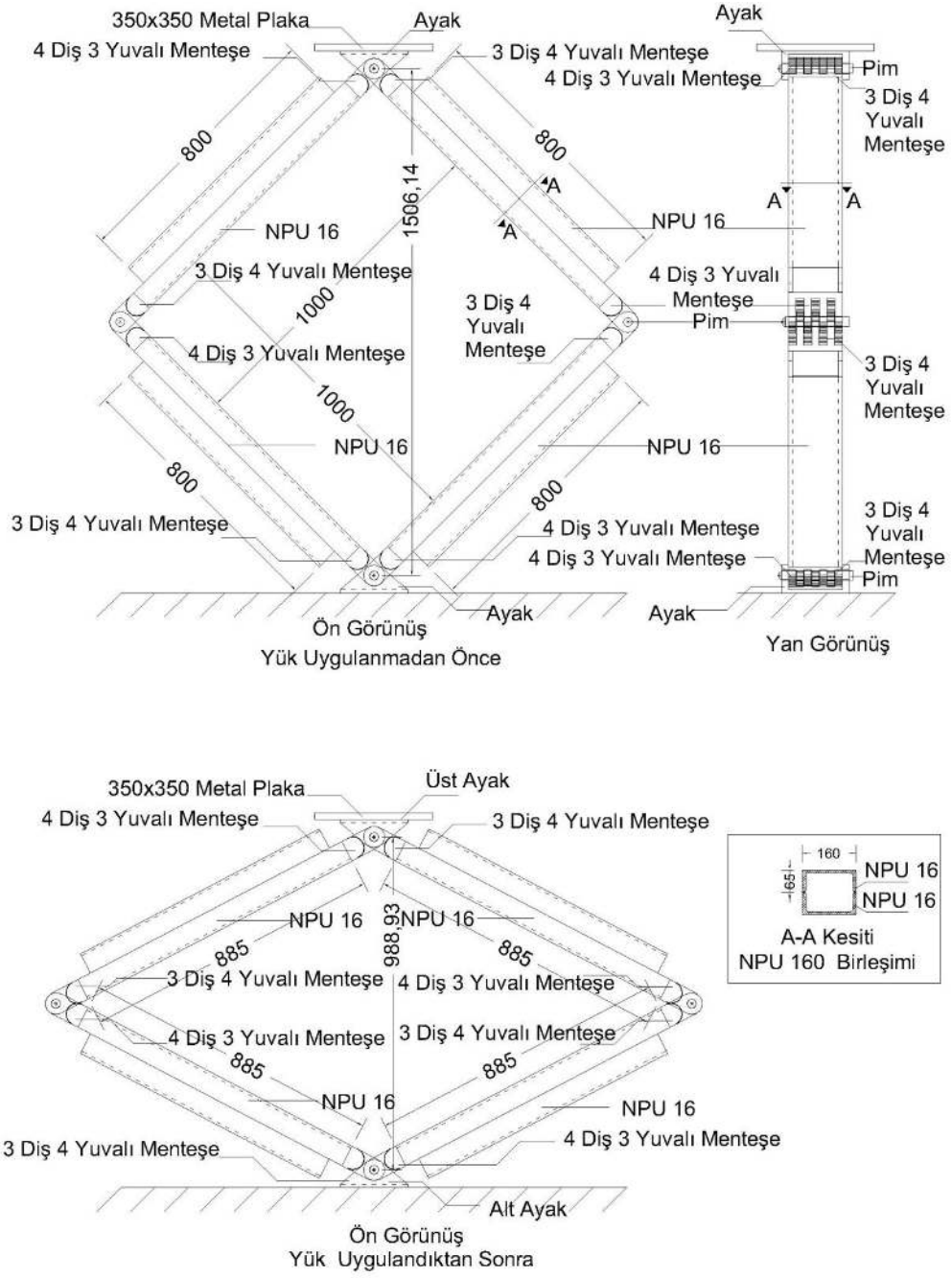
Elemanlara uygulanan yüklerin ölçülmesinde deney platformunun üst tablasına bağlı olan bir yük hücresi kullanılmıştır. Resim 1.1. ve Şekil 1.3’de görülen uygun adaptör tasarlanıp üretilerek, yük hücresi deney platformunun tam ortasına yerleştirilmiştir.

Uzunluğu 45cm olan hidrolik krikonun stabilitesinin bozulmaması için Resim 1.2’de gösterilen düzeneğe tasarlanıp üretilerek, hidrolik kriko dört kenarından U80 profillerle desteklenmiştir. Yine, uygun adaptör tasarlanıp üretilerek, hidrolik krikonun üzerine 30x30 cm ebatlarında 4 cm kalınlığında rijit çelik bir plaka yerleştirilmiştir (Resim 1.2 ve Şekil 1.3). Deney çerçevesinin alt tabanı bu plakaya oturmaktadır. Deney çerçevesinde oluşabilecek beklenmeyen durumlara karşı, deney platformunun tabanından 216 cm yükseklikte yer almak üzere, Resim 1.3’te görülen düzeneğe tasarlanıp üretilerek U80 profillerle iki yana güvenlik dayanakları oluşturulmuştur. Deney esnasında deney çerçevesine yük verilene kadar, geçici stabilite 3 mm kalınlığındaki çelik halatlarla sağlanmıştır.

Deney çerçevesindeki mafsalların detayları Şekil 1.4’de gösterilmektedir. Deney çerçevesinin deney platformuna bağlı olan hidrolik kriko ve yük hücresine oturmasına sağlayan mesnet ayaklarının (Resim 1.4) detayları Şekil 1.5’te ve Şekil 1.6’da gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Deney platformu detayları

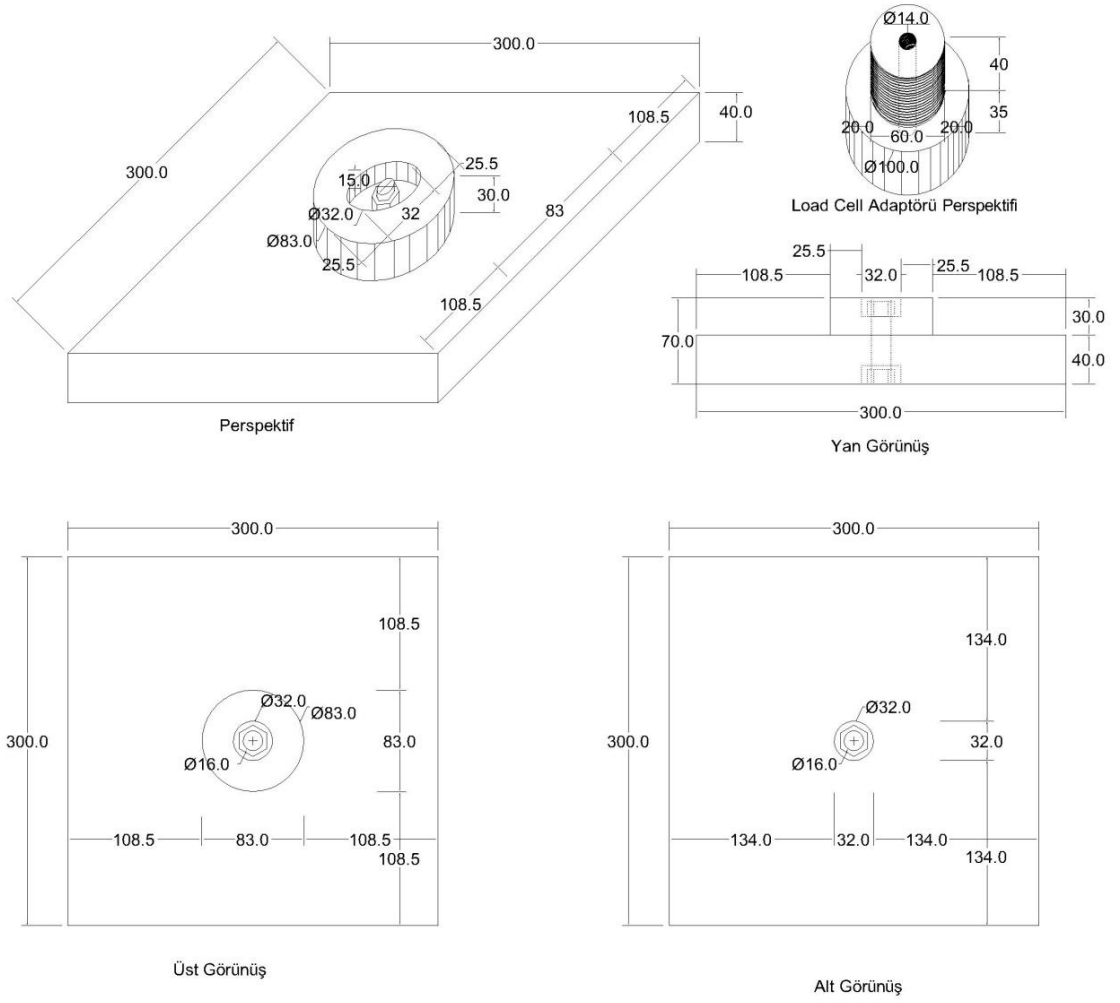


Not. Tüm ölçüler milimetre cinsindendir.

Şekil 1.2. Deney çerçevesi detayları



Resim 1.1. Yük hücresi (Load cell) ve bağlantı adaptörü



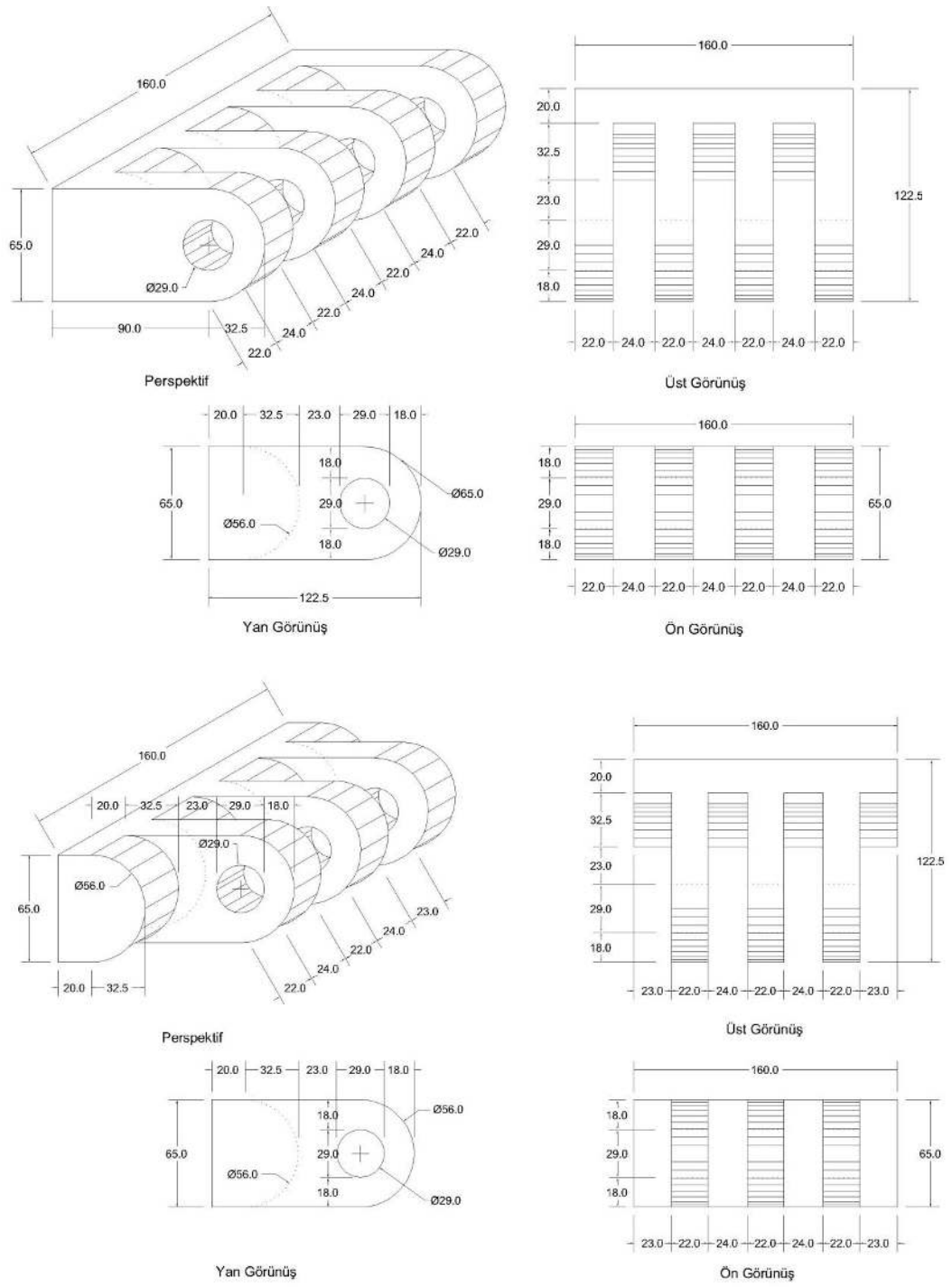
Şekil 1.3. Kriko ve yük hücresi bağlantı adaptörlerinin detayları



Resim 1.2. Hidrolik kriko sabitleme düzeneği ve kriko üstüne adaptörle yerleştirilen rijit plaka



Resim 1.3. U80 profillerle oluşturulan güvenlik dayanakları

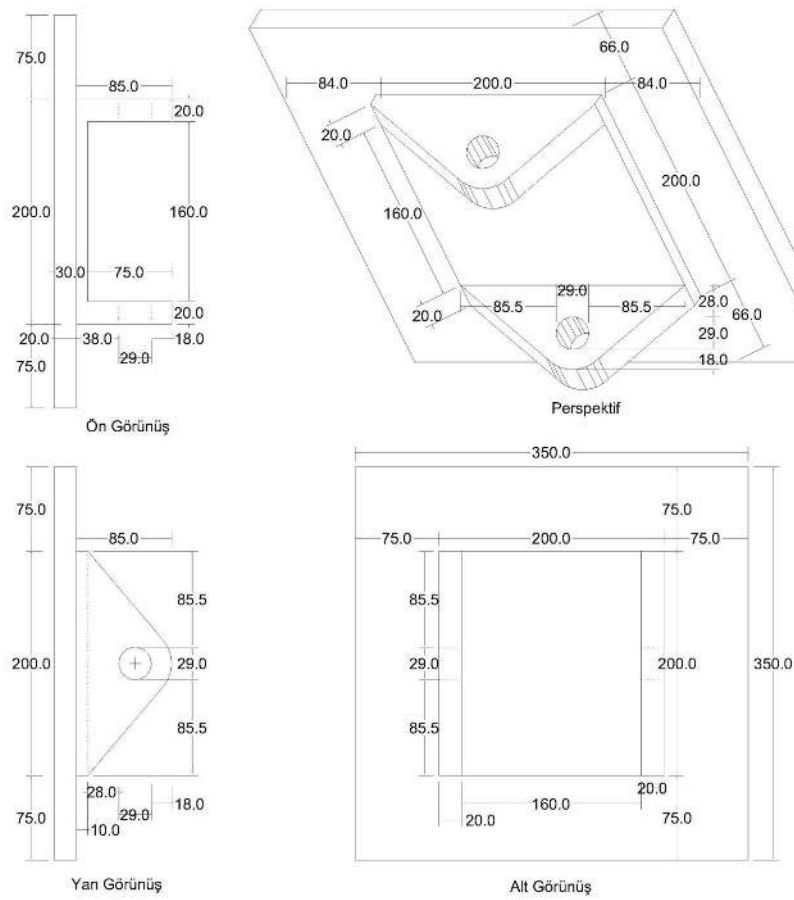


Not: Tüm ölçüler milimetre cinsindendir.

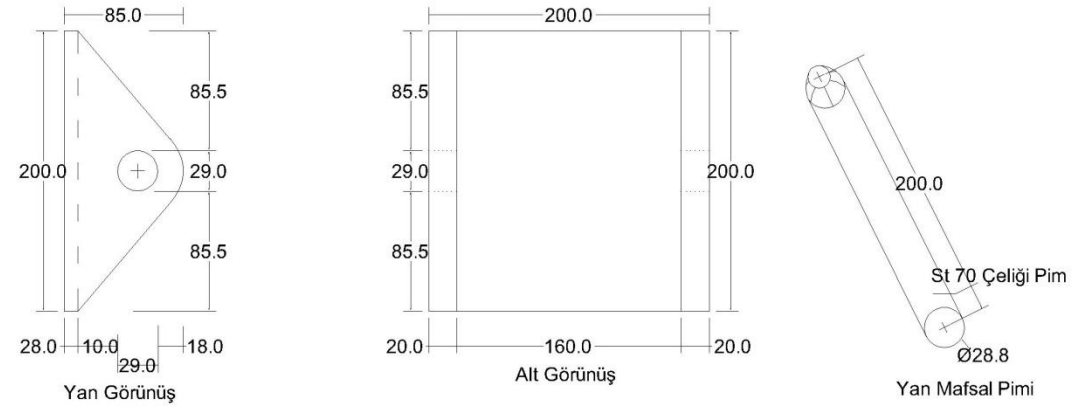
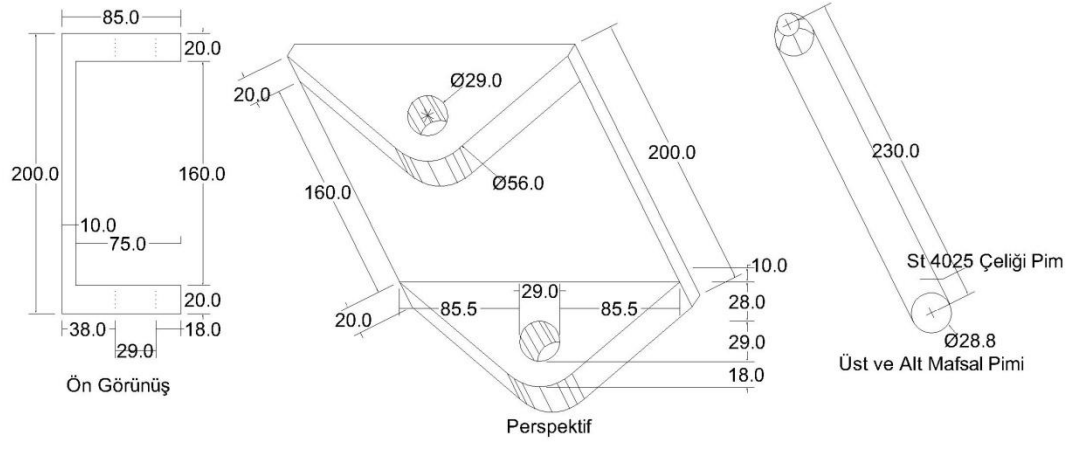
Şekil 1.4. Deney çerçevesi mafsallarının detayları



Resim 1.4. Deney çerçevesi alt ve üst mafsalsal mesnet ayağı



Şekil 1.5. Deney çerçevesi üst mesnet ayağı detayları



Not: Tüm ölçüler milimetre cinsindendir

Şekil 1.6. Deney çerçevesi alt mesnet ayağı detayları

KAYNAKLAR

1. Sevil, T., Baran, M. ve Canbay E., “Tuğla Dolgu Duvarların B/A Çerçevesi Yapıların Davranışına Etkilerinin İncelenmesi; Deneysel ve Kuramsal Çalışmalar”, *Int. J. Eng. Res. Dev.*, 2:35-42 (2010).
2. Marjani, F., Ersoy, U., “Behavior of Brick Infilled Reinforced Concrete Frames Under Reversed Cyclic Loading”, *ECAS2002 International Symposium on Structural and Earthquake Engineering*, ODTU, Ankara, 143-150, (2002).
3. Schwegler, G., ve Kelterborn, P., “Earthquake Resistance of Masonry Structures Strengthened with Fiber Composites”, *Proceedings of 11th Conference on Earthquake Engineering*, Acapulco, Mexico (1996).
4. Triantafillou, T. C., “Strengthening of Masonry Structures Using Epoxy-Bonded FRP Laminates”, *J. Compos. Construct. ASCE*, 2:96-104 (1998).
5. Vandergrift, J., Gergely, J., Joung, D.T., “CFRP Rertrofit of Masonary Walls”, *Proceedings of the Third International Conference on Composites in Infrastructure ICCI 02*, San Francisco, CA, USA (2002).
6. Ozcebe, G., Ersoy, U., Tankut, T., Erduran, E., Keskin, R. S. O. ve Mertol, H. C., “Strengthening of Brick Infilled RC Frames with CFRP”, *SERU-Struct. Eng., Research Unit, Rep. No. 2003/1*, TUBITAK-METU, Ankara, (2003).
7. Erdem, I., Akyuz, U., Ersoy, U., ve Ozcebe, G., “An Experimental Study on Two Different Strengthening Techniques for RC Frames”, *Eng. Struct.*, 28:1843-1851 (2006).
8. El-Dakhkhni, W. W., Hamid, A. A., Hakam, Z. H. R., ve Elgaaly, M., “Hazard Mitigation and Strengthening of Unreinforced Masonry Walls Using Composites”, *Compos. Struct.*, 73:458-477 (2006).
9. Binici, B., Ozcebe, G., ve Ozcelik, R., “Analysis and Design of FRP Composites for Seismic Retrofit of Infill Walls in Reinforced Concrete Frames”, *Compos. Part B: Eng.*, 38:575-583 (2007).
10. DBYBHY, “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara, Türkiye (2007).
11. FEMA 356, “Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings”, *ASCE Federal Emergency Management Agency*, Washington D.C., U.S.A. (1998).

12. Altin, S., Anil, O., Kara, M. E., ve Kaya, M., “An Experimental Study on Strengthening of Masonry Infilled RC Frames Using Diagonal CFRP Strips”, *Compos. Part B: Eng.*, 39:680-693 (2008).
13. Triantafillou, T. C. ve Papanicolaou, C. G., “Shear Strengthening of Reinforced Concrete Members with Textile Reinforced Mortar (TRM) Jackets”, *Mater. Struct.*, 39:93-103 (2006).
14. Triantafillou, T. C., Papanicolaou, C. G., Zissimopoulos, P. ve Laourdekis, T., “Concrete Confinement with Textile-Reinforced Mortar Jackets”, *ACI Struct. J.*, 103:28-37 (2006).
15. Prota, A., Marcari, G., Fabbrocino, G., Manfredi, G. ve Aldea, C., “Experimental In-Plane Behavior of Tuff Masonry Strengthened with Cementitious Matrix-Grid Composites”, *J. Compos. Construct., ASCE*, 10:223-233 (2006).
16. Papanicolaou, C. G., Triantafillou, T. C., Karlos, K. ve Papathanasiou, M., “Textile-Reinforced Mortar (TRM) versus FRP as Strengthening Material of URM Walls: In-Plane Cyclic Loading”, *Mater. Struct.*, 40:1081-1097 (2007).
17. Papanicolaou, C. G., Triantafillou, T. C., Papathanasiou, M. ve Karlos, K., “Textile-Reinforced Mortar (TRM) versus FRP as Strengthening Material of URM Walls: Out-of-Plane Cyclic Loading”, *Mater. Struct.*, 41:143-157 (2008).
18. Papanicolaou, C. G., Triantafillou, T. C., ve Lekka, M., “Externally Bonded Grids as Strengthening and Seismic Retrofitting Materials of Masonry Panels”, *Construct. Buil. Mater.*, 25:504-514 (2011).
19. Kahn, L. F., “Shotcrete Retrofit for Unreinforced Brick Masonry”, *Proceedings of 8th World Congress on Earthquake Engineering*, San Francisco, CA, USA, 583-590 (1984).
20. ElGawady, M. A., Lestuzzi, P. ve Badoux, M., “Retrofitting of Masonry Walls Using Shotcrete”, *Proceedings of 2006 New Zealand Society for Earthquake Engineering Conference*, Napier, New Zealand, 45-53 (2006).
21. Sevil, T., Baran, M., Bilir, T. ve Canbay, E., “Use of Steel Fiber Reinforced Mortar for Seismic Strengthening”, *Construct. Build. Mat.*, 25:892-899 (2011).
22. Taghdi, M., Bruneau, M. ve Saatcioglu, M., “Seismic Retrofitting of Low-Rise Masonry and Concrete Walls Using Steel Strips”, *ASCE J. Struct. Eng.*, 126:1017-1025 (2000).
23. Taghdi, M., Bruneau, M. ve Saatcioglu, M., “Analysis and Design of Low-Rise Masonry and Concrete Walls Retrofitted Using Steel Strips”, *ASCE J. Struct. Eng.*, 126:1026-1032 (2000).

24. Farooq, S. H., Ilyas, M. ve Ghaffar, A., “Technique for Strengthening of Masonry Wall Panels Using Steel Strips”, *Asian J. Civ. Eng.*, 7:621-638 (2006).
25. Özbek, E. ve Can, H., “Dolgu Tuğla Duvarların Çelik Profillerle Güçlendirilmesi”, *Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der.*, 27:921-929 (2012).
26. Sonuvar, O., “Hysteretic Response of Reinforced Concrete Specimens Repaired by Means of Reinforced Concrete Infills”, PhD Thesis, *Department of Civil Engineering, Middle East Technical University*, Ankara, Turkey (2001).
27. Duvarcı, M., “Seismic Strengthening of Reinforced Concrete Frames with Precast Concrete Panels”, Masters Thesis, *Department of Civil Engineering, Middle East Technical University*, Ankara, Turkey (2003).
28. Acun, B. ve Sucuoğlu, H., “Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Hasır Donatı ile Güçlendirilmesi”, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 965-971 (2005).
29. Araki, H., Yasojima, A. ve Kagawa, J., “Strength of Masonry Walls Retrofitted with Epoxy Resin Injection”, *Appl. Mech. Mater.*, 82:545-550 (2011).
30. Bu, C., Li, Y. ve Salih, O. A., “Experimental Study on Seismic Behavior of Masonry Walls Retrofitted Using Epoxy Resin Injection”, *Appl. Mech. Mater.*, 94-96:1373-1377 (2011).
31. Akyüz, U., Tankut, T., Ersoy, U., Özcebe, G., Karadoğan, F., İlki, A., Yüksel, E., Özden, Ş., Baran, M., Özdemir, G., Demir, C., “Mevcut Binalar İçin Güçlendirme Yöntemleri Geliştirilmesi”, *Proje No:1011004 (İÇTAG-I575)*, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mekaniği Labaratuvarı, ODTÜ, Ankara, (2005).
32. Baran, M. ve Tankut, T., “Experimental Study on Seismic Strengthening of Reinforced Concrete Frames by Precast Concrete Panels”, *ACI Struct. J.*, 108:227-237 (2011).
33. Sayın, B. ve Kaplan, S. A., “Deprem Etkisi Altındaki Betonarme Yapılarda Dolgu Duvarların Modellenme Teknikleri”, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 474-480 (2005).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Mahmut SEYDANLIOĞLU
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 07.11.1967; Şanlıurfa
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 532 3373804
 Faks :
 e-mail : mseydanlioglu@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü	1990
Lise	Urfa Lisesi	1984

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1993-2011	Bayındırlık ve İskan Bakanlığı	Başmüfettiş
2011-	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı	Başmüfettiş

Yabancı Dil

İngilizce, Almanca, Fransızca

Hobiler

Yağlıboya Resim, Trekking, Yüzme, Jogging, Bisiklet