



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME ÇERÇEVELİ YAPILARDA DOLGU DUVARLARIN GÜÇLENDİRİLMESİ

Ahmet KILIÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Kasım-2012
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BETONARME ÇERÇEVELİ YAPILARDA DOLGU DUVARLARIN GÜÇLENDİRİLMESİ

Ahmet KILIÇ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. H. Hüsnü KORKMAZ

2012, 116 Sayfa

Jüri
Yrd. Doç. Dr. Yunus DERE
Doç. Dr. H. Hüsnü KORKMAZ
Yrd. Doç. Dr. Ali KÖKEN

Bilindiği üzere, Türkiye'nin önemli bir bölümü şiddetli deprem oluşumlarının sık görüldüğü zeminler üzerine kuruludur ve mevcut yapılarının çok büyük bir bölümünün orta şiddetteki depremlere dahi dayanamayacak düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Bu yapıların tamamen yıkılıp yerlerine yeniden dayanıklı yapılar inşa edilmesi pratik bir çözüm olmaktan uzak olduğu gibi oldukça maliyetli bir uygulama olacaktır. Bu sebeple daha az maliyetli ve pratik olmasından ötürü, mevcut yapıların depreme karşı uygun çözümlerle güçlendirilmesi şeklindeki uygulamalar ön plana çıkmaktadır ve önem kazanmaktadır. Bu çalışmada çerçeveli yapı içerisinde mevcut olan dolgu duvarların hasır çelik uygulaması ve üzerine sıva kaplanması ile güçlendirilmesi üzerine deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Uygulamada görülen tasarım ve imalat kusurlarına sahip, malzeme dayanımları yetersiz olacak şekilde 2 katlı ve tek açıklıklı bir betonarme çerçeve sistemi imal edilmiştir. Deney sistemi 1/2 oranında olup, 5 adet farklı numune (betonarme boş çerçeve, sadece dolgu duvarlı betonarme çerçeve ile hasır çelik ve sıva kaplamasının farklı şekillerde kullanıldığı 3 adet farklı numune) oluşturularak birbirileri ile kıyaslama yapılmıştır ve sonuçlar incelenmiştir. Elde edilen bulgulardan hasır çelik ve sıva ile güçlendirme uygulamasının çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini ve yatay rijitliğini arttırdığı gözlemlenmiş olsa da bu güçlendirme metodunun tek başına uygulanması ile şartnamelerin belirtmiş olduğu performans değerlerine ulaşılamadığı tespit edilmiştir. Mevcut çerçevenin yetersiz bindirme boyları, yetersiz donatılı kolon-kiriş birleşimleri nedeniyle bu güçlendirme uygulaması istenilen değerlere ulaşılmasında tek başına etkili olamamaktadır. Bu nedenlerle; bir yapının taşıyıcı sisteminin deprem performansının artırılabilmesi için ilk olarak binanın detaylı olarak incelenmesi, bindirme boyu yetersizlikleri ile birleşim bölgelerinin takviyelerinin yapılmasının yanı sıra güçlendirme detaylarının kusursuz olarak imal edilmesi ve güçlendirme işlemlerinin mutlaka yetkin mühendislerce gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: betonarme çerçeve, dolgu duvar, güçlendirme, hasır çelik

ABSTRACT

MS THESIS

STRENGTHENING OF IN-FILL WALLS OF REINFORCED CONCRETE FRAME STRUCTURES

Ahmet KILIÇ

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CIVIL ENGINEERING

Advisor: Associate Prof. Dr. H. Hüsnü KORKMAZ

2012, 116 Pages

Jury
Assistant Prof. Dr. Yunus DERE
Associate Prof. Dr. H. Hüsnü KORKMAZ
Assistant Prof. Dr. Ali KÖKEN

It is well known that vast majority of Turkey's settlement is prone to frequent, massive earthquakes and observations indicate that main portion of the existing buildings are not ready to resist even medium sized earthquakes. Demolishing and new construction of these insufficient structures is far from being a practical and cost-effective choice. Thus, strengthening of existing structures against earthquakes applying optimum solutions come out as a more applicable and affordable alternative. Through this study, experimental work had been carried out to examine the results for strengthening of existing in-fill walls of the frame structure applying wire mesh and plaster cover.

In order to carry out the experiments; a 2 story high, single span reinforce concrete frame is deliberately constructed defectively comprised of low strength material and bearing design flaws in order to reflect actual conditions. The framework is 1/2 scale and 5 different models (empty reinforced concrete frame, reinforced concrete frame with in-fill wall along with various applications of wire mesh and plaster over reinforced concrete frame with in-fill wall) were created to compare with each other and analyse the outcome. The results made it clear that strengthening method using wire mesh and plaster cover had increased lateral rigidness along with the lateral load bearing capacity of the frame but the sole application of the method does not help to grant expected performance values set by the standards. Due to insufficient rebar overlapping and improper column-beam connections this strengthening method is not effective to grant these performance values on its own. Therefore; in order to improve earthquake resistance capacity of a structure, initially the building should be thoroughly examined, insufficient rebar overlapping and weak column-beam connection zones should be stiffened and afterwards strengthening elements should be constructed flawlessly and strengthening procedures should be carried out by competent engineers.

Keywords: in-fill wall, reinforced concrete frame, strengthening, wire mesh

ÖNSÖZ

Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde, hazırlamış olduğum bu Yüksek Lisans tezi çalışması süresince bana her konuda destek olan, bilgi ve emeğini esirgemeyen çok değerli Sayın Doç. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ hocama katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Lisans eğitimim ve yüksek lisans çalışmam sırasında bana güvenen ve yalnız bırakmayan çok sevdiğim aileme de teşekkür etmeyi borç bilirim.

Ahmet KILIÇ
KONYA-2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Türkiye'deki Betonarme Binalardaki Yapı Kusurları ve Van 2011 Depreminden Hasar Örnekleri 3
1.1.1. Enkaz Haline Gelen Binalar 3
1.1.2. Katların Üst Üste Yığılması 4
1.1.4. Zayıf Kat Üzerine Yıkılma 5
1.1.5. Ağır Hasarlı Binalar 6
1.1.6. Dolgu Duvar Hasarları 8
1.2. Dolgu Duvarların Yatay Yükler Altındaki Çerçevelerin Davranışına Etkisi 9
1.3. Dolgu Duvarlar ve Güçlendirme 10
1.3.1 Dolgu Duvarların Hasır Çelik Donatılı Özel Sıva ile Güçlendirilmesi 10
1.3.2 Lifli Polimer Uygulaması 10
1.3.3 Prefabrik Beton Panel Uygulaması 11
1.4. Amaç ve Kapsam 13

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **15**

3. DENEY DÜZENEĞİ VE NUMUNELERİN OLUŞTURULMASI **32**

3.1. Deney Numunesinin Özellikleri 32
3.2. Tuğla Duvar Üretimi 37
3.3. Kaldırma Aparatı İmalatı 39
3.4. Seyyar Vinç Montesi 41
3.5. Platform İmalatı 42
3.6. Kalıpların İmalatı 42
3.7. Yükleme Sistemi İmalatı 44
3.8. Veri Toplama Sistemi Hazırlığı 49
3.9. Veri Değerlendirme 52

4. DENEYSEL ÇALIŞMA **55**

4.1. Referans Boş Çerçeve RFB1 55
4.2. Referans Dolgu Duvarlı Çerçeve RISPS2 65
4.3. Deney Numunesi SPS1 76
4.4. Deney Numunesi SPS2 86
4.5. Deney Numunesi SPS3 95

5. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI ve DENEYLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ 105

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 113

6.1 Sonuçlar 113
6.2 Öneriler 113

KAYNAKLAR 114

ÖZGEÇMİŞ 117

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A_d : Dolgu duvarı yatay kesit alanı,
a_d : Eşdeğer basınç çubuğu genişliği, mm
$b_{min,max}$: Etriye aralığı
e_x, e_y : Eksantrisite değerleri
$E_ç$: Çerçeve betonu elastisite modülü, kg/cm^2
E_d : Dolgu elemanı elastisite modülü, kg/cm^2
f_c : Betonarme çerçevede kullanılan betonun basınç dayanımı, MPa
f_d : Dolgu duvarı basınç gerilmesi dayanımı
f_{yd} : Hasır donatının akma dayanımı
h : Betonarme çerçeve yüksekliği, m
h_d : Dolgu elemanı yüksekliği, m
h_k : Kolon boyu, mm
I_k : Kolon atalet momenti, mm^4
k_d : Köşegen basınç çubuk elemanın eksenel rijitliği
KM : Kütle Merkezi
l_{min} : Çerçeve ankraj derinliği minimum değeri, mm
L : Betonarme çerçeve boyu, m
Lb : Betonarme çerçevede bırakılan boşluğun boyu, m
Ma, Mü : Varsayılan alt-üst kolon momentleri
r_d : Dolgu duvar köşegen uzunluğu, mm
R : Yapı davranış katsayısı
RM : Rijitlik Merkezi
s_{max} : Çerçeve ankraj çubuğu aralığı maksimum değeri, mm
V_d : Güçlendirilmiş dolgu duvarın kesme kuvveti dayanımı
V_t : Yatay taban kesmesi, t
t_d, h_d : Güçlendirilmiş duvarın kalınlığı ve yüksekliği, mm
T_x : Yatay periyot, sn
T_z : Düşey periyot, sn
T_1 : Deney numunesi net tepe deplasmanı
T_2 : Deney numunesi net orta kat deplasmanı
ρ : Dolgu duvar kesitindeki hasır donatı oranı, %
$\rho_{kiriş}$: Kirişlerde boyuna donatı oranı
ρ_{kolon} : Kolonlarda boyuna donatı oranı
ρ_{sh} : Duvardaki yatay gövde donatılarının duvar brüt enkesit alanına oranı
η_1 : Deney numunesi orta kat yatay deplasmanı değeri
η_2 : Deney numunesi temelinin yatayda olası hareketinin değeri
θ : Eğim açısı
ϕ : Donatı çapı, mm
$\sum$: Toplam
τ_d : Güçlendirilmiş dolgu duvarın kayma gerilmesi dayanımı

Kısaltmalar

BAP	: Bilimsel Araştırma Projeleri
LP	: Lifli Polimer
LVDT	: Numunedeki ötelenme miktarını ölçmede kullanılan elektronik cetvel (Linear variable differential transformer)
MRIF#1	: Dolgu duvarlı betonarme çerçeve deney elemanı-1
MRIF#2	: Dolgu duvarlı betonarme çerçeve deney elemanı-2
MRIF#3	: Dolgu duvarlı betonarme çerçeve deney elemanı-3
RFB1	: Deney Numunesi-1 Betonarme boş çerçeve
RISPS2	: Deney Numunesi-2 RFB1 numunesi ile aynı özelliklerde olan ancak tuğla duvar ile takviye edilmiş, hasır çelik eklenmemiş deney numunesi
SPS1	: Deney Numunesi-3 İlk 2 numune ile aynı betonarme çerçeveye sahip olan ancak tuğla duvar, 1 sıra hasır çelik ve 1,5 cm kalınlığında sıva uygulanmış deney numunesi
SPS2	: Deney Numunesi-4 SP1 numunesi ile aynı betonarme çerçeve, tuğla duvar ve hasır oranına sahip olan ancak 2,5 cm kalınlığında sıva uygulanmış deney numunesi
SPS3	: Deney Numunesi-5 SP2 numunesi ile aynı betonarme çerçeve, tuğla duvar, hasır oranı ve sıva kalınlığına sahip olan ancak kolon-kiriş birleşimlerinde ve temeldeki bindirme boyu yetersizlikleri giderilmiş deney numunesi
SAP 90, 2000	: Yapısal Analiz yazılımı
TDY	: Türk Deprem Yönetmeliği
TS	: Türk Standartları
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

1. GİRİŞ

Betonarme çerçeveli yapılarda güçlendirme kavramının çıkış noktası; bu yapıların gerek tasarım ve yapım aşamalarındaki hata ve eksiklikler yüzünden yapının kullanım aşamasında hasar görmesi sonucunda ortaya çıkan iyileştirme gerekliliğidir. Deprem vb. yıkıcı etkiler altında bu kusurlar, etkenin şiddetine de bağlı olarak yapıların tamamen enkaz haline gelmesine veya ağır hasar almasına sebebiyet vermektedirler. Bu hasarların oluşumdan önce önlem olarak yeteri dayanıma sahip olmadığı tespit edilen yapıların yıkılarak yeniden yapılması pratik ve ekonomik bir çözüm olmaktan uzaktır. Bu durum da, pratik ve ekonomik bir çözüm arayışına gidilmesine neden olmuştur ve güçlendirme gibi yöntemlerin geliştirilmesi ihtiyacı bu noktadan ortaya çıkmaktadır.

Güçlendirmedeki temel felsefe; deprem vb. yıkıcı etkenlere karşı yapı elemanlarının hasar görmesini mümkün olabildiğince engellemek ve bu sayede yapının yıkılmasının veya kullanılamaz hale gelmesinin önüne geçmektir. Çok şiddetli etkenlere karşı yapının hiç bir zarar almamasını sağlamak, güçlendirme yöntemi ile gerçekleştirilemeyecektir ancak güçlendirme sayesinde yapı içerisinde bulunan canlı ve cansız varlıkların tahliye edilebilmesini sağlamak mümkün olabilecektir.

Türkiye'deki yapılaşmanın ağırlıklı olarak betonarme sistemler olması ve bu yapılardaki kusurların fazla olması, ülkemizin dünyanın en aktif deprem bölgelerinden biri olması ve ülkemizdeki şartnameler göz önünde bulundurulursa, bu yapıların güçlendirilmesi oldukça önem kazanan bir konu olmaktadır. Ülkemizde 1999 yılında meydana gelen Marmara depreminden sonra şartnamelerdeki şartlar yeniden gözden geçirilmiştir ve uyulması gereken kriterler ağırlaştırılmıştır. Yapılan incelemelere göre bu tarihten daha önce inşa edilmiş yapılar içerisinden, o dönemde mevcut olan şartnamelerdeki düşük kriterleri dahi sağlamayan binalar olduğu tespit edilmiştir. Bu tarihten sonra inşa edilen binalar içerisinde de, yeterli düzeyde denetleme sağlanamaması nedeniyle şartnamelere uymayan durumlar olduğu görülmüştür. (Bölüm 1.1'de bu konu ile ilgili detaylı bilgi ve örneklere yer verilmiştir). Özellikle şiddetli depremlerin gerçekleştiği bölgelerde bu gibi kusurlu yapıların doğru yöntemlerle güçlendirilmesi çok büyük önem kazanmaktadır.

Güçlendirme seçenekleri, betonarme yapılar göz önüne alındığında belirli taşıyıcı elemanlar bazında uygulanabildiği gibi, tüm taşıyıcı sistem bazında da uygulanabilmektedir. Taşıyıcı elemanlar bazında uygulanan güçlendirme döşemeleri kirişler, kolonlar vb. ile sınırlı kalmaktadır. Tüm taşıyıcı sistem üzerinden uygulanabilen güçlendirme seçenekleri ise; çelik eleman takviyesi, dolgu duvarların güçlendirmesi ve perde duvarlarla güçlendirme yapılması şeklinde olmaktadır. Ülkemizde kusurlu şekilde yapılmış olan betonarme binaların deprem vb. yatay yüklere karşı dayanımları yetersiz olduğu gibi bu binalar süneklik ve rijitlik gibi konularda da yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle ülkemizde sadece eleman düzeyinde güçlendirme yapmaktansa, taşıyıcı sistem bazında güçlendirme yaparak sistemin yatay yük taşıma kapasitesinin ve rijitliğinin arttırılması da gerekli olmaktadır.

Betonarme çerçeveli yapılarda sistem bazındaki güçlendirme; betonarme çerçevelerdeki boşlukların çapraz çelik elemanlarla takviye edilmesi, çerçeve boşluğuna betonarme yerinde dökme perde duvar ilave edilmesi, çerçeve dışından perde duvar eklenmesi ve sistemde mevcut dolgu duvarların dayanımlarının arttırılması gibi yöntemlerle gerçekleştirilmektedir.

Dolgu duvarların yapılarda mimari amaçlarla kullanılmaları ve mimari elemanlar olarak görülmeleri nedeniyle yapıların statik ve dinamik analizlerinde ihmal edilip sadece düşey olarak ele alındıkları bilinmektedir. (Bölüm 1.2'de bu konu ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir.) Öte yandan, dolgu duvarların dayanımlarının güçlendirme gibi yöntemlerle arttırılıp yapılarının yatay dayanım ve rijitliğine olası katkıları üzerinde araştırmalar da yapılmaktadır. Bu yüksek lisans çalışması da, betonarme çerçeveli yapılardaki dolgu duvarların güçlendirilmesi ile ilgili olarak TDY 2007'de yer verilen seçeneklerden (bu seçeneklere Bölüm 1.3'te detaylı olarak yer verilmiştir.) biri olan hasır çelik donatılı özel sıva ile güçlendirme yönteminin, elde edilebilecek dayanımın artışı ve çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesinde meydana gelebilecek artışın deneysel olarak incelenmesi üzerinedir.

1.1. Türkiye'deki Betonarme Binalardaki Yapısal Kusurlar ve Van 2011 Depreminden Hasar Örnekleri

Giriş bölümünde de belirtildiği üzere güçlendirme yöntemlerinin çıkış noktası yapılardaki tasarım ve yapım kusurları olmaktadır ki ülkemizde de bu kusurlarla sıklıkla karşılaşılmaktadır. Bu bölümde, 23 Ekim 2011 tarihinde gerçekleşen 7.2 şiddetindeki Van depreminin ardından Ortadoğu Teknik Üniversitesi tarafından yayınlanan gözlem raporundaki örnekler üzerinden ülkemizdeki betonarme binalarda yapılan tasarım ve yapım hataları ile sebebiyet verdikleri yapısal hasarlara yer verilecektir.

1.1.1. Enkaz Haline Gelen Binalar

Binaların tamamen göçerek enkaz haline gelmeleri, taşıyıcı elemanların ayırt edilemez olması gibi nedenlerle yapılan hataları tespit etmek neredeyse imkansız hale gelmektedir. Bu tip binalarda yapılan hatalar, enkazdaki malzemenin incelenmesi ve binanın kullanıcılarına iletilen sorular aracılığıyla anlaşılabilmiştir.



Şekil 1.1. Van 2011 depreminde enkaz haline gelen binalar

Bu hasarlara sebebiyet veren kusurlar özetle aşağıdaki gibidir:

- El ile ufalanabilecek ölçüde düşük kalitede beton, düz donatıların sıyrılması ile yetersiz sıklık ve çapta kullanılan etriyeler arasında burkulması
- Binaya sonradan ilave katlar çıkılması
- Giriş katlarında yer açmak için kolonların kesilmesi (galeri vb. dükkanlarda)

1.1.2. Katların Üst Üste Yığılması

Van 2011 depreminde yıkılan binalara verilebilecek değişik türden bir örnek ise, kat döşemelerinin üst üste yığılması sonucunda göçen binalardır.



Şekil 1.2. Van 2011 depreminde katların üst üste yığılması sonucu çöken binalar

Bu hasarlara sebebiyet veren kusurlar özetle aşağıdaki gibidir:

- Taşıyıcı sistemin yanal rijitliğinin düşük olması nedeniyle oluşan yüksek yanal ötelenme isteminin karşılanamaması
- Yanal rijitliği sağlayacak perdelerin olmaması
- Kirişlerin kolonlardan daha güçlü oluşu dolayısıyla plastik mafsalların kolonlarda oluşması gibi nedenlerden ötürü kolonların stabilitesini yitirmesi veya kiriş donatılarının sıyrılması sonucu birleşim bölgelerinden ayrılması

1.1.3. Yumuşak Kat Düzensizliği

Van 2011 depreminde en fazla karşılaşılan hasar durumunun yumuşak kat düzensizliği sonucunda yıkılan/kullanılamaz hale gelen binalar olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 1.3. Van 2011 depreminde yumuşak kat düzensizliği sonucunda hasar alan binalar

Bu hasarlara sebebiyet veren kusurlar özetle aşağıdaki gibidir:

- Binaların giriş katlarının, işyeri olarak kullanılması amacıyla bazen 6 metreye varan yüksekliklerde ve dolgu duvarlar kullanılmadan inşa edilmesi
- Yanal yükleri ve öteleme taleplerini karşılamak için perdelerin kullanılmaması
- Üst katların yumuşak katın üzerinde deforme olmadan ötelenmesi ve yumuşak kat kolonlarında oluşan plastik mafsalların stabiliteyi bozması

1.1.4. Zayıf Kat Üzerine Yıkılma

Diğerlerine göre daha nadir rastlanan bir durum ise; yanal rijitliğini belirli sebeplerden dolayı kaybeden katın üzerine diğer katların yıkılması sonucunda katın bulunduğu bölgeye bağlı olarak binanın tamamının veya kısmi bir bölgesinin ciddi hasar görmesi şeklindedir.



Şekil 1.4. Van 2011 depreminde zayıf kat üzerine yıkılan binalar

Bu hasarlara sebebiyet veren kusurlar özetle aşağıdaki gibidir:

- Binanın kat rijitliğindeki ani değişimden (örneğin kolon kesilmesi, dolgu duvarların kaldırılması vb.) dolayı yanal rijitliği zayıf olan katın göçmesi durumu

1.1.5. Ağır Hasarlı Binalar

Kolon uç bölgelerindeki plastik mafsallaşma sorunu Van 2011 depremi sonrasında yapılan incelemelerde sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Bu sorunun karşılaşıldığı bazı binaların yıkılmadan ayakta kalabildiği ancak çeşitli nedenlerle ağır hasar aldığı görülmüştür. Kolon uçlarındaki plastik mafsallaşma öncelikli sebeplerden biridir ancak binaların ağır hasar almasında başka etkenler de rol oynamıştır. Şekil 1.5'te Van 2011 depreminde ağır hasar alan binalara ve bu etkenlere yer verilmiştir.



Şekil 1.5.a Van 2011 depreminde ağır hasar alan ancak ayakta kalabilen binalar (ağır dolgu duvar hasarı ve kolon uç bölgelerinde plastik mafsallaşma)



Şekil 1.5.b Van 2011 depreminde ağır hasar alan ancak ayakta kalabilen binalar (perdenin binanın köşesinde olması)



Şekil 1.5.c Van 2011 depreminde ağır hasar alan ancak ayakta kalabilen binalar (plan düzensizliği)

Bu hasarlara sebebiyet veren kusurlar özetle aşağıdaki gibidir:

- Kolon uç bölgelerinde plastik mafsalların oluşması
- Yumuşak kat düzensizliği ve donatı detaylandırılmasında çiroz kullanılmaması
- Perde kullanılmasına rağmen perdenin binanın köşesine yerleştirilmesinden dolayı burulma etkisinin kolonları olumsuz etkilemesi
- Plan ve çerçeve düzensizliği, kısa kolon oluşumu
- Hasarlı kolonlarda etriye kancalarının 90° olması, yeterli sargı etkisi sağlanamaması ve etriyelerin kanca hizalarında açılması

1.1.6. Dolgu Duvar Hasarları

Özellikle Van ve Erciş il merkezlerinde gözlemlenmiş bir hasar türü ise dolgu duvar hasarlarıdır. Bu tip durumlarda binanın dolgu duvarlarında farklı boyutlarda hasarlar oluşmuştur ancak taşıyıcı sistemde hasar gözlemlenmemiştir.



Şekil 1.6. Van 2011 depreminde karşılaşılan dolgu duvar hasarları (soldan sağa doğru; hafif hasar, orta düzeyde hasar, ağır hasar)

Dolgu duvarlar, düzlem dışı stabiliteleri bozulmadığı ve betonarme çerçeve sisteminden ayrışmadığı sürece tersinir yanal yükler altında hasar alarak yanal rijitliğe katkı sağlamış ve benzer göçen binalar ile karşılaştırıldığında binanın ayakta kalmasını dahi sağlamıştır.

1.2. Dolgu Duvarların Yatay Yükler Altındaki Çerçevelerin Davranışına Etkisi

Yapılarda taşıyıcı çerçeve boşlukları mimari ihtiyaçlar doğrultusunda dolgu duvarlarla doldurulur. Dolgu duvarlar mimari elemanlar olarak görülmektedir ve bu nedenle statik ve dinamik analizlerde ihmal edilip yapıda sadece düşey yük olarak ele alınırlar. Dolgu duvarlar yapıda taşıyıcı eleman olarak ele alınmamalarına rağmen özellikle deprem gibi yatay yükler altında yapının davranışını olumlu / olumsuz yönde değiştirebilirler.

- Kiriş ve kolonlarla sınırlandırılmış dolgu duvarları perde duvar davranışına yaklaşarak yapının yanal rijitliğini ve dayanımını belli bir ölçüde arttırabilirler. (altında duvar olan kirişlerde düşey yükler altında da katkı sağlayabilirler.)
- Çatlak oluşumları ve ara yüzeylerdeki sürtünme yoluyla kayda değer düzeyde enerji tüketerek taşıyıcı sistemin enerji yutma kapasitesini arttırırlar.
- Büyük yer değiştirmeler oluşturdukları için sistemin hasar görmesinde etkileri olmaktadır.
- Bina kütlesini arttırdıkları için binanın periyodu kısalır ve bina daha çok sismik kuvvet çeker.
- Projede düzensiz şekilde konumlandırılmaları halinde yapının rijitlik merkezini önemli ölçüde değiştirip yapıda burulmaya yol açabilirler.

1.3. Dolgu Duvarlar ve Güçlendirme

TDY 2007'de belirtildiği üzere; bodrum hariç en fazla üç katlı binalarda uygulanmak üzere, temel üstünden yukarıya kadar üst üste süreklilik gösteren betonarme çerçeve içindeki dolgu duvarlarının rijitliği ve kesme dayanımı çeşitli güçlendirme yöntemleri ile arttırılabilir. Bu bölümde TDY 2007'de yer verilen güçlendirme metotları hakkında kısa bilgilere yer verilecektir.

1.3.1 Dolgu Duvarların Hasır Çelik Donatılı Özel Sıva ile Güçlendirilmesi

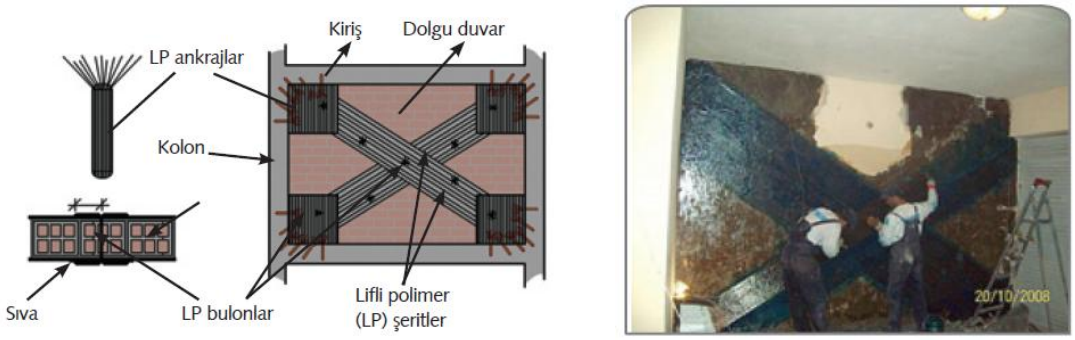
Yapılan yüksek lisans çalışmasının da konusu olan bu metot, dolgu duvarların hasır çelik donatı ve özel karışımlı sıva kullanılması şeklinde güçlendirilmesidir. (Şekil 1.7). Uygulamada kullanılacak olan özel sıva tabakasının karışımı, kalınlığı, hasır donatının aralıkları, malzeme özellikleri ve yapılacak uygulamanın tasarımıyla ilgili hesap ve kontroller TDY 2007'de belirtilen şartları sağlamalıdır.



Şekil 1.7. Dolgu Duvarların Hasır Çelik Donatılı Özel Sıva ile Güçlendirilmesi

1.3.2 Lifli Polimer Uygulaması

Uzunluğunun yüksekliğine oranı 0.5 ile 2 arasında olan dolgu duvarlarının rijitliği ve kesme dayanımı, duvar yüzüne uygulanan lifli polimerler (LP) ile Şekil 1.8'de gösterildiği şekilde arttırılabilir.

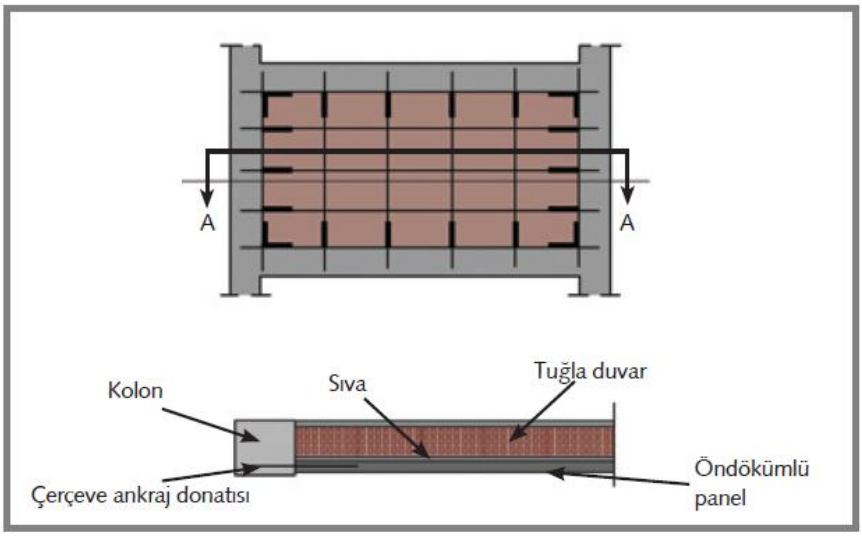


Şekil 1.8. Lifli Polimer Uygulaması

Lifli polimerlerin malzeme özellikleri, kalınlıkları, genişlikleri ve yapılacak uygulamanın tasarımıyla ilgili hesap ve kontroller Deprem Yönetmeliği'nde belirtilen koşulları sağlamalıdır. Köşeden köşeye uygulanan lifli polimer şeritlerinin dolgu duvara ankrajlanmaları epoksi kullanılarak sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Güçlendirilen dolgu duvarlarında oluşan kuvvetlerin zemine güvenle aktarılması için gerekli olan temel düzenlemesi de yapılmalıdır.

1.3.3 Prefabrik Beton Panel Uygulaması

Dolgu duvarlarının kesme dayanımı ve rijitliği, prefabrike (öndökümlü) beton panel elemanların Şekil 1.9'da görüldüğü şekilde kullanılması ile arttırılabilir. Bu tür güçlendirme, uzunluğunun yüksekliğine oranı 0.5 ile 2 arasında değişen duvarlara uygulanmalıdır.



Şekil 1.9. Prefabrike Beton Panel Uygulaması

Dolgu duvarların prefabrike beton panellerle güçlendirilmesinde, prefabrike beton paneller mutlaka çerçeve içinde kalacak şekilde ve tam ortalanarak yerleştirilmeli, çerçeveye yük aktarımı sağlanması için ankrajlar düzenlenmelidir Prefabrike beton paneller epoksi esaslı bir yapıştırıcıyla duvara tutturulmalı, panellerin malzeme özelliği, kalınlığı, üretimi ve yapılacak uygulamanın tasarımıyla ilgili hesap ve kontroller Türk Deprem Yönetmeliği'nde belirtilen koşulları sağlamalıdır.

1.4. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada TDY 2007 de "Bilgilendirme Eki 7f. Dolgu Duvarlarının Güçlendirilmesi İçin Yöntemler" bölümünde anlatılan bir güçlendirme yöntemi olan "Dolgu Duvarların Hasır Çelik Donatılı Özel Sıva ile Güçlendirilmesi" metodunun deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. 1/2 ölçekli betonarme numuneler bir takım tasarım ve imalat hatalarına sahip olacak şekilde üretilmiştir. Bu numunelere TDY2007de tarif edildiği şekilde dolgu duvar üzerine hasır çelik ve sıva uygulaması yapılarak, dayanım ve rijitliğe katkıları ve genel deprem davranışının incelenmesi ana hedeflerdir. Deney programında kullanılacak betonarme çerçevelerin tasarımında çalışmanın ülkemizdeki bilgi birikimine katkı sağlaması ve elde edilecek bulguların önceki benzer araştırmalarla karşılaştırılabilmesi amaçlanmıştır.

Hedeflenen amaçlara ulaşabilmek için, bu tez kapsamında 1/2 ölçekli, 5 adet çerçeve üretilmiş, bunlardan birincisi boş olarak, ikincisi dolgu duvarlı olarak, diğerleri de güçlendirme uygulanmış bir şekilde denenmiştir. Tüm deney elemanlarında betonarme çerçevenin geometrik boyutları ve donatı düzenlemesi aynıdır Deneylerde çerçeveye uygulanan yatay yük, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükleme türüdür (quasi-static). Kolonlara taşıma kapasitelerinin %10 u kadar eksenel yük verilmiştir. Çerçeve kolonlarında çekme kırılması hedeflendiği için, bu değer dengeli kırılma yük düzeyinin çok altında tutulmuştur.

Türkiye'de taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşan yapılarda gözlemlenen bazı kusurlar çerçeve deney elemanının tasarımında göz önünde bulundurulmuştur. Betonarme çerçeve zayıf kolon-güçlü kiriş birleşimli, yetersiz kesme dayanımına sahip kolon ve kirişlerden oluşturulmuştur. Kolon ve kiriş etriyelerinin kancaları 90° üretilmiştir. Ülkemizdeki mevcut betonarme yapıların çoğunda kullanılan betonun basınç dayanımı projede öngörülen dayanımdan düşüktür. Bu nedenle deney çerçevesinde kullanılan betonun basınç dayanımı pratikte karşılaşılan düşük beton dayanımını temsil edecek şekilde seçilmiştir. Deney elemanları tersinir tekrarlanır yatay yükleme altında test edilmiştir. Yükler deney elemanlarına her iki katta kirişler seviyesinden uygulanmıştır. İkinci kattan uygulanan kuvvetin (P2), birinci kattan uygulanan kuvvete (P1) oranı P2/P1=2'dir.

Kullanılan çerçeve deney elemanı, Türkiye'de taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşan yapılarda sıkça karşılaşılan bazı yapım kusurlarını içerecek şekilde tasarlanmıştır. Çerçevede kullanılan beton, basınç dayanımı yaklaşık fc=10 MPa olacak şekilde üretilmiştir.

Çalışmada kullanılan betonarme çerçevenin süneklik düzeyinin düşük olması amaçlanmıştır. ϕ8 mm çapında düz donatıdan üretilmiş etriyeler çerçevenin kolon ve kirişlerinde 150 mm aralıkla kullanılmıştır. Kolon etriyeleri kolon kiriş birleşim bölgelerinde devam ettirilmemiştir. Etriyeler kolon ve kirişlerde kancaları 90^o olacak şekilde açık olarak üretilmiştir.

Betonarme çerçevenin kolonlarında boyuna donatı olarak 4 adet ϕ10 mm çapında düz donatı kullanılmıştır. Kolonlarda boyuna donatı oranı ρ_{kolon}=0,008'dir.

Boyuna donatılar temel ve ikinci katta bindirmeli ek ile devam ettirilmiştir. Çerçevenin kirişlerinde boyuna donatı olarak kiriş kesitinin altında ve üstünde üçer adet olacak şekilde düzenlenmiş toplam 6 adet ϕ10 mm çapında düz donatı kullanılmıştır. Kirişlerde boyuna donatı oranı $\rho_{kiriş}$=0,008 dir.

Betonarme çerçeve rijit bir temele mesnetlenmiştir. Yüksekliği 400 mm, genişliği 500 mm olan temel kirişinde boyuna donatı olarak 16 adet ϕ16 mm çapında nervürlü donatı kullanılmış, ϕ10 mm çapında nervürlü donatıdan üretilmiş etriyeler 100 mm aralıklı ve bir kesitte iki adet olacak şekilde kullanılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Betonarme çerçevelerin çeşitli yöntemlerle güçlendirilmesine yönelik literatürde çok sayıda çalışma yer almaktadır. Yapılan deneysel çalışmalarda, çok farklı geometrik özelliklere sahip değişik geometrik ölçeklerde deney elemanları seçilmiştir. Literatürde çerçeveli yapıların deprem etkisini benzeştiren yatay yüklemeler altında test edilmesi ile ilgili birçok çalışma vardır. Bu bölümde sadece Türkiye'de yapılan belirli çalışmalar verilecektir.

Acun ve Sucuoğlu, (2005), Ortadoğu Teknik Üniversitesi yapı mekaniği laboratuvarında yaptıkları deney serilerine ek olarak, 1/3 ölçekli, tek açıklıklı, iki katlı betonarme çerçeve elemanlarında tuğla dolgu duvar üzerine çelik hasır tel uygulaması ile güçlendirme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Kullanılan hasır donatı oranı ile yüzeye uygulanan sıva dayanımı parametreleri değiştirilerek yürütülen deneylerden elde edilen sonuçlara göre önerilen tekniğin performansa katkısı araştırılmıştır. Sıva dayanımı ve donatı oranı parametrelerinin artımına bağlı olarak test edilen elemanların rijitlik ve yatay yük taşıma kapasitelerinde belirgin iyileşmeler gözlenmiştir.

Hazırlanan üç çerçeve elemanı, önerilen yöntemin değişik detayları uygulanarak güçlendirilmiş ve tersinir tekrarlanır yatay yük altında test edilmiştir. Güçlendirilen elemanların davranışı, Duvarcı (2003)'nın deney programında kullandığı birebir aynı özelliklere sahip tuğla dolgu duvarlı referans elemanıyla karşılaştırılarak sonuçlar irdelenmiştir. Test edilecek deney elemanları özel metal kalıplarda yatay düzlemde üretilmiştir. Temsil edilmek istenen betonarme yapı çerçevelerinin (zayıf çerçeve) özellikleri göz önünde bulundurularak hazırlanan donatılar, kalıp içerisine yerleştirildikten üretilen düşük dayanımlı beton dökümü gerçekleştirilmiş ve elemanlar küre alınmıştır.

Üretilen deney elemanları yeterli dayanımı kazandıklarında ayağa kaldırılarak yine özel olarak üretilmiş tuğlalarla dolgu duvarları örülmüştür. Dolgu duvar örümü için tuğlalar bir yüzeye birebir hizalanmış (dış yüzey), böylelikle diğer yüzeyde daha sonra çelik hasır tel uygulanabilmesi için girinti oluşturulmuştur (iç yüzey). Duvar örülmesinin hemen ardından her iki yüzey de sıvanmıştır. Sıvanın yeterli dayanımı

kazanması için gerekli süre beklendikten sonra temsil edilmek istenen gerçek yapı çerçevesi için şartların oluştuğu kabul edilerek güçlendirme işine başlanmıştır.

Aynı özelliklere sahip üretilen üç dolgu duvarlı betonarme çerçeve elemanından ilki (MRIF#1) düşük dayanımlı sıva (5.5 MPa) ve tek sıra hasır donatı (duvar kesitindeki hasır donatı oranı ρ=%0.043) kullanılarak güçlendirilmiştir.

Deney elemanlarından ikincisi (MRIF#2), duvar yüzeyine uygulanan sıva dayanımının etkisini incelemek amacıyla ilk elemandan daha güçlü sıva kullanılarak güçlendirilmiştir. Yüzeydeki hasır donatı oranı ilk elemanla aynı tutulmuştur.

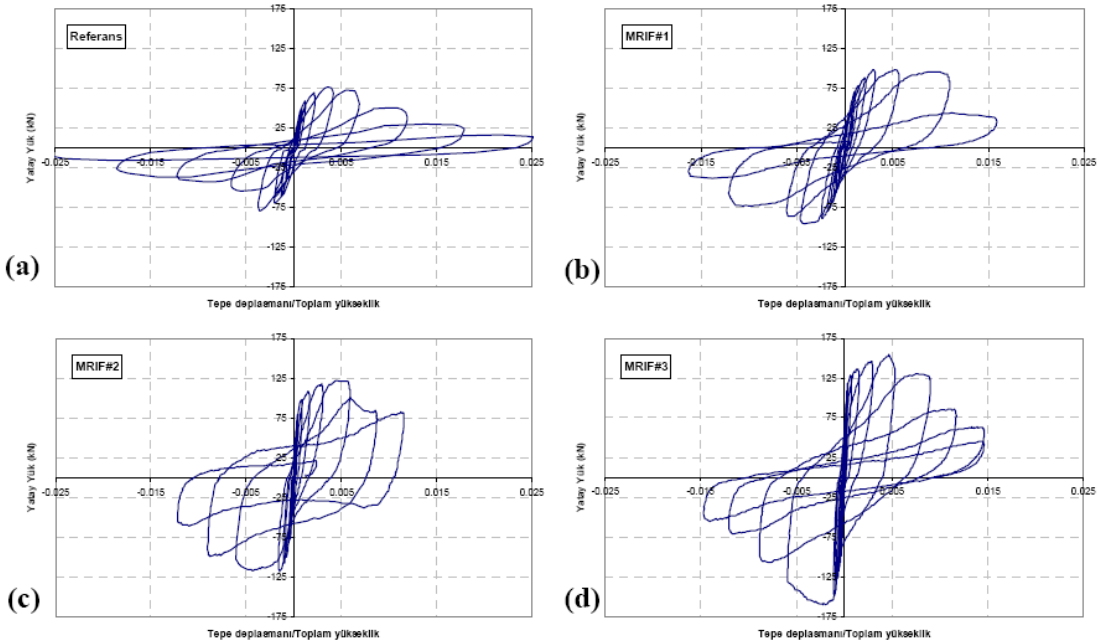
Üçüncü deney elemanında (MRIF#3) ise ikinci deney elemanında kullanılan sıva dayanımının aynısı kullanılmış, duvar yüzeyine çift sıra hasır donatı (ρ=%0.086) uygulanarak güçlendirme gerçekleştirilmiştir.

Referans elemanı beklenen çerçeve davranışı göstermiştir. İleri yük çevrimlerinde ilk kat dolgu duvarında kesme çatlakları oluşmuştur. Kolonlarda eğilme çatlakları ile kolon-kiriş birleşim bölgesinde kesme çatlakları gözlenmiştir. Dolgu duvar ile çerçeve arasında ayrışma gerçekleştikten sonra deney elemanı rijitliğini büyük oranda kaybetmiştir.

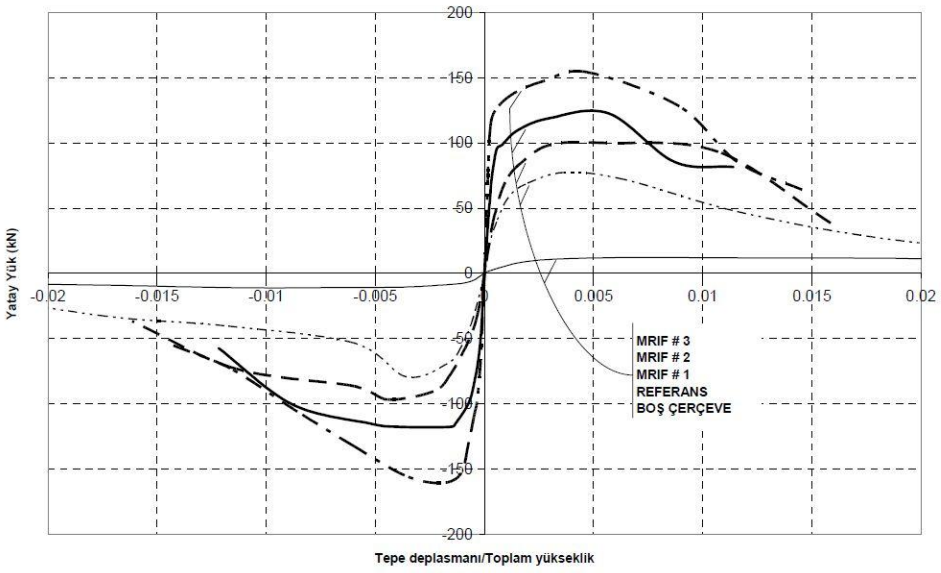
Güçlendirilmiş ilk elemanda (MRIF#1) referans elemanına göre rijitliğin arttığı gözlenmiştir. Yatay yük kapasitesinde artım ise yaklaşık 1.3 kat olmuştur. Deney sonunda dolgu duvar üzerinde yapılan incelemede, lokal olarak bazı bölgelerde sıvanın hasır donatı ile duvar yüzeyi arasına iyi yerleşmediği görülmüştür. Her ne kadar güçlendirilen elemanda dayanım ve rijitlik artımı sağlansa da, bu durum, sıva uygulaması sırasında dikkatli bir işçiliğin gerektiğini göstermektedir.

Sıva dayanımı arttırılarak güçlendirilen ikinci elemanda da (MRIF#2), ilk eleman gibi referans elemanına göre dayanım ve rijitlik artımı sağlanmıştır. Gözlenen bu artıma rağmen, ilerleyen yük çevrimlerinde, çerçeve elemanının zayıflığına bağlı olarak, elemanda ilk kat kolon üst noktasında kesme kırılması oluşmuştur. Bu eleman, deney parametrelerindeki artıma da bağlı olarak, test edilen elemanlar arasında en yüksek dayanım ve kapasite artımını göstermiştir. İlerleyen yük çevrimlerinde duvar

gövdesinde diyagonal çatlaklar oluşmuş ve genişleyen çatlaklara bağlı olarak deney sonlarına doğru hasır donatıda kopmalar meydana gelmiştir. Kolon dibinde oluşan mafsalların yanı sıra birinci kat kolon üst uçlarında kesme çatlakları gözlenmiştir. Test edilen elemanların tersinir tekrarlanır yatay yük altında davranışlarının karşılaştırılabilmesi için, elemanlara ait yük-deplasman grafikleri (Şekil 2.1) ve bu eğrilere ait zarf eğrileri çizilmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.1. ACUN, 2005 tarafından gerçekleştirilen deneylere ait Yük-Deplasman eğrileri



Şekil 2.2. ACUN, 2005 tarafından gerçekleştirilen deneylere ait dayanım zarfları

Deneyler sonucunda elde edilen verilere bağlı olarak hesaplanan rijitlik ve yatay yük taşıma kapasitelerindeki artımlar ise Tablo 2.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1. Numune Özellikleri

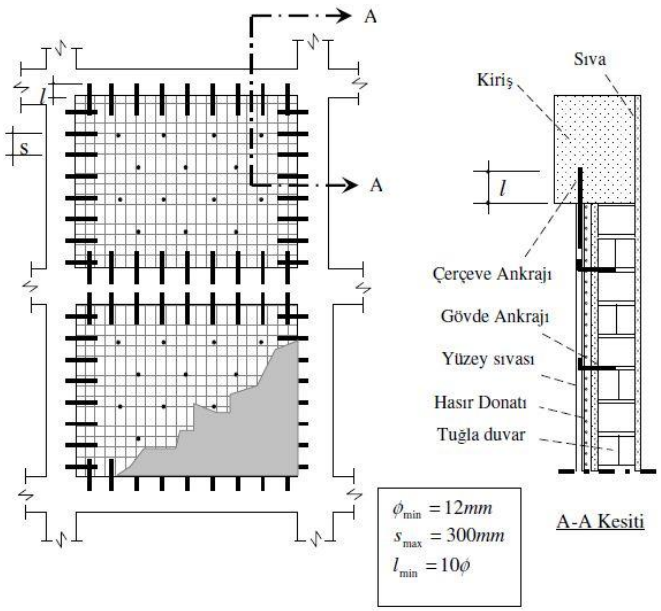
Eleman No	**RİJİTLİK**			**KAPASİTE**		
	Rijitlik (kN/mm)	Rijitlik artımı (Eleman/Refer.)	Rijitlik artımı (Eleman/Boş Çerçeve)	Yatay Yük kapasitesi (kN)	Kapasite artımı (Eleman/Refer.)	Kapasite Artımı (Eleman/Boş Çerçeve)
Boş Çerçeve *	~5.7	-	-	12.25	-	-
Referans **	~46.1	-	~8.1	79.3	-	6.5
MRIF #1	~57.0	~1.2	~10.0	100.0	1.3	8.2
MRIF #2	~141.9	~3.1	~24.9	122.7	1.5	10.0
MRIF #3	~251.1	~5.4	~44.1	160.8	2.0	13.1

*Boş çerçeve ile ilgili deney sonuçları Sonuvar (2001)'den alınmıştır.
**Referans deneyi ile ilgili deney sonuçları Duvarcı (2003)'ten alınmıştır.

Türk Deprem Yönetmeliği, TDY (2007), Yönetmeliğin 7.10.4.1 no'lu bölümünde yer alan "Dolgu Duvarların Hasır Çelik Donatılı Özel Sıva İle Güçlendirilmesi" adlı konu başlığı altında şu bilgilere yer verilmektedir:

Dolgu duvarlarının rijitliği ve kesme dayanımı, duvar yüzüne uygulanan hasır çelik donatılı, özel karışımlı sıva tabakası ile arttırılabilir. Sıva kalınlığı en az 30 mm, hasır donatı pas payı ise en az 20 mm olmalıdır. Uygulanacak sıva 4 hacim kum, 1 hacim çimento ve 1 hacim kireç karışımı ile yapılacaktır. Bu karışımla yapılan sıvanın basınç dayanımı 5 MPa, kayma dayanımı ise 0.5 MPa alınacaktır. Güçlendirilecek duvarların köşegen uzunluğunun güçlendirme öncesi kalınlığına oranı 30'dan küçük olmalıdır. Bu türlü uygulamalarda mevcut çerçeve içinde basınç çubuğu oluşumu sağlanmalı ve çerçeveye yük aktarımı için gerekli ankrajlar düzenlenmelidir. Bunun için uygulamanın yapılacağı duvar yüzü ile çerçeve elemanları dış yüzü arasında en az 30 mm derinliğinde boşluk olmalıdır (Şekil 2.3). Donatılı sıva tabakası ile çerçeve elemanları arasında kullanılacak çerçeve ankraj çubuğunun en küçük çapı 12 mm, en az ankraj derinliği çubuk çapının on katı ve en geniş çubuk aralığı 300 mm olmalıdır. Ayrıca donatılı sıva tabakası ile mevcut dolgu duvarın birlikte çalışmasının sağlanması için duvar düzlemine dik yönde, her bir metrekare duvar alanında dört adet gövde ankrajı yapılacaktır. Duvara dik yönde yapılacak gövde ankraj çubukları dolgu duvarın harç derzleri içine gömülecek ve çubuk çapı en az 8 mm, ankraj derinliği çubuk çapının

en az on katı olacaktır. Duvar düzlemine paralel ve dik doğrultuda yapılacak tüm ankraj çubukları açılacak deliklere epoksi esaslı bir malzeme ile ekilecek ve uçları L şeklinde 90 derece bükülerek hasır donatının içine geçirilecektir. Uygulama detayları Şekil 2.3'de gösterilmektedir. Güçlendirilen dolgu duvarlarda oluşan kuvvetlerin zemine güvenle aktarılması için gerekli olan temel düzenlemesi yapılmalıdır. Hasır çelik donatı ile güçlendirilen duvarlar aşağıda verilen esaslara göre yapı modeline katılacaktır.



Şekil 2.3. Güçlendirme uygulama detayı

(a) *Modelleme Esasları*: Yapı modelinde betonarme çerçeve içinde düzenlenmiş ve köşegen uzunluğunun kalınlığına oranı 30'dan küçük olan dolgu duvarlar göz önüne alınacaktır. Duvar yüzey alanına oranı %10'u geçmeyen boşlukların bulunduğu duvarların yapı modeline katılmasına, boşlukların konumu köşegen basınç çubuğu oluşumunu engellememesi koşuluyla izin verilebilir. Hasır çelik ile güçlendirilmiş dolgu duvarlar uygulanan deprem yönünde basınç kuvveti alan eşdeğer köşegen çubuk elemanları ile temsil edileceklerdir.

(b) *Rijitlik*: Eşdeğer basınç çubuğunun kalınlığı güçlendirilmiş dolgu duvar kalınlığına eşittir. Genişliği (a_d) Denk.(2.1)'den hesaplanacaktır.

$$a_d = 0{,}175(\lambda_d h_k)^{-0,4} r_d \qquad (2.1)$$

Burada a_d çubuk genişliği (mm) , h_k kolon boyu (mm), r_d dolgu duvar köşegen uzunluğudur (mm). λ_d Denk.(2.2)'den hesaplanacaktır.

$$\lambda_d = \left[\frac{E_d t_d \sin 2\theta}{4 E_c I_k h_d} \right]^{\frac{1}{4}} \tag{2.2}$$

Denk.(2.2)'de Ed ve Ec dolgu duvar ve çerçeve betonunun elastisite modülü, td ve hd güçlendirilmiş duvarın kalınlığı ve yüksekliği (mm), Ik kolonun atalet momenti (mm^4) ve θ köşegenin yatay ile olan açısıdır. Köşegen basınç çubuk elemanının eksenel rijitliği Denk.(2.3) ile hesaplanacaktır.

$$k_d = \frac{a_d t_d E_d}{r_d} \tag{2.3}$$

(c) *Kesme Dayanımı*: Hasır çelik donatı ile güçlendirilen dolgu duvarın kesme dayanımı, köşegen çubuğun eşdeğer basınç kuvveti dayanımının yatay bileşeni olarak kabul edilecektir. Yatay kesit alanı Ad, basınç gerilmesi dayanımı f_d ve kayma gerilmesi dayanımı τ_d olan güçlendirilmiş dolgu duvarın kesme kuvveti dayanımı V_d , Denk.(2.4) ile hesaplanacaktır.

$$V_d = A_d (\tau_d + f_{yd} \rho_{sh}) \leq 0{,}22 A_d f_d \tag{2.4}$$

Burada f_{yd} hasır donatının akma dayanımı, ρ_{sh} ise duvardaki yatay gövde donatılarının duvar brüt enkesit alanına oranıdır. Hasır donatı yatay ve düşey yönlerde aynı donatı alanına sahip olmalıdır.

(d) *Malzeme Özellikleri*: Yukarıda verilen denklemlerde E_d , f_d *ve* τ_d için çeşitli tuğla türlerinden yapılan duvarlarda önerilen değerler denklem 2.5'de verilmiştir. Elastisite modülünün, basınç ve kayma gerilmesi dayanımlarının hesaplanmasında güçlendirilmiş duvarın kompozit kesit yapısı dikkate alınabilir.

Boşluklu fabrika tuğlası:	E_d = 1000 MPa ;	f_d = 1,0 MPa ;	τ_d = 0,15 MPa
Harman tuğlası:	E_d = 1000 MPa ;	f_d = 2,0 MPa ;	τ_d = 0,25 MPa
Gazbeton blok:	E_d = 1000 MPa ;	f_d = 1,5 MPa ;	τ_d = 0,20 MPa

(2.5)

Ersoy ve Uzsoy (1971), farklı özellikleri olan tek açıklıklı tek katlı 9 adet deney elemanı test etmişlerdir (6). Bu deneylerden elde ettikleri sonuçları 1971 yılında TÜBİTAK raporuyla yayımlamışlardır. Deneysel çalışmada tüm deney elemanları tekdüze yüklemeler altında test edilmiştir. Dolgu duvarın kalınlığı, dolgu duvarla ve çerçeve arasındaki bağlantı detayı, kiriş ve kolon rijitliklerinin oranındaki değişim çalışmanın değişkenleridir. Deneylerin ışığında, dolgunun çerçeve yatay yük taşıma kapasitesini % 70 artırdığı ve göçmedeki yatay deplasmanı ise %15 azalttığı, başlangıç rijitliğini % 500 artırdığı elde edilen bulgulardır. Ayrıca çerçeve ve dolgu arasındaki birleşimin yatay dayanım ve sünekliği çok fazla etkilemediği sonucuna ulaşılmıştır. Araştırmacılar deney sonuçlarını kullanarak çerçeve ve dolgulu sistemlerin elastik bölgede davranışı konusunda bir yargıya varabilmek amacıyla Smith'in yaklaşımından yararlanarak bir denklem geliştirmişlerdir.

Yüzügüllü (1979), betonarme boş çerçeveleri güçlendirmek amacıyla ön üretimli paneller kullanmıştır. Panelleri birbirleri ile bağlamak için çeşitli bağlantı detayı tiplerini araştırmıştır.

Altın (1990), bu araştırmada, 14 adet tek açıklıklı, 2 katlı deney elemanını tersinir-tekrarlanır yükleme altında denemiştir. Çalışmada betonarme çerçevelerin betonarme dolgu duvarlar ile güçlendirilmesi sonucunda ortaya çıkan davranış ve dayanım değişikliği incelenmiştir. Bu amaçla temel değişkenler, dolgu panelinin donatı tipi ve dolgu ile çerçeve arasındaki bağlantı tipinin etkinliği, kolon eğilme kapasitesi, kolondaki eksenel yük miktarındaki değişim ve çerçevenin beton basınç dayanımı olarak seçilmiştir. Yatay düzlemde yapılan deneylerden şu sonuçlar elde edilmiştir: Kolon eğilme kapasitesinin ve eksenel yükün artması, davranışın iyi yönde gelişmesini ve deney elemanının dayanımını artırmıştır. Çerçeve ve betonarme dolgu duvar arasındaki yük aktaran donatı detayının, dayanım ve süneklik düzeyi üzerindeki etkisi önemli olmuştur. Karşılaşılan en önemli problem, dolgunun mevcut çerçeveye birleşimi olmuştur.

Saatçioğlu (1990), betonarme kısa perdelerin tersinen tekrarlanan yatay yükleme altındaki davranışı deneysel olarak araştırmıştır. Asal çekme kırılmalarının duvar donatısı ile önlendiği elemanlarda, göçme perdenin tabandan kesilip kayması ile

gerçekleşmiştir. Deney elemanın temel üzerinden kesilip kayarak göçmesinin kısa duvarlarda kritik olduğu ve süneklik düzeyini olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Araştırmada temel kirişi üzerinden kesilip kayarak göçmenin engellenmesi amacıyla kritik kesite dik, kısa çubuklardan oluşan özel bir donatı türü geliştirilmiştir. Geliştirilen donatının kullanıldığı deney elemanlarında temel kirişi üzerinden kesilip kayarak göçmenin engellendiği gözlenmiştir.

İlki (1994), malzeme açısından lineer olmayan sistemlerin, tekrarlı yükler altındaki davranışı incelemiş ve bir bilgisayar programı yazmıştır. Program ile düzlem çerçevelerin, tekrarlı yükler altındaki lineer olmayan davranışları belirlenmiş ve bir örnek düzlem çerçeve için hesap yapılmıştır.

Ersoy ve ark. (1998), 8 adet tek açıklıklı, iki katlı betonarme çerçeve orta derecede hasar meydana gelinceye kadar tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında denenmiştir. Hasara uğratılan çerçeveler daha sonra onarılmış ve yerinde dökme betonarme dolgularla güçlendirilmiştir. Dolgulu çerçeveler de depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükleme etkisi altında denenmiştir. Birkaç numunenin dışında çerçeve elemanlarında birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırması yapılmamış, deprem yönetmeliklerinin şartlarına uymayan detaylara sahip olarak üretilmiştir. Bu deneysel araştırmanın temel amacı, çerçevedeki hasarın güçlendirilerek elde edilen dolgulu çerçevenin davranışı üzerine etkisini araştırmaktır. Çerçevede uygulanan zayıflıklar; yetersiz sargı donatısı, yetersiz kenetlenme boyları, düşük beton kalitesidir. Çalışmanın sonunda; hasarlı çerçevelere ilave edilen betonarme dolguların yatay yük dayanımını ve yatay rijitliği önemli ölçüde arttırdığı, dolgulu çerçevelerin göçme mekanizması eğilme etkisiyle başladığı için, kolon boyuna donatı miktarının dayanım üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu, çerçevenin beton dayanımının tamamen dolgulu çerçevelerin dayanımına fazla etki etmediği, beton kalitesinin bağlayıcı ankraj çubuklarının yerleşimi için önemli olduğu, kat seviyelerinde yapılan kolon boyuna donatılarının bindirmeli eklerinin kenetlenme boyu yetersiz olduğu zaman dolgulu çerçeve dayanımının önemli ölçüde azalacağı, kenetlenme bölgesinde yapılan bölgesel çelik mantolamaların davranış ve dayanımı geliştireceği, ankraj çubuklarının etkisinin önemli ölçüde işçiliğe bağlı olduğu sonuçlarına varılmıştır.

Türk (1998)'in**,** araştırmasında 1/3 geometrik ölçekli iki katlı tek açıklıklı 9 adet deney elemanı tersinen tekrarlanan yatay yükleme altında test edilmiştir. Çalışmada hasar görmüş betonarme çerçeve elemanlara sonradan eklenen yerinde dökme betonarme dolgu duvarların davranış ve dayanın üzerine etkileri incelenmiştir. Araştırmada; dolgu duvarla çerçeveyi bağlayan donatı düzenlemesinin dayanımda büyük oranda etkili olduğu, kolon donatılarında bindirmeli ekin olmasının elemanın dayanımı olumsuz etkilediği ve onarılacak çerçevenin hasar düzeyinin dayanımı önemli düzeyde etkilemediği sonuçları elde edilmiştir. Dolgu duvarıyla güçlendirilmiş deney elemanları çerçeve elemanının 8-13 katı daha fazla dayanım göstermişlerdir.

Ersoy ve ark. (1998), bu çalışma kapsamında, Orta Doğu Teknik Üniversitesi ve Boğaziçi Üniversitesi'ndeki dolgulu çerçevelerle ilgili araştırmaların bir kısmı anlatılmıştır. 8 adet tek açıklıklı, 2 katlı betonarme çerçeve orta derecede hasar meydana gelinceye kadar tersinir-tekrarlanır yatay yük etkisi altında denenmiş ve daha sonra hasarlı çerçeveler onarılmış ve yerinde dökme betonarme dolgularla güçlendirilmiştir. Çerçevede kullanılan zayıflıklar; yetersiz sargı donatısı, yetersiz kenetlenme boyları ve düşük beton kalitesidir. Güçlendirilmiş çerçeveler de tersinir-tekrarlanır yatay yükleme etkisi altında denenmiştir. Bu çalışmada amaç, çerçevedeki hasarın, güçlendirilerek elde edilen dolgulu çerçevenin davranışı üzerine etkisini araştırmaktır. Çalışmanın sonunda, hasarlı çerçevelere ilave edilen betonarme dolguların yatay yük dayanımını ve yatay rijitliği önemli ölçüde artırdığı, dolgulu çerçevelerin göçme mekanizması eğilme etkisiyle başladığı için kolon boyuna donatı miktarının dayanım üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu, çerçevenin beton dayanımının tamamen dolgulu çerçevelerin dayanımına fazla etki etmediği, ancak beton kalitesinin bağlayıcı ankraj çubuklarının yerleşimi için önemli olduğu gibi sonuçlara varılmıştır.

Ergin (1998), çalışması iki ana kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda onarım ve güçlendirme konusunda genel bilgiler verilmektedir. Çok katlı bir binanın yanal yüklere karşı dayanımının artırılması için yürütülen işlemler açıklanmıştır. Onarım ve güçlendirmenin tanımı yapılarak, aralarındaki farklar belirtilmiştir. Onarım ve güçlendirme yöntemlerinin seçiminde rol oynayan faktörler ile onarım ve/veya güçlendirme işlemine ne gibi durumlarda ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. Çalışmanın ikinci kısmını oluşturan bölümde ise, 1975 Türk Deprem Yönetmeliğine göre (TDY-75) projelendirilip yapılmış çok katlı bir binanın, deprem kuvvetlerine karşı güvenliğinin

artırılması için yürütülen işlemler açıklanmıştır. Yapının hem düşey hem de yatay yüklere göre analizi SAP90 yapı analizi programıyla yapılmış ve dinamik analiz sonuçları kullanılarak 1975 ve 1998 Deprem Yönetmelikleri'ne göre deprem yükleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada, güçlendirme yöntemi olarak kolonların mantolanması ve perdelerin kesitlerinin artırılması yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca, kesitlerin artması nedeniyle temellerde de güçlendirme yapılmıştır. Güçlendirme sonucunda;

a) Kat ötelenme değerleri sınırların içinde kalmıştır.
b) Güçlendirmeden önce kesit ve donatı bakımından yetersiz olan kiriş elemanlar, eğilme ve kesme dayanımı bakımından yeterli hale gelmiştir.
c) Zemin katın döşeme kalınlığının artırılması ile döşemenin rijit diyafram özelliği iyileştirilmiş ve gelen yükleri uygun bir biçimde çevre perdelere aktarması sağlanmıştır.

Özden (1998), araştırmasında, onarım ve güçlendirme için kullanılan bağlayıcılarla aktarılan iç kuvvetleri; basınç, çekme ve kesme kuvvetleri; eğilme momenti veya buna eşdeğer bir kuvvet çifti ve bu etkilerin bir arada olduğu etkilerin birleşimi olarak vermiş ve bu etkileri karşılayan bağlayıcı elemanları tanıtmıştır.

Yüksel ve Karadoğan (1998), perde duvarlarla güçlendirilmiş çerçevelerin deprem davranışı ile ilgili bir araştırmayı sunmuşlardır. İlave perde duvarların eklenmesiyle ortaya çıkan bazı problemler ortaya konmuş ve bunlara teorik olarak çözüm getirebilecek bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Budak ve Uzman (1999), bu çalışmada, boşluklu dolgu duvarlı çerçeve modeli boşlukların yerleri ve boyutları değiştirilerek analiz edilmiştir. Analizde, dolgu duvarlı çerçevelerin genel yükler altında malzeme bakımından doğrusal olmayan analizine yönelik bir model kullanılmıştır. Böylece yüklerin artışına paralel dolgu duvarlı çerçevede boşluklar nedeniyle meydana gelen yerdeğiştirme, rijitlik ve dolgu duvarın burkulmasındaki değişimler ile çatlakların gelişimi incelenmiştir.

Kargı (1999), çalışmada hasar görmemiş az katlı yapılar için kullanılan bir yapım yöntemini incelemiştir. İncelenen yapılarda çeşitli tipteki duvarlar önce örülüp daha sonra kolon ve kirişlerin betonu dökülmektedir. Çalışmada, bu bütünleşik

çalışmanın yapıya etkileri ve bütünleşik çalışmayı sağlayacak durumlar araştırılmıştır. İki farklı tipte imal edilmiş bölme duvar üzerinde yapılan deneysel çalışmalar ve bu çalışmaların sonuçları sunulmuştur. Birinci tip bölme duvarlar iki farklı tip tuğla ile oluşturulmuştur. İkinci tip bölme duvarlarda ise, fabrikada üretilmiş birbirine özel biçimde bağlanmış ince hasır donatı üzerine atılan püskürtme betonla oluşturulmuştur. Çalışmada, özellikle bölme duvarların bütünleşik çalışması için gerekli olan şartları bulmak amacıyla teorik bir çalışma yapılmış, panel bölme duvarlar için teorik kayma rijitliği ifadesi çıkarılmış, deneysel sonuçlar ile teorik sonuçlar karşılaştırılmıştır. Her iki grup bölme duvarının katılmasıyla yatay yük taşıma kapasitesinin %195 ile %346 artmakta olduğu gözlenmiştir.

Sonuvar (2001), çalışmasında hasarlı betonarme çerçeve elemanlarının çeşitli yöntemlerle onarılması amaçlamıştır. İki katlı tek açıklıklı, 1/3 geometrik ölçekli 5 adet deney elemanı tersinen tekrarlanan yatay yükleme altında test edilmiştir. Hasar görmüş çerçeve deney elemanları, yerinde dökme betonarme dolgu duvarlar ile onarıldıktan sonra tekrar test edilmiştir. Dolgu duvarıyla onarılan çerçeveler gerçek yapılarda var olan elemanlarında yetersiz sargı donatılı, boyuna donatıda yetersiz bindirmeli ekli ve düşük beton dayanımlı olacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca çerçeve elemanları güçlü kiriş zayıf kolon birleşimi olacak şekilde boyutlandırılmıştır. Araştırmada bir deney elemanının kolonlarının boyuna donatısında bindirmeli eki olan bölgelerinde çelik mantolama yapılmıştır. Çerçeve içine oluşturulan dolgu duvarın iki kenarında uç elemanı oluşturulmuş ve U şeklinde etriyelerle sargılanmıştır. Araştırmada; hasarlı çerçevelerin betonarme dolgu duvarlar ile davranış ve dayanımlarının önemli oranda iyileştirildiği, çerçevenin beton basınç dayanımının dolgu duvarıyla çerçeve arasındaki bağlantıyı etkilediği ve kolon donatılarında bindirmeli ekin olduğu bölgelerde uygulanan çelik mantoların başarılı olduğu ve katlar arasında yatay ötelenmeleri önemli oranda azaldığı sonuçları elde edilmiştir.

Canbay (2001), 1/3 geometrik ölçekli iki katlı üç açıklıklı, temel kirişi üzerinde içte kalan iki kolonun boyuna donatılarında bindirmeli eki olan betonarme çerçeve kullanmıştır. Betonarme çerçeveye ilk önce hasar verilmiş, daha sonra betonarme dolgu duvarı ile onarılmış ve tekrar tersinen tekrarlanan yatay yükleme altında test edilmiştir. Gerçek yapılarda uygulanan dolgu duvarıyla onarım işlemi sonucunda, yapıyı oluşturan diğer çerçeve elemanları ile betonarme dolgu duvarın ilave edildiği çerçeve arasındaki

yatay yük paylaşımının özel bir ölçüm düzeneğiyle incelenmesi amaçlanmıştır. Araştırma sonucunda çerçeve kolonlarının boyuna donatılarının akmasından önce uygulanan yatay yükün %90'ının dolgu duvarlı tarafında taşındığı, kolon boyuna donatılarında kullanılan 40φ boyundaki bindirmeli ekin yetersiz olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

Dörttepe (2001), çalışmada genel olarak, betonarme yapılarda oluşan hasar tipleri ve betonarme yapıların onarım ve güçlendirme teknikleri anlatılmıştır. Onarım ve güçlendirmenin tanımı yapılarak, aralarındaki farklar ortaya konulmuştur. Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının güçlendirilmesi konusunda sırasıyla, betonarme kolonların güçlendirilmesi, betonarme kirişlerin güçlendirilmesi, döşemelerin onarım ve güçlendirilmesi, betonarme çerçevelerin doldurularak güçlendirilmesi ve betonarme temellerin güçlendirilmesine yer verilmiştir. Yapılan çalışmada varılan sonuçlar,

a) Betonarme bir yapıda hasarın belirlenip değerlendirilmesinde mühendislik deneyiminin çok önemli olduğu,
b) Onarım ve güçlendirme işinde kullanılan kaliteli malzeme ve işçiliğin etkinlik düzeyini arttırdığı,
c) Onarım ve güçlendirme işinden sonra artan kesitler ve yapı elemanlarından dolayı, taşıyıcı sistemin yatay ve düşey yüklere göre yeniden analizinin yapılması gerekliliği,
d) Kirişlerin güçlendirilmesi işleminden sonra, kuvvetli kolon zayıf kiriş kontrollerinin yapılması gerekliliği,
e) Onarım ve güçlendirme işi yapılırken, yapı elemanının yükünün, başka geçici elemanlar tarafından taşıttırılıp, bu işlemin onarım ve güçlendirme işinin etkinliğini arttırmada önemli bir etken olduğu sonuçlarına varılmıştır.

Aydoğan ve Öztürk (2002), özellikle 17 Ağustos 1999 Marmara depreminden sonra yapılan güçlendirme çalışmalarından örnekler vermişlerdir. Verilen örneklerde, binayı oluşturan kat sayıları ve açıklıkları farklı olmasına rağmen, hemen hemen bütün örneklerde güçlendirme işlemleri perde duvar eklenmesi ve mantolama yapılması ile olmuştur.

Anıl (2002), boşluklu betonarme dolgu duvarlı çerçevelerin davranışlarının deprem yükleri altında incelenmesi amacı güden çalışmasında, 9 adet tek katlı tek açıklıklı, betonarme dolgulu çerçeve deprem etkilerini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yükler altında test etmiştir. Betonarme dolgulu çerçevelerde boşluk alanı büyüklüğü ve yeri ana değişkenlerdir. Deney sonuçları, boşluk alanının büyüklüğü ve yerindeki değişimin betonarme dolugulu çerçevelerin rijitlik, dayanım, süneklik ve enerji tüketimi üzerindeki etkilerini ortaya koyacak şekilde değerlendirilmiştir. Analitik çalışmada, deney elemanlarının dayanımları yönetmeliklerin ve araştırmacıların önerdiği ampirik denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Analitik sonuçlar, deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonunda, güçlendirme amacıyla kullanılan boşluklu betonarme dolgu duvarlı çerçevelerin tasarımı ve detaylandırılması için öneriler oluşturulmuştur.

Özbalaban (2002), çalışmasında betonarme yapıların 1998 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre güvenliğinin ve perde ilavesi ile güçlendirilmesinin etkinliğini incelemiştir. Literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak, mevcut yapıların değerlendirilmesinde deprem yükü azaltma katsayısının önemi üzerinde durulmuştur. Çalışmada örnek olarak 1975 deprem yönetmeliği esas alınarak inşa edilmiş, 6 katlı betonarme bir yapının 1998 deprem yönetmeliği yükleri altında çözümü yapılarak depreme karşı güvenliği incelenmiştir. Bu analize göre, yatay kuvvetlere karşı dayanımı yeterli bulunmayan yapı, perde duvar ilavesi ile güçlendirilmiştir. Örnek yapının değerlendirilmesinde deprem yükü azaltma katsayısı (yapı davranış katsayısı) R = 4 alınmıştır. Analiz sonucunda, göreli kat ötelemelerinde 2. ve 3. katlarda deprem yönetmeliğinin vermiş olduğu limit değerlere çok yaklaşmış ve ayrıca etkilerin yoğun olduğu ilk katlarda birçok kolonda moment taşıma kapasitesi aşılmıştır. Güçlendirme işlemleri ile binaya ilave edilen 4 adet betonarme perde ile yapıda;

a) Yükün taşınmasında çerçevelerin etkinliği azalmış,
b) Çerçeve elemanlarındaki kesit tesirleri azalmış,
c) Güçlendirilmiş yapıda, özellikle perde ucuna yakın bölgede kiriş kesitinin mafsallaşacağı anlaşılmıştır. Ayrıca,
d) Perde eğilme momenti kapasitesinin tasarım momentine yakın olduğu dikkate alındığında, sistemin kapasitesinin ulaşılması istenenden biraz daha küçük olduğu ve bunu önlemek için daha fazla perdeye ihtiyaç olduğu,

e) Örnekte sisteme ilave edilen perdelerin alt katlarda büyük kuvvetler alması, bu elemanların donatılıp detaylandırılmasında ve bunların temel teşkilinde güçlükler çıkarabileceği,
f) Perdeleri mümkün olduğunca bina içinde olacak biçimde yerleştirmek kolon eksenel yüklerinden faydalanılmasına neden olsa da, perde temelinin sınırlı rijitliğinin perdenin tabanında meydana gelecek dönmeye engel olamayacağı,
g) Binaya göreceli olarak çok rijit az sayıda perde eklemek yerine, daha fazla sayıda narin perdelerin eklenmesi tercih edildiğinde, hem etkilerin zemine iletilmesinin kolaylaşacağı hem de daha homojen bir kuvvet dağılımının ortaya çıkacağı belirtilmiştir.

Korkmaz (2004), yaptığı çalışmada tuğla dolgu duvarların çelik çerçevelerin yatay yükler altındaki davranışına olan katkısını deneysel olarak incelemiştir. Doktora tez çalışmasında 1/2 ölçekli çelik çerçeveler tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir. Dolgu duvarlar kısmi olarak çerçeve içine yerleştirilmiştir. Boş çerçeve, tam tuğla dolgulu çerçeve, 3/4, 2/4 ve 1/4 oranında dolgulu çerçevelerde bant pencere şeklinde pencere boşlukları teşkil edilmiştir. Bu çalışmada 1. bölümde verilen tuğla dolgu duvarların deprem dayanımı ile ilgili kısımlar bu doktora tezinden özetlenerek verilmiştir.

Yavuz (2005), yaptığı çalışmada, öncelikle yapım aşamasında sık olarak görülen hatalara sahip olarak üretilmiş, deprem davranışı zayıf, sünek olmayan çok açıklıklı ve çok katlı betonarme çerçevelerin, deprem etkisini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altındaki davranışı incelenmiş; daha sonra kullanım amacına göre bırakılan boşlukları dikkate alacak biçimde hasarsız çerçeveye kısmi betonarme perde duvar eklenmesiyle yapılan sistem iyileştirmesi/güçlendirme sonucu ortaya çıkan davranış incelenmiştir. Bu amaçla, 1/3 ölçekli, 2 adet bos, 4 adet de orta kolona çerçevede kullanım amacına göre bırakılması gereken boşlukları dikkate alacak uzunlukta kısmi betonarme perde duvar ilaveli (perde yüksekliği/perde uzunluğu oranı değiştirilerek) betonarme çerçeve sisteminin düşey konumda, tersinir-tekrarlanır yatay yükleme etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda, deprem davranışı zayıf olan ve kısmi betonarme perde duvarla güçlendirilmiş

betonarme çerçevelerin tasıma gücü, dayanım, rijitlik, enerji tüketme kapasiteleri gibi özellikleri ile davranışları elde edilmiştir.

Akın (2006), çalışmasında, çekmeye çalışan çapraz çubukların basitçe kolon kiriş birleşim bölgesine ankrajlanması ile güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin, deprem etkisini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında deneysel ve analitik olarak incelenmesini amaçlamıştır. Bu amaçla; deneysel bölümde, değişik yapısal özellikteki 10 adet 1/5 geometrik ölçekle modellenmiş betonarme çerçeve sistemi depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altında denenmiştir. Deneysel verilerin değerlendirilmesi sonucunda, dolgu duvarlı ve çelik çapraz çubuklu çerçeve sistemlerin tasıma gücü, dayanım, rijitlik ve enerji tüketme kapasiteleri elde edilmiştir.

Ediz (2006), çalışmasında, kagir yapılarda kullanılan taşıyıcı duvarların hasır çelik donatı ve kendiliğinden yerleşen beton ile güçlendirilmesini deneysel olarak incelemiştir. Bu doğrultuda model tuğla duvarların, standart hazır beton ve kendiliğinden yerleşen beton ile güçlendirilmesi kıyaslanmış, duvarların yük altındaki davranışları incelenmiş ve çeşitli yönlerden karşılaştırmaları yapılmıştır. Araştırma amaca uygun olarak seçilmiş model tuğla duvar numuneleri üzerinde yapılmıştır. Tuğla duvar numuneler kendi düzlemi içerisinde yatay ve düşey yüklerin bileşkesi 45° olacak şekilde tek eksenli olarak yüklenmiştir. Yükleme işlemi model tuğla duvarların köşegenlerine yapılan başlık sayesinde gerçekleştirilmiştir. Standart beton ve kendiliğinden yerleşen beton ile yapılan güçlendirilmenin karşılaştırılmasının yapılabilmesi için, toplam 42 adet model tuğla duvar numunelerinin güçlendirilmesinin 30 adedi kendiliğinden yerleşen beton ile 12 adedi ise standart beton ile yapılmıştır. Bu numuneler hasar meydana gelinceye kadar yüklenmiş, yük ve şekil değiştirmeleri incelenmiştir. Deney sonuçlarından elde edilen verilere göre yük-deformasyon eğrileri çizilmiş, duvarlar hasarlı veya hasarsız oluşlarına ve takviye malzemelerinin değişimine göre incelenmiştir.

Alsancak (2007), çalışmasında dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin hasır çelikli betonla kaplanarak güçlendirilmesini incelemiştir. Bu çalışmada taşıyıcı olmayan bölme duvarların tek yüzüne veya her iki yüzeyine çelik hasır ve püskürtme beton uygulayarak taşıyıcı hale getirilmesi, göçme biçiminin kontrolü ve bu yolla sistemin depreme karşı güçlendirilmesinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda,

dolgu duvarların güçlendirilmesinde kullanılan çelik hasır ve püskürtme betonun sistem davranışına katkısı kuramsal çalışmalar ile araştırılmaya ve açıklanmaya çalışılmıştır. Ayrıca betonarme çerçeve modelleri hazır bilgisayar yazılımlarında çözülüp elde edilen sonuçlar sayesinde dolgu duvarların güçlendirilmesinde kullanılan çelik hasır ve püskürtme betonun sistem davranışına katkısı da araştırılmıştır.

Özdemir (2008), çalışmasında, kusurlu olarak üretildikleri varsayılan yapılara ait tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin, duvar yüzeyine uygulanan hasır donatı ve sıva ile güçlendirilmelerine yönelik deneysel araştırma yapmıştır. Bu çalışmada on adet tek katlı, tek açıklıklı 1/2 ölçekli betonarme çerçeve üretilmiştir. Dolgu duvar üzerine farklı uygulama detayları güçlendirilen numuneler deneye tabi tutulmuştur. Bu amaçla hazırlanan on adet çerçeve elemanı, tersinir tekrarlanır yatay yük altında test edilmiştir. Bu numunelerde kullanılan kesit ve donatı detayları, uygulamada kusurlu olarak üretildikleri varsayılan yapıları temsil etmektedir. Bu imalatlarda tam ankastreliği sağlamak için rijit bir temel üzerine tek katlı, tek açıklıklı, beton basınç dayanımı düşük, güçlü kiriş ve zayıf kolondan oluşan çerçeveler imal edilmiştir. Bu deneysel çalışmada bölme duvarının, çerçeveye yapılan ankraj aralığının, duvar düzlemine dik ankraj sayısının, sıva kalınlığının ve sıva kalitesinin güçlendirilmiş bölme duvarlı çerçeve davranışına etkisi araştırılmıştır. Değişen bu parametrelere bağlı olarak test edilen elemanların yatay yükler etkisinde davranışlarındaki değişim incelenmiştir. Aynı zamanda bu çalışma kapsamı içinde çıplak çerçevenin, dolgu duvarlı çerçevenin ve güçlendirilmiş dolgu duvarlı çerçevenin statik modelleri oluşturulmuş ve bu modeller kullanılarak, yatay yük kapasitelerinin tayini için doğrusal olmayan statik itme analizleri (pushover analiz) SAP2000 programı kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmalar, deney modellerinin öngörülen yatay yükler etkisi altında davranışının analitik olarak incelenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Analitik çalışma neticesinde çıplak çerçevenin, bölme duvarlı çerçevenin ve güçlendirilmiş bölme duvarlı çerçevenin deney sonucunda elde edilen yük-deplasman eğrisi ile itme analizi sonucunda elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Ünal (2012), çalışmasında, TDY 2007'ye göre tasarlanmamış betonarme çerçevelerin düzlem dışı perde duvarla güçlendirilmesi deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada 1/3 ölçekli 4 adet deney elemanı depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yükler etkisinde test edilmiştir. Bu numunelerden bir adedi herhangi

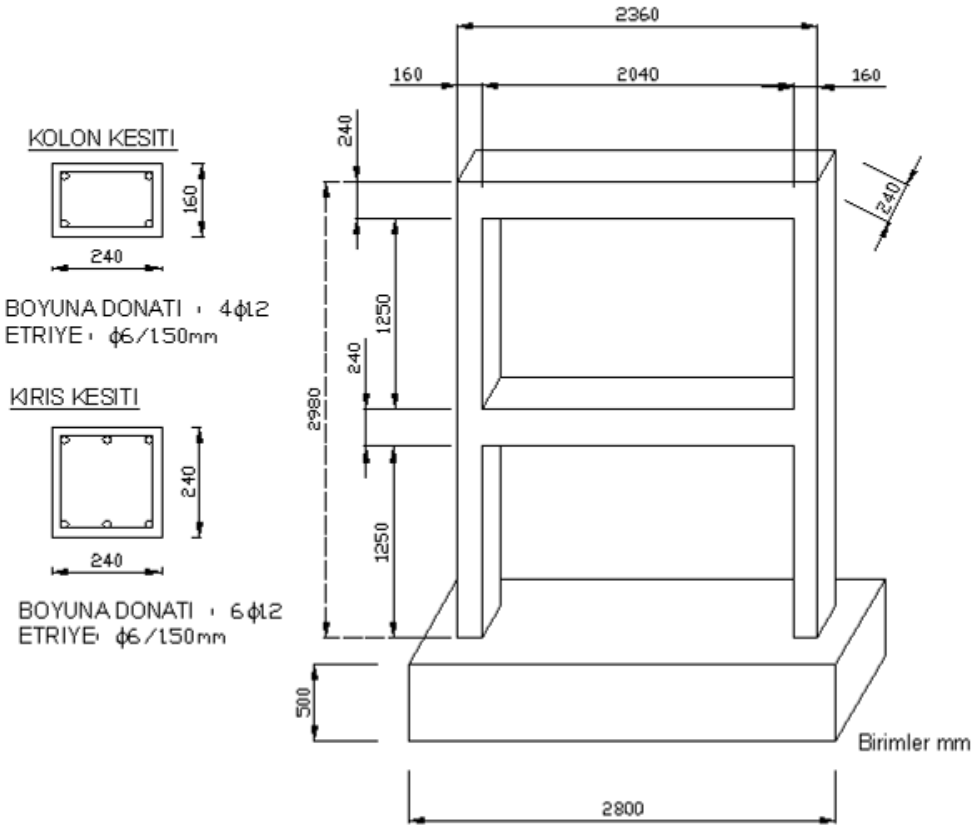
bir güçlendirme yapılmayan, yapım kusurları içeren ve deprem dayanımı yetersiz binaları temsil eden betonarme boş çerçeve olarak oluşturulmuş olup diğer deney elemanları ise betonarme boş çerçeveye güçlendirme uygulaması yapılmış deney elemanlarıdır. İkinci deney elemanı, eksenel yükten dolayı güçlendirilmesi gereken binaları temsil etmek amacıyla oluşturulmuştur. Bu deney elemanında kolonlar üç taraftan mantolanarak güçlendirilmiştir. Üçüncü deney elemanı, pencere boşluklu düzlem dışı betonarme perde duvar ile güçlendirilmiş numunedir. Bu deney elemanı dış cephelerinde pencere boşluğu bulunan binaları temsil etmek amacıyla oluşturulmuştur. Son deney elemanı ise düzlem dışı iki betonarme perde duvar ile güçlendirilmiş numunedir. Bu numunede pencere boşluklarının bulunduğu yerlere güçlendirme perdesi konulmamıştır. Test edilen bu deney elemanlarına ait histerezis eğrileri, zarf eğrileri, rijitlik, süneklik ve tüketilen enerji grafikleri verilmiş, bu deney elemanları arasındaki farklar incelenerek yorumlanmıştır.

3. DENEY DÜZENEĞİ VE NUMUNELERİN OLUŞTURULMASI

3.1. Deney Numunesinin Özellikleri

Deneysel çalışmada 1/1 oranlı prototip numuneler üzerinde deney yapmak, numunenin maliyeti ve deney sisteminin yük kapasitesindeki problemler nedeniyle oldukça zordur. Bu nedenle belirli bir oranda küçültülmüş modeller üzerinde deneyler gerçekleştirilir. Model oranı küçüldükçe gerçek davranıştan uzaklaşılacak ve boyut etkisi belirli bir oranda hatayı da beraberinde getirecektir. Dolayısıyla model oranının olabilecek en büyük oranda olması tercih edilmektedir. Mevcut laboratuar ortamında deney numunesi oranı 1/2 ölçekli olarak tasarlanmıştır. Böylelikle 1 numuneye 1,2 m^3 beton harcanacak ve bu da laboratuardaki krenin 15 ton olan kaldırma kapasitesinin altında olacaktır.

Numune 2 katlı ve tek açıklıklı olarak düşünülmüştür. Kat yüksekliği 3m/2= 1,5 m'dir. Toplam yükseklik 3 m ve genişliği 2,36 m'dir. Kolonlar 24x16 cm ve kirişler 24x24 cm dir. Kolon donatısı 4ϕ12 ve kiriş donatısı 6ϕ12 dir. Etriye olarak ϕ6/150 mm seçilmiştir. Böylelikle güçlü kiriş ve zayıf kolon oluşturulmaya çalışılmıştır. Donatılarda nervürsüz düz donatı kullanılmıştır. Şekil 3.1'de deney numunesinin geometrik özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.1. Numune boyutları ve donatı detayları

TDY 2007'de etriye aralığı olarak sarılma bölgesinde $b_{min}/3$ ya da en az 10 cm olma şartı getirilmiştir. Kolonlarda b_{min}=16 cm olduğu hatırlanırsa, etriye aralığı 5 cm olmalıdır. Kolon orta bölgesinde ise $b_{min}/2$ ya da 20 cm şartı vardır. Kolonda 16 cm/2 = 8 cm olarak etriye düzenlenmelidir. Ayrıca kolonlarda sarılma bölgesi b_{max}, $l_n/6$ ya da en az 50 cm şartları vardır. b_{max}=24 cm, $l_n/6$=25 cm olacaktır.

Kirişlerde ise sarılma bölgesi $2h_k$=48 cm olacaktır. Sarılma bölgesinde etriye aralığı $h_k/4$=6 cm, 8ϕ=9.6 cm olmalıdır. Donatı detaylandırması eksik yapıları temsil edebilmek için, etriye aralıklarında deprem şartnamesinin şartlarına uyulmamıştır. Ayrıca kolonlarda bindirme boyu TS500 de belirtilen 20ϕ değerinden daha az olacak şekilde 21 cm olarak yapılmıştır. Yine kolon kiriş birleşim yerinde kolon etriyesi devam ettirilmemiş ve birleşimde sargı yapılmamıştır (Şekil 3.2).





Şekil 3.2. Etriye aralığı ve kolon temel bindirmeli ek detayı

Kolon etriyesi temel içinde de devam ettirilmemiştir. Ayrıca etriye kancaları 90^{o} bükülmüştür. Eski yapıları temsil edebilmek için nervürsüz düz donatı kullanılmıştır (Şekil 3.3 – 3.4 – 3.5).

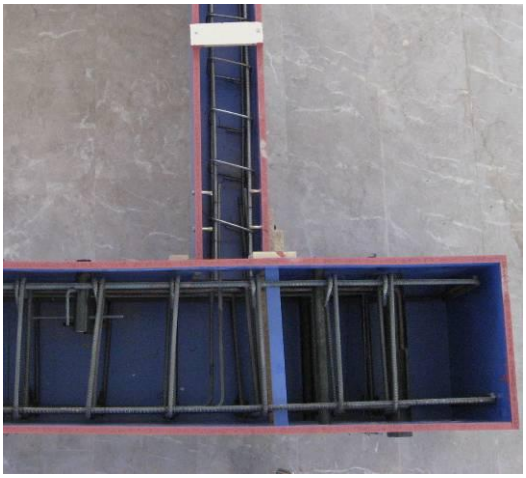




Şekil 3.3. Kolon üst sol ve sağ birleşim detayları



Şekil 3.4. Orta kiriş ve kolon birleşim detayları



Şekil 3.5. Kolon – temel birleşim detayları

Beton dökümü için hazır beton tercih edilmiştir. Maximum agrega boyutu 8-10 cm olarak tercih edilmiş ve TS802'ye göre tasarlanan karışım oranı hazır beton firmadan talep edilmiştir. Hazır beton mikseri laboratuara girebildiği için beton dökümü elle döküme göre oldukça zahmetsiz olmaktadır (Şekil 3.6 – 3.7).



Şekil 3.6. Hazır beton mikseri ile beton dökümü





Şekil 3.7. Numunelere betonun yerleşimi

Aynı anda 10 adet numune dökümü yapılabildiği için numuneler arasında beton kalitesinde farklılık olmamıştır. Buda deneysel sonuçların karşılaştırılması bakımından daha sağlıklı sonuçlar vermektedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Beton dökümü tamamlanmış numune

Amaçlanan beton basınç dayanımı 10 Mpa seviyesindedir. Numunelerin dökümü sırasında silindir örnekler alınmış ve 28 günlük basınç dayanımları test edilmiştir (Şekil 3.9). Silindir örneklerine yapılan testlerin sonuçları hedeflenen dayanımın sağlandığını göstermiştir.



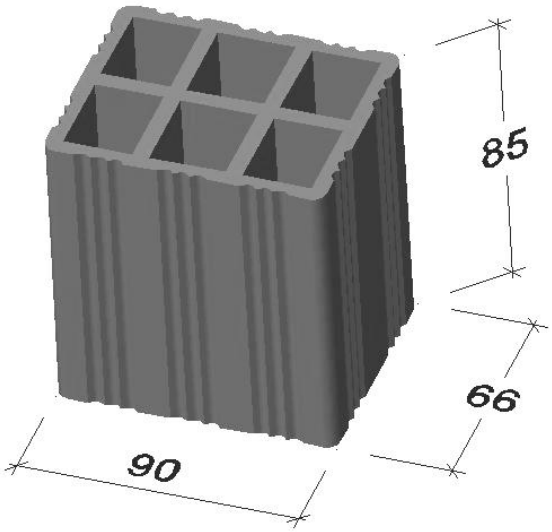


Şekil 3.9. Beton silindir örneklerinin alınması ve test edilmesi

3.2. Tuğla Duvar Üretimi

1/2 ölçekli betonarme çerçeve modellerinde kullanılacak tuğla dolgu duvarda da model oranına uyulmaya çalışılmıştır. Delikli tuğla birimlerinin 1/2 ölçekte üretilmesi oldukça masraf oluşturmaktadır. Ayrıca özel üretim bile olsa tuğla çeperlerinin

mevcuttan daha da inceltilmesi mümkün olamamaktadır. Modelleme sadece tuğlanın en ve boy boyutlarında olmaktadır. Delikler ve çevresindeki tuğla çeperleri değiştirilememektedir. Ortadoğu Teknik Üniversitesi yapı laboratuarında tuğla birimleri özel üretimle yeniden üretilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Ortadoğu Teknik Üniversitesi'nde kullanılan 1/3 model tuğla

Mevcut deneysel çalışmada ise 190x190x135 mm boyutlarında tuğla birimini temsil etmek üzere 190x190x85 mm boyutlarında ticari olarak satılan tuğlalar kesilerek 135x85x75 boyutlarına getirilmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Yeniden boyutlandırışmış tuğla birimleri

Tuğla duvarın örülmesi işlemi için, mesleği duvarcılık olan bir usta ile anlaşılmış ve gerçekte duvarı nasıl örmekte ise aynı şekilde laboratuarda da örmesi istenmiştir. Harç ve sıva karışımında kireç ve çimentonun kum ile karıştırılması ile oluşturulan harç kullanılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Tuğla duvar örülmesi

3.3. Kaldırma Aparatı İmalatı

Beton dökümü sırasında karşılaşılan problemler nedeniyle numuneler yatay pozisyonda dökülmüştür. Yatay olarak yerde yatmakta olan numunelerin kaldırma işlemi için numunenin en üst noktadan tutularak kaldırılması gerekmektedir. Ancak bu işlem sırasında kolon diplerinde moment oluşacağı için numune hasar görecektir. Bu nedenle numuneyi çepeçevre sararak moment almasını önleyecek ve hatta kolon ve kirişlerin zati ağırlıklarını da karşılayacak bir sistem üretilmiştir. Sistem bulonlu bir şekilde kolayca monte ve demonte edilebilmektedir. Boyutlarından dolayı parçalar ancak vinç yardımıyla kaldırılabilmektedir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Kaldırma aparatı imalatı ve kullanımı

3.4. Seyyar Vinç Montesi

Laboratuarda mevcut vinç sisteminin yetişmediği yerlerde kullanılmak üzere seyyar bir vinç sistemi de üretilmiştir. Önceki deneysel çalışmalarda kullanılan ve Dr. Kamil Akın tarafından üretilen kren sistemi eski deprem laboratuarından sökülerek yeni laboratuara taşınmış ve yüksekliği 1,5 m artırılarak yeniden monte edilmiştir. Bu işlemler sırasında sistemin yatay stabilitesi iyileştirilmiştir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Seyyar Vinç

3.5. Platform İmalatı

Duvar örülmesi, veri okuma sistem ekipmanlarının yerleştirilmesi gibi işlemlerde 2m'den yüksek yerlere ulaşabilmek için yatay stabilitesi yüksek bir merdiven yada iskele sistemine ihtiyaç duyulmuş ve 3 aşamalı bir çelik iskele imal edilerek laboratuara getirilmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Seyyar platformun tamamlanmış durumu

3.6. Kalıpların İmalatı

Beton dökümünde hazır beton kullanılacağı ve aynı anda 10 adet numune üretileceği düşünülmüştür. Böylelikle numunelerin beton sınıfı tamamen aynı olacak ve işçilikten de önemli ölçüde tasarruf sağlanacaktır. Numunelerin kalıplarının çelik saçtan yapılmasının maliyeti çok yüksek olacağı ve numune boyutlarında oluşacak bir değişim için yeniden numune üretilmesi gereceği için, kalıpların ahşaptan yapılmasına karar verilmiştir. İlk aşamada 14 adet numune kalıbı bir mobilyacıyla anlaşılarak laboratuarda ürettirilmiştir. Kalıpların temel kısmında yerle bağlantının yapılacağı delik kısımlarına 70 mm çapında ince çelik borular konulmuştur (Şekil 3.16 – 3.17).









Şekil 3.16. Ahşap kalıp imalatı

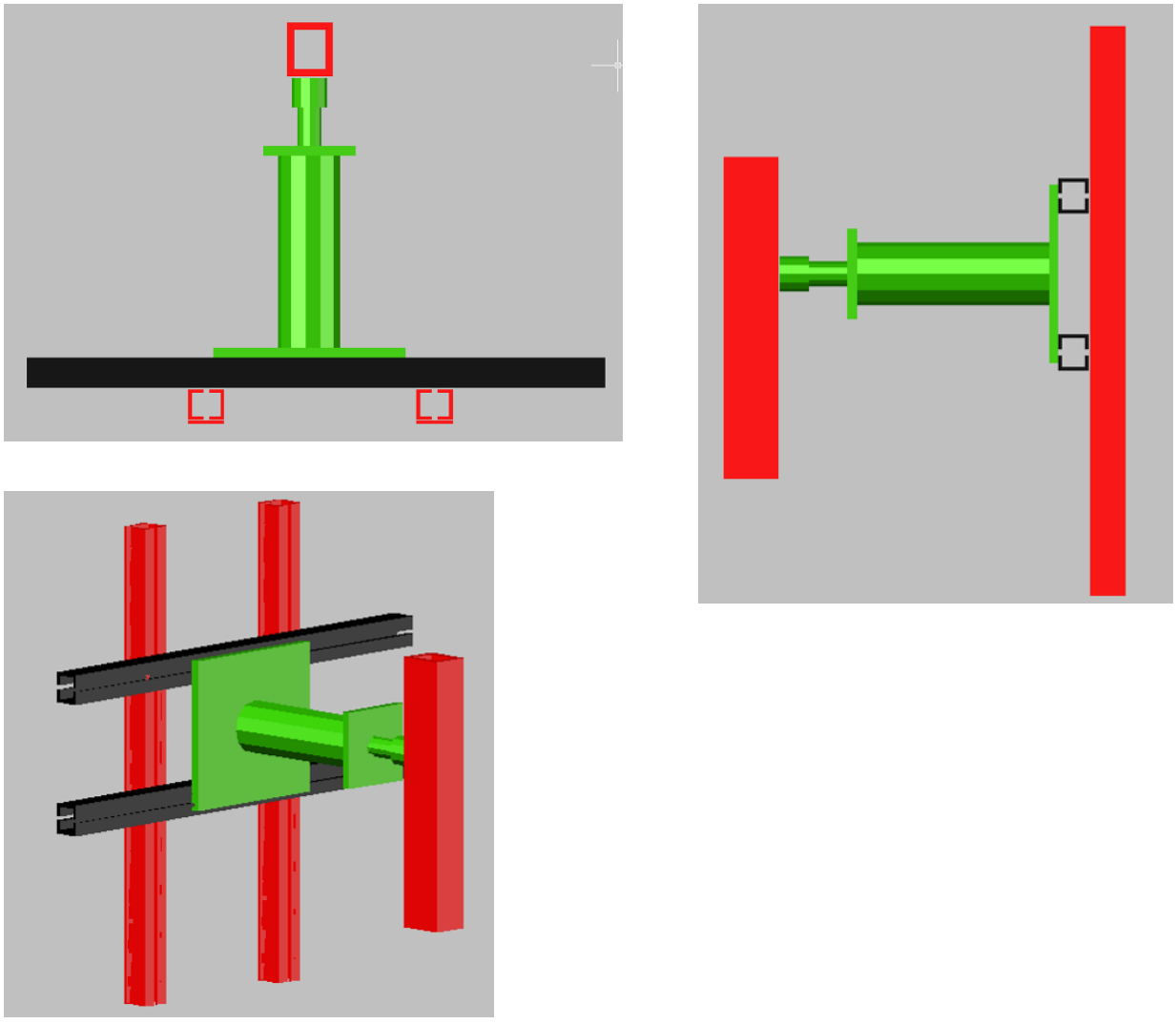


Şekil 3.17. Ahşap kalıbın tamamlanmış durumu

Ahşap kalıbın beton dökümünde hidrostatik basınç etkisiyle açılmaması için köşe noktalarına ve temel kalıbına takviyeler yapılmıştır.

3.7. Yükleme Sistemi İmalatı

Şekil 3.18'de görüldüğü üzere, yatay yükleme sistemi tasarlanmış ve Konya sanayisinde imal ettirilerek laboratuara getirilmiştir (Şekil 3.19).



Şekil 3.18. Tasarlanan yükleme sistemi







Şekil 3.19. Yükleme aparatı alt kirişler imalatı

Yatay yükü verecek hidrolik silindirin hem yatayda hem de düşeyde hassas bir şekilde hareket ettirilerek sabitlenebilmesi amaçlanmıştır. 3 m boyunda U profillerden ortası 4 cm genişliğinde boş kalacak şekilde 4 adet kapalı kutu profiller üretilmiştir. Bu profillerden 2 adeti yere yatay olarak duvara 2 m boyunda özel yapım yivli millerle sabitlenmiş ve bunlarında üstüne 2 adet profil yere dik olacak şekilde bağlanmıştır. Yere

dik profillerin üstüne de 50x50 cm ebadında ve 5 cm kalınlığında çelik levha vidalanarak onunda önüne 50 cm uzunluğunda "Enerpac" marka hidrolik lift konulmuştur. Levha ve lift arasına da 4 cm kalınlığında çelikten imal edilen mafsal bağlantı konulmuştur. Hidrolik liftin ön kısmında bulunan yivlere girecek şekilde 30x30 ebadında 5 cm kalınlığında levha sabitlenmiştir. Böylelikle hidrolik silindir yükleme duvarından konsol olarak uzanmakta ve 3 m yatayda ve düşeyde kolaylıkla yer değiştirebilmektedir.



Şekil 3.20. Yükleme aparatın tamamlanmış durumu

3m uzunluğunda mesnet açıklığının fazla olması nedeniyle hidrolik silindirle yükleme uygulandığında mesnet kirişlerinin sehim yapmasını engellemek için seyyar, 1,5 m uzunluğunda 2 adet daha mesnet kirişi imal edilmiş ve yükleme noktasının altında duvara monte edilmiştir.

Numunenin düzlem dışı hareketini engellemek için numuneye paralel olarak yerleştirilecek bir çelik çerçeve sistemine daha ihtiyaç duyulmuştur. Bunun için 60 mm çapında ve 3m boyunda boru profiller L şeklinde imal edilen ve laboratuar döşemesine sabitlenen özel yapım levhalara kaynakla sabitlenmiştir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Düzlem dışı hareketi engelleyen sistem

Deney numunesine üst kattan etkiyen düşey yükü benzeştirmesi için düşey eksenel yük verilmesi amaçlanmıştır. Numune üstüne kolonlara mesnetlenecek şekilde konulan bir çelik profile dik olarak kaynatılan ikinci bir profilden imal aparat hazırlanmıştır. Bu aparatta 50 mm çapında 2 adet delik simetrik olarak yerleştirilmiştir.







Şekil 3.22. Eksenel yük sitemi

Üst noktadaki deliklerden geçerek yere mafsalla sabitlenen ve 4 m boyunda yüksek dayanımlı çelikten imal 40 mm çapında yivli miller özel olarak imal edilmiştir. Bu millerin yere bağlantısını yapabilmek için 150 cm uzunluğunda profillerin ortasına özel imal mafsallar sabitlenmiştir. Bu mafsaldaki yivlerle mildeki yivlerin birbirine bağlanması için 40 cm uzunluğunda içi her iki yive de uyan bağlantı aparatları yapılmıştır. En üst noktada miller üst aparatta bulunan deliklerden geçirildikten sonra 50 ton kapasiteli delikli "loadcell-yük hücresi" den de geçecek şekilde mil uzatılmış ve yük hücrelerinin üstüne yine delikli ve 100 ton kapasiteli hidrolik silindirler yerleştirilmiştir. Hidrolik silindirler kriko vasıtasıyla itilmesiyle silindir üst aparatı milden kuvvet alarak aşağı itecek ve kolonlara basit mesnetli olduğu için eşit miktarda düşey eksenel basınç kuvveti uygulayacaktır.

Eksenel yük sistemine bağlı miller yatay deplasmanın artmasıyla yatay yük almaya başlamaktadır. Bu nedenle ilerleyen çevrimlerde düşey yükün okunduğu yük hücrelerinde uygulanan eksenel yükün arttığı gözlenmektedir. Bu artışın toplam yatay yüke katkısı sonuçların değerlendirilmesi ile ilgili bölümde ele alınacaktır. Eksenel yükleme sistemi ve yatay hareket engelleme sistemi Şekil 3.23 de verilmiştir.



Şekil 3.23. Eksenel yükleme ve düzlem dışı hareketi engelleme sistemi

3.8. Veri Toplama Sistemi Hazırlığı

LVDT olarak adlandırılan ve numunedeki ötelenme miktarını ölçen elektronik cetvellerin yerleşimi amacıyla içerisine yivli delik açılmış boru profiller imal edilmiştir (Şekil 3.24). Dikey olarak laboratuar döşemesine sabitlenen boruların dışından geçirilen daha büyük çaplı boru parçalarına kaynatılan diğer borular vasıtasıyla içi dolu demir miller ve ucunda kaynaklı levhalara vidayla sabitlenen "potansiyometrik cetveller" istenen seviyede ve istenen açıda numune üzerinden okuma yapabilmektedir.



Şekil 3.24. LVDT yerleşimi için hazırlanan yivli borular

Bu çalışma kapsamında ve BAP projesi çerçevesinde 40 cm'lik ve 20 cm'lik OPKON marka potansiyometrik cetveller alınmıştır. Bu cetvellerin mevcut veri toplama sistemi ile entegre çalışabilmesi için kablo uçları otomasyon firmasınca hazırlanmıştır (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. Potansiyometrik cetvellerin kablo bağlantılarının yapımı

Deney numunesi temelinin rijit kütle hareketi ve ötelenmesini ölçebilmek amacıyla BAP projesi kapsamında 5 cm ve 1,5 cm kapasiteli dijital deplasman ölçer saatler (dial gauge) alınmıştır. Bu komparametrik saatlerin veri toplama iskelesine bağlantısını yapabilmek için yine torna atölyesinde ara konektörleri imal edilmiştir. Bu konektörler ve saatler kolon diplerinde meydana gelen eğrilik ve dönmelerin ölçülmesinde de kullanılmıştır.

Deney çerçevesi 2 katlı olduğu için yatay deprem yükünü benzeştiren yüklemenin katlara 2 (üst kat) ve 1 oranlarında paylaştırılması uygun görülmüştür. Her iki kat kirişine de basan bir düşey çelik kirişin üstten 2/3'lük kısmından yatay yükün uygulanacağı levha kaynatılmış ve kirişlere basan noktalara da levha konulmuştur. Çekme kuvvetini uygulayabilmek için kirişlerin karşı yüzlerine de levhalar konularak 2,5 m uzunluğunda 8 adet mil ile birbirine bağlanmıştır. Numuneye itme hidrolik silindir tarafındaki yüzden uygulanırken, çekme karşı uçtan uygulanmaktadır (Şekil 3.26-27).



Şekil 3.26. Üst ve alt kat kirişlerin yüzlerine konulan levha ve transmisyon milleri



Şekil 3.27. Yükleme ara kiriş sistemi

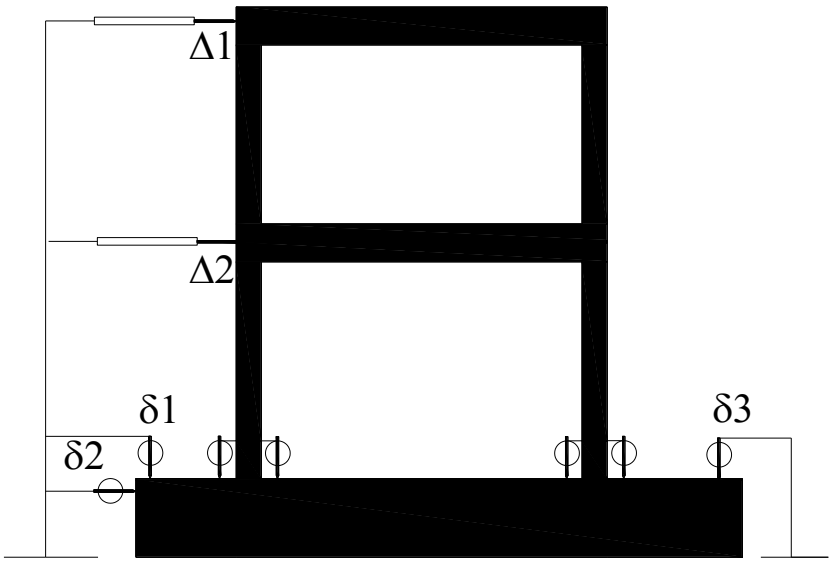
Yatay ve düşey yükleme sistemi ve veri toplama ünitelerinin yerleşimi Şekil 3.28'de verilmiştir.



Şekil 3.28. Yükleme sistemi i

3.9. Veri Değerlendirme

Deney numunesi laboratuar döşemesine 2 adet 10 cm çapında mil ile bağlanmıştır. Yatay yükleme sırasında olabilecek rijit cisim ötelenmelerini ölçebilmek için, numune temeline 3 adet komporametre (dial gauge) konulmuştur (Şekil 3.29).



Şekil 3.29. Ölçüm sistemi

η_1 değeri numune tepesindeki yatay deplasmanı temsil etmektedir. η_2 değeri numune orta kat yatay deplasmanıdır. δ_2 değeri temelin yatayda olası hareketini ölçmek için yerleştirilmiştir. Mesnet dönmesi sonucu tepe deplasmanı düzeltmesi

$$\eta_1 = \frac{(\delta_1 + \delta_3)}{2}\frac{L_1}{L_2}\cos\alpha \qquad (\tan\alpha = \frac{(\delta_1 + \delta_3)}{2L_2} = \frac{\eta_1}{L_1.\cos\alpha}) \qquad (1)$$

$$\eta_2 = \frac{(\delta_1 + \delta_3)}{2}\frac{L_1}{2L_2}\cos\alpha \qquad (\eta_2 = \frac{\eta_1}{2}) \qquad (2)$$

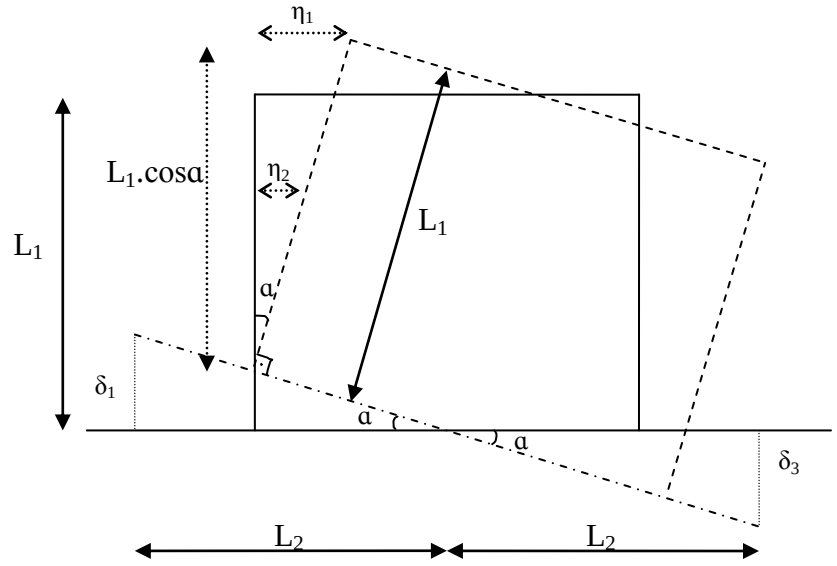
Net tepe deplasmanı:

$$T_1 = (\Delta_1 - \delta_2) - \eta_1 \qquad (3)$$

Net orta kat yatay deplasmanı:

$$T_2 = (\Delta_2 - \delta_2) - \eta_2 \qquad (4)$$

Olarak hesaplanabilir. Yukarıda verilen formüllerdeki değişkenlere Şekil 3.30'da yer verilmiştir.



Şekil 3.30. Deplasman ölçümü

Veri toplama sistem detay resimleri Şekil 3.31 de verilmiştir.



Şekil 3.31. Veri toplama sistem detayları

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde tez kapsamında gerçekleştirilen deneylerin sonuçları hasar biçimlerinin resimleri eşliğinde özetlenmiş ve elde edilen yük deplasman eğrileri verilmiştir. Deneylerin kendi arasında karşılaştırılması ise bir sonraki bölümde ele alınmıştır.

Çalışmada ilk denenen numune RFB1 numunesidir. Bu numunede hiçbir güçlendirme yapılmamıştır. Dolgu duvar olmaksızın boş olarak denenmiş ve sadece betonarme boş çerçevenin davranışını görmek ve yatay yükleme altında davranışını anlamak amacıyla denenmiştir.

İkinci numune, RISPS2 numunesi dolgu duvarlı numunedir. Bu numunenin beton dayanım özellikleri RFB1 numunesiyle aynıdır. Ayrıca donatı detaylarında da değişiklik yapılmamıştır. Numunede sadece tuğla dolgu duvar mevcuttur. Duvar üzerinde herhangi bir hasır çelik uygulaması yapılmamıştır.

Üçüncü numune, SPS1 numunesi RFB1 ve RISPS2 numuneleriyle aynı betonarme çerçeveye sahip, dolgu duvar özellikleri RISPS2 ile aynı ancak duvar üzerinde 1 sıra hasır çelik ve 15 mm kalınlığında sıva uygulanmıştır.

Dördüncü numune, SPS2'de hasır çelik oranı değiştirilmemiş ve sıva kalınlığı 30 mm'ye çıkarılmıştır.

Beşinci numune, SPS3'te hasır çelik ve sıva detayları SPS2 deki gibi uygulanmıştır.

4.1. Referans Boş Çerçeve RFB1

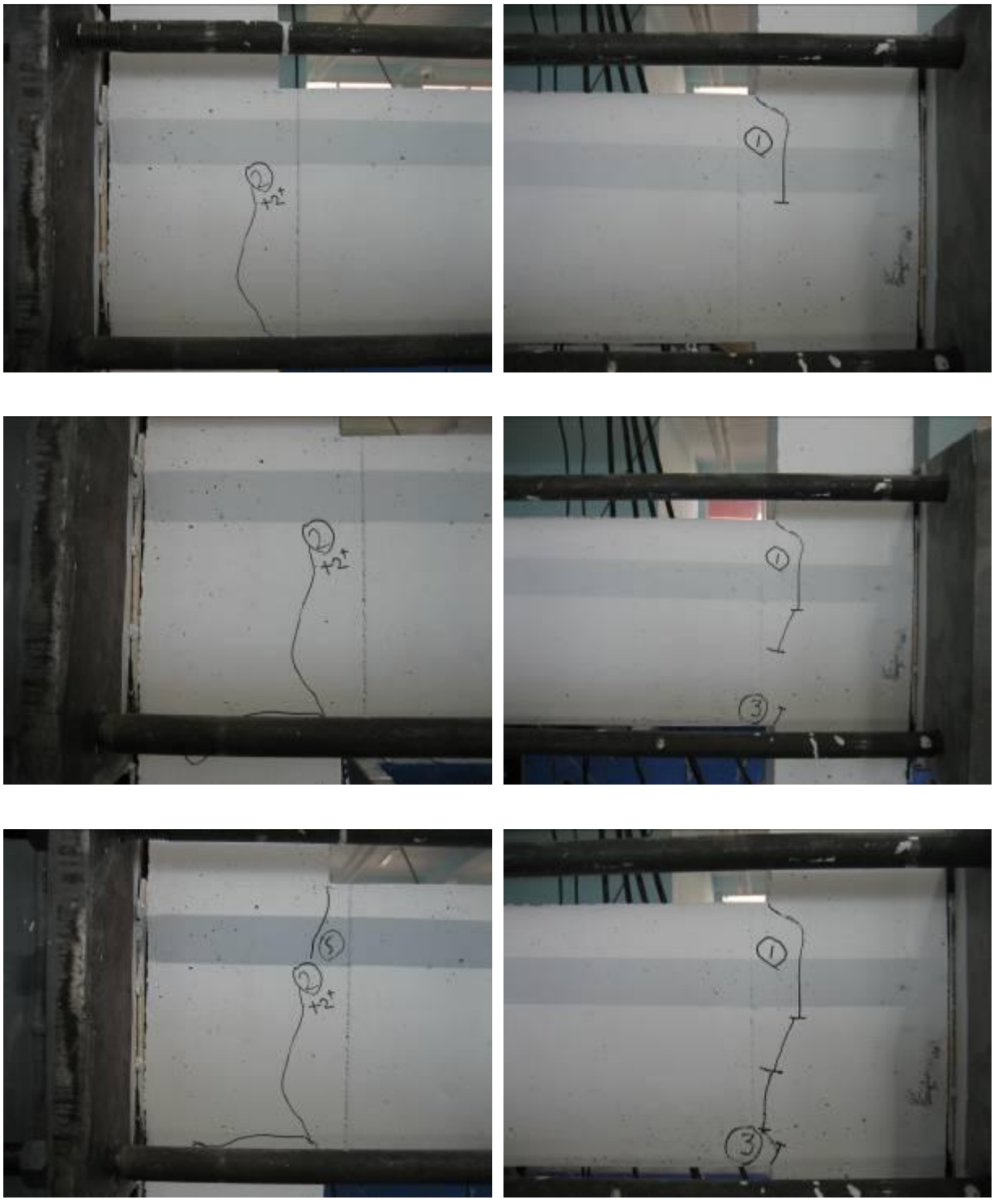
Çalışma kapsamında denenen ilk numune hiçbir dolgu duvar içermeyen ve diğer numunelerle karşılaştırma amacıyla denenen referans numune RFB1'dir (Şekil 4.1).



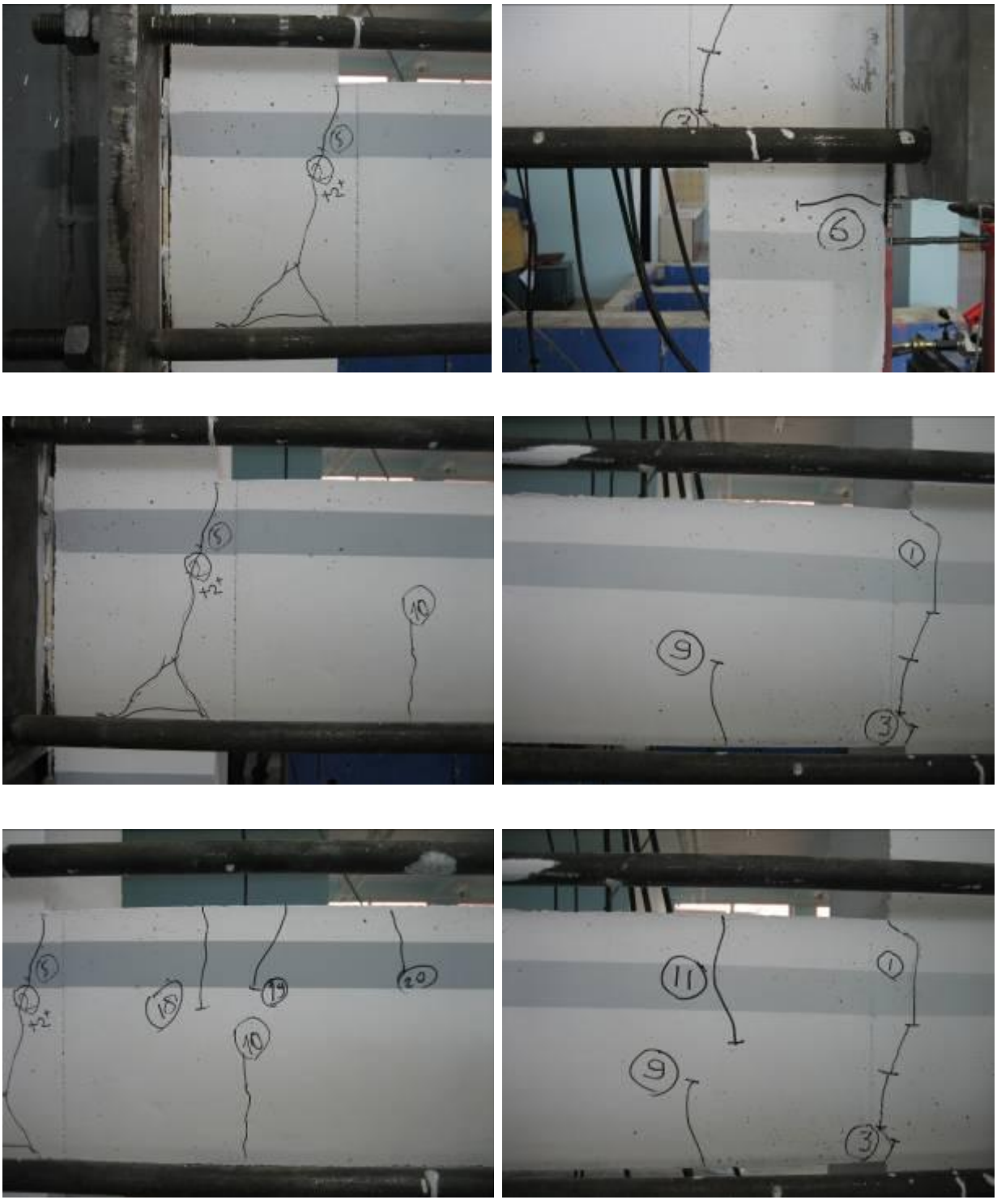
Şekil 4.1. Referans boş çerçeve RFB1

Deney numunesinin denenmesinde yatay yük kat seviyelerinde üst katta 2 orta katta 1 oranında olacak şekilde tersinir tekrarlanır şekilde uygulanmıştır. İlk çevrimlerde sistemin elastik özelliklerini anlayabilmek için akma sınırına kadar yük artımlarına dayalı yükleme kontrollü çevrimler uygulanmıştır. Akma sınırının tespitinden sonra çevrimler deplasman kontrollü olarak yürütülmüştür. Akma deplasmanının katları olarak deplasman artırımları tespit edilmiştir.

Numunede ilk çatlaklar sol ve sağda orta katta kolon kiriş birleşim bölgelerinde oluşmuştur. Şekil 4.2'de bu bölgedeki çatlak gelişimi verilmiştir.



Şekil 4.2(a) Orta kolon ve kiriş birleşim bölgesinde çatlak gelişimi



Şekil 4.2(b) Orta kolon ve kiriş birleşim bölgesinde çatlak gelişimi



Şekil 4.2(c) Orta kolon ve kiriş birleşim bölgesinde çatlak gelişimi

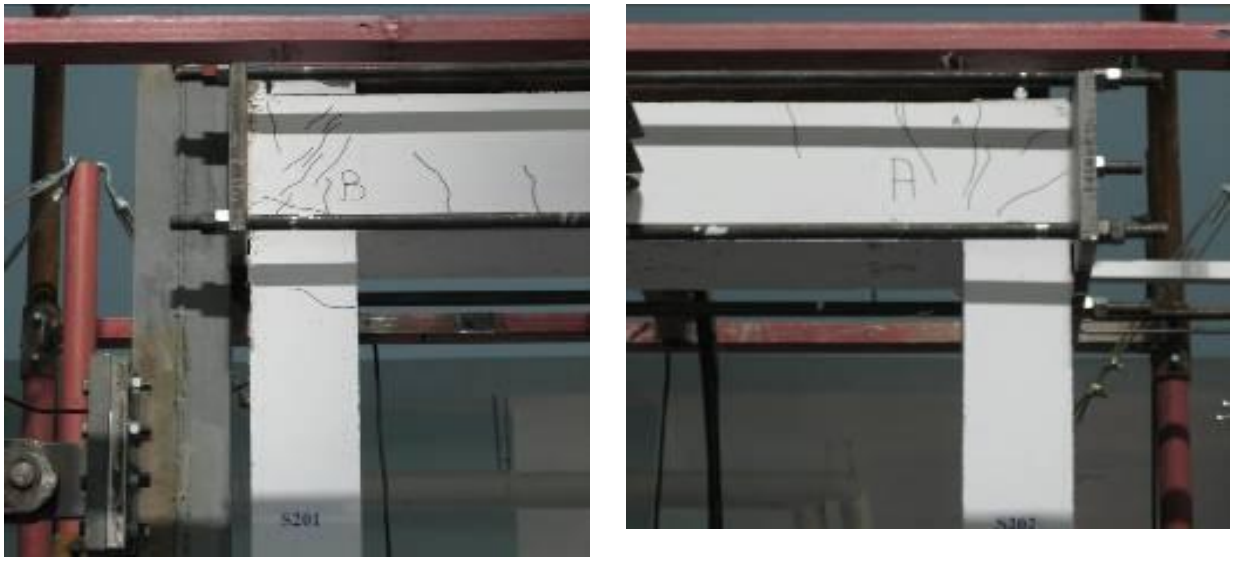
Sol ve sağ kolon temel birleşiminde kolon diplerinde oluşan çatlak gelişimi Şekil 4.3'de verilmiştir. Şekil 4.4'de ise üst kolon kiriş birleşim bölgesi çatlak oluşumu verilmiştir.



Şekil 4.3(a) Temel- kolon birleşim bölgesindeki çatlak oluşumu



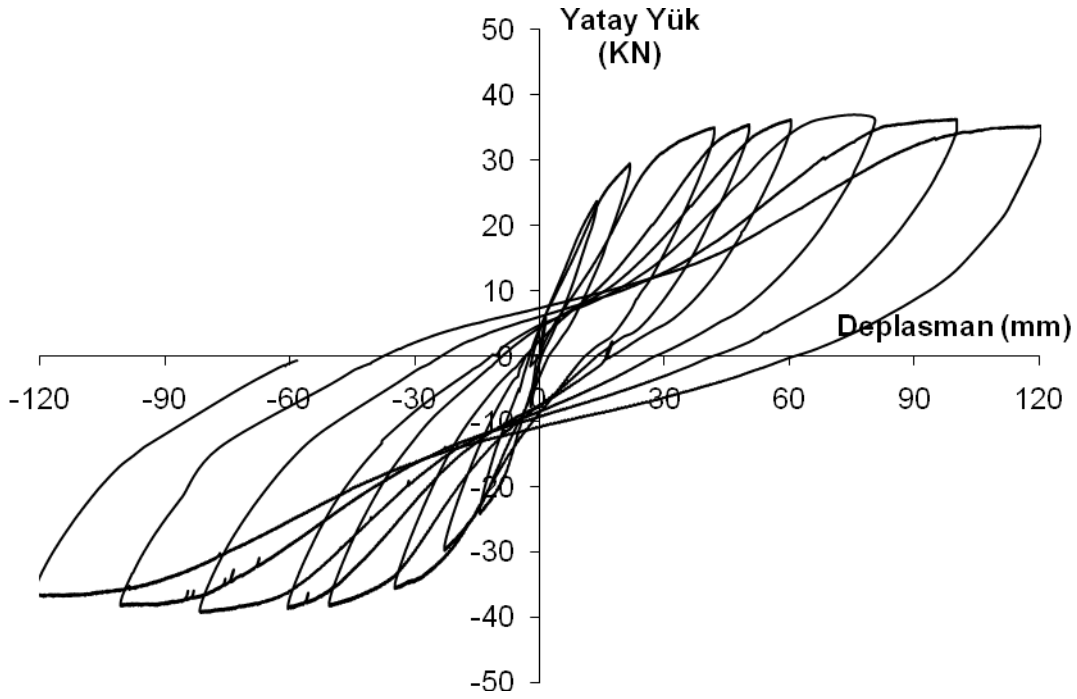
Şekil 4.3(a) Temel- kolon birleşim bölgesindeki çatlak oluşumu



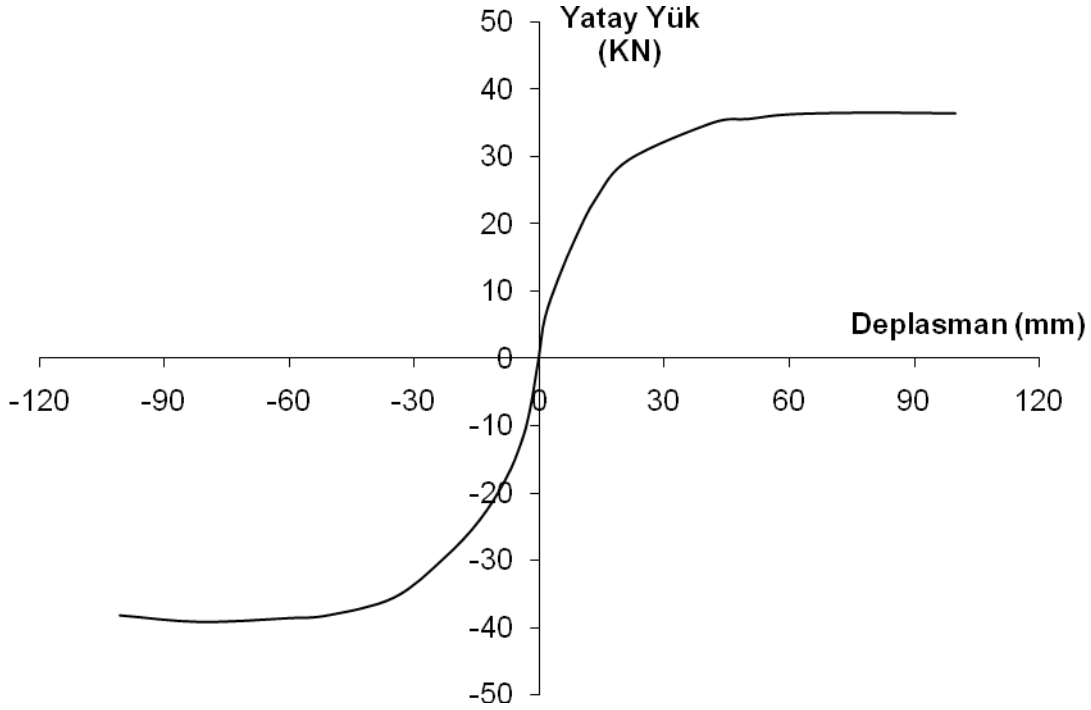
Şekil 4.4 Üst kolon kiriş birleşim bölgesindeki çatlak oluşumu

İleri çevrimde maksimum 36,51 KN, geri çevrimde maksimum -39,33 KN, yatay yüke dayanan RFB1 numunesinde akma deplasmanı ileri çevrimde 25,00 mm, geri çevrimde ise -29,65 mm'dir.

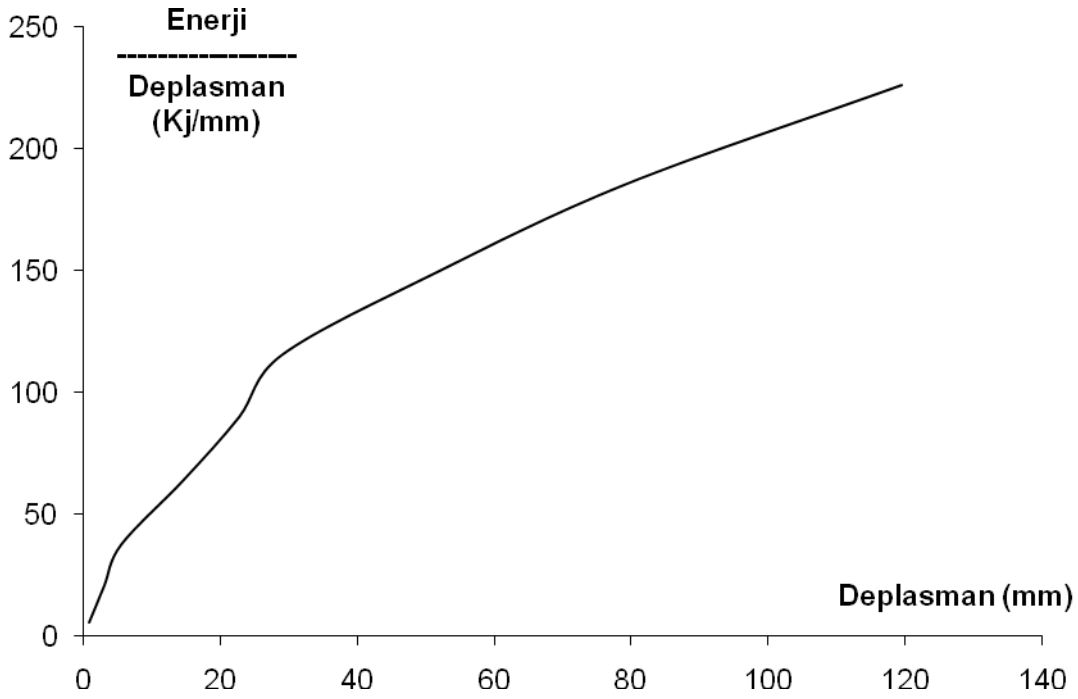
Deney sırasında elde edilen yük-üst kat deplasman grafiği Şekil 4.5'de, histeresis eğrilerine ait zarf eğrisi ise Şekil 4.6'da, tüketilen toplam enerji eğrisi Şekil 4.7'de ve rijitlik kaybı eğrisi Şekil 4.8'de verilmiştir.



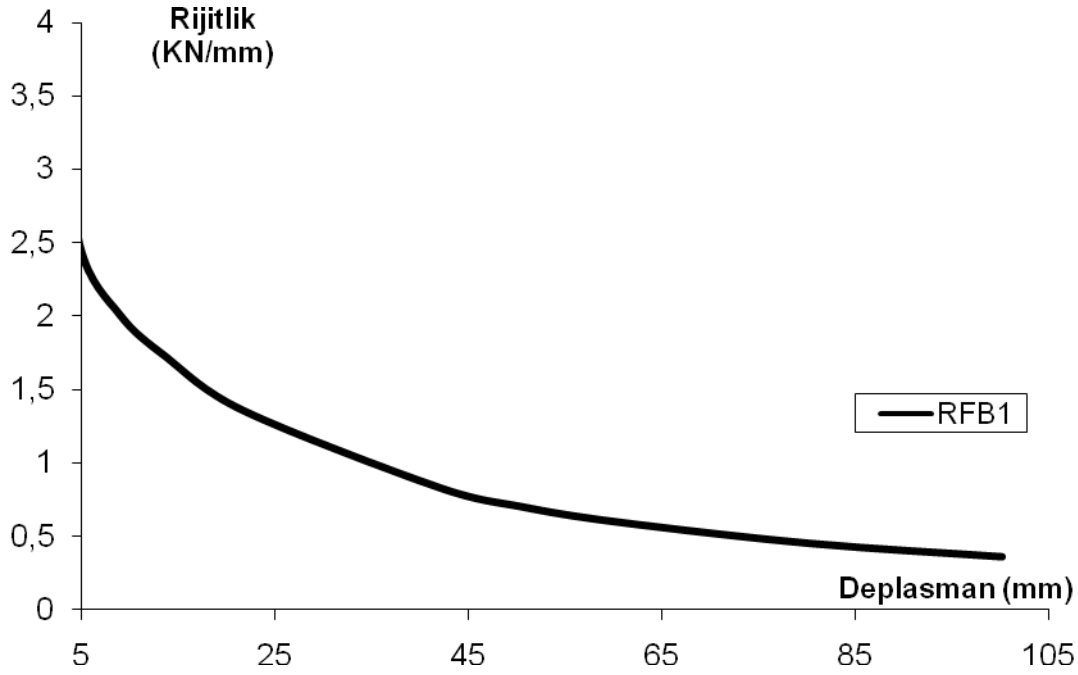
Şekil 4.5 Referans boş çerçeve yük-üst kat deplasman histeresis eğrileri



Şekil 4.6 Referans boş çerçeve yük-üst kat deplasman zarf eğrisi



Şekil 4.7 Referans boş çerçeve tüketilen toplam enerji eğrisi



Şekil 4.8 Referans boş çerçeve rijitlik kaybı eğrisi

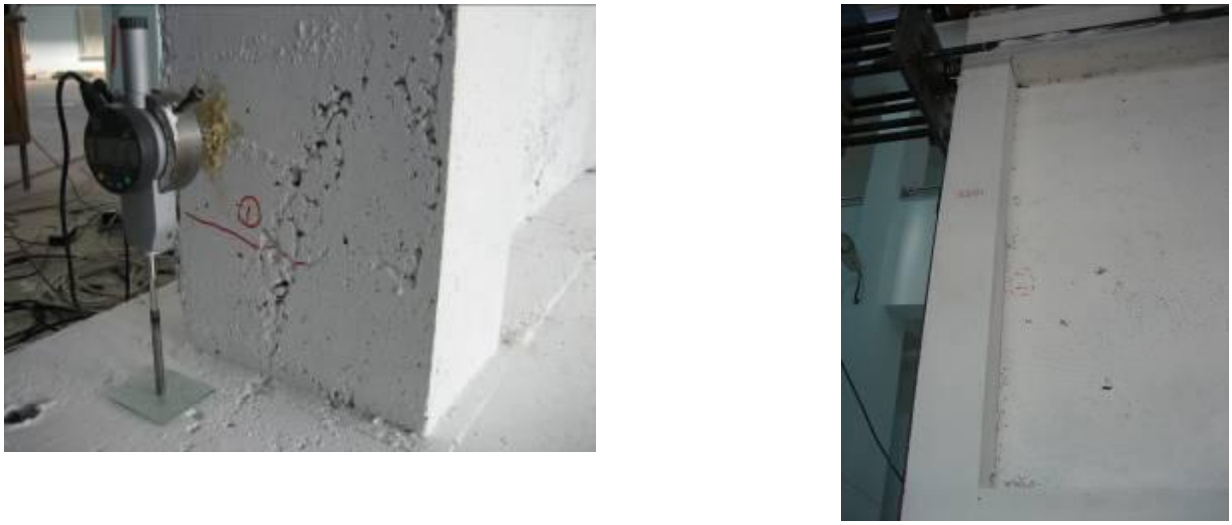
4.2. Referans Dolgu Duvarlı Çerçeve RISPS2

RISPS2 numunesi donatı ve beton sınıfı bakımından referans boş çerçeve ile aynı özelliklere sahiptir. Dolgu duvar tuğlası olarak 190x190x135 boyutlarında olan tuğlanın küçültülmüş hali olarak 135x85x75 boyutlarında tuğla kullanılmıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Tuğla birimleri ve tuğla duvar örülmesi

Numunenin denenmesi sırasında izlenen yükleme geçmişi boş çerçeve ile aynı olacak şekilde elastik sınırlar içinde yükleme kontrollü, akma sınırından sonra ise deplasman kontrollü ve akma deplasmanının katları olarak izlenmiştir. Numunede ilk çatlak kolon dibinde görülse de, takip eden çatlaklar kolon ve kiriş ile tuğla duvar birleşiminde oluşmuştur (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 (a) RISPS2 numunesinde ilk oluşan çatlaklar



Şekil 4.10 (b) RISPS2 numunesinde ilk oluşan çatlaklar

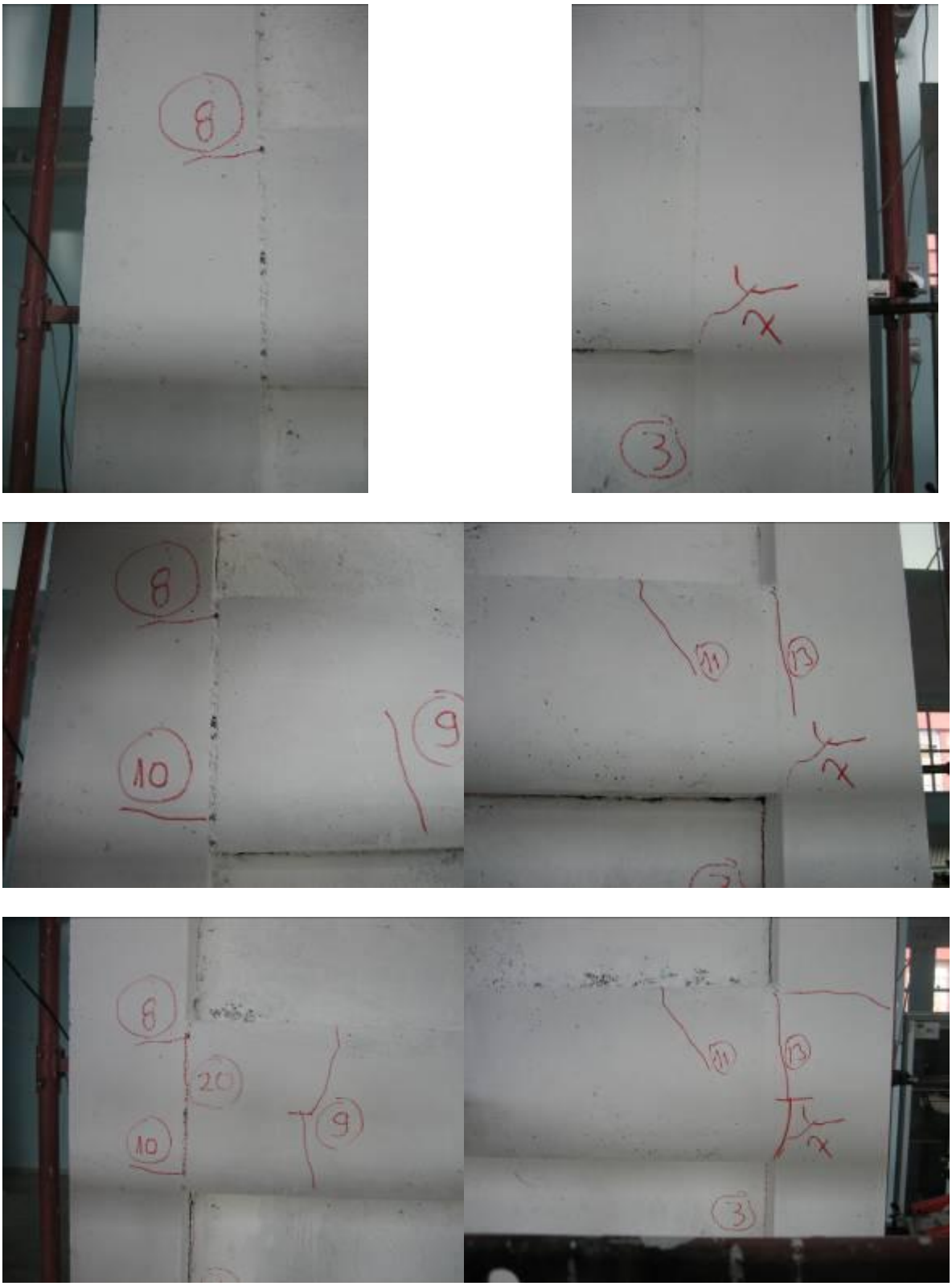
Şekil 4.11'de kolonlarda oluşan çatlaklar verilmiştir. Şekil 4.12 ve 4.13'de ise orta kat kolon kiriş bölgesinde oluşan çatlak ve hasar biçimi sırasıyla özetlenmiştir.







Şekil 4.11 Kolonlarda oluşan ilk çatlaklar



Şekil 4.12 (a) RISPS2 numunesinde orta kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan çatlaklar



Şekil 4.12 (b) RISPS2 numunesinde orta kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan çatlaklar

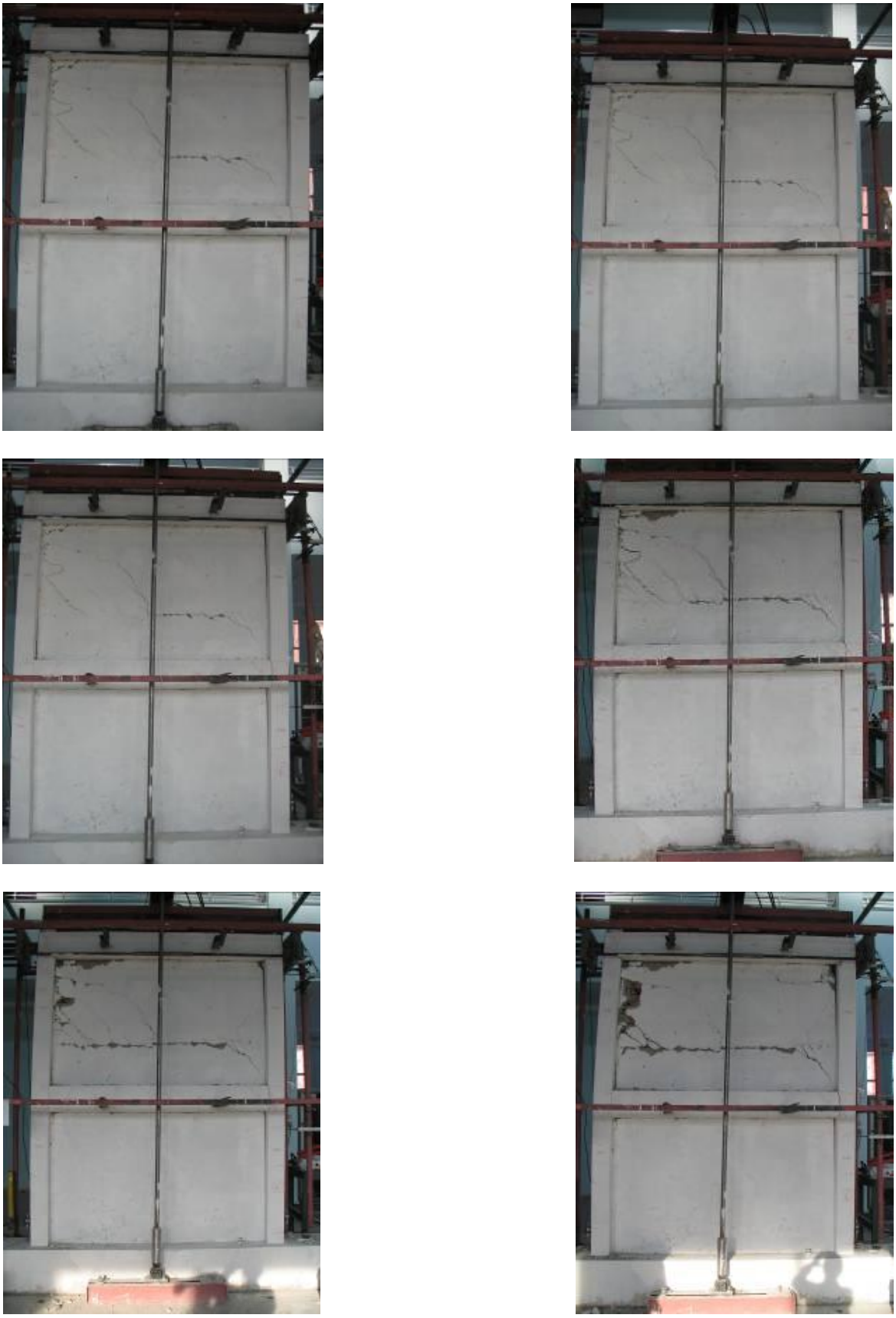


Şekil 4.12 (c) RISPS2 numunesinde orta kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşan çatlaklar



Şekil 4.13 Orta kat kolon kiriş birleşimi hasar geçmişi

Tuğla duvarda hasar biçimi Şekil 4.14' de özetlenmiştir. Çatlak oluşumu üst köşeden alt çapraz köşeye doğru başlamış ancak L/H oranının büyük olması nedeniyle yataylaşmıştır. Yatay deplasmanın ilerlemesiyle duvar köşelerinde de ezilme görülmüştür (Şekil 4.15).



Şekil 4.14 Tuğla duvar hasar biçimi ve ilerleme durumu

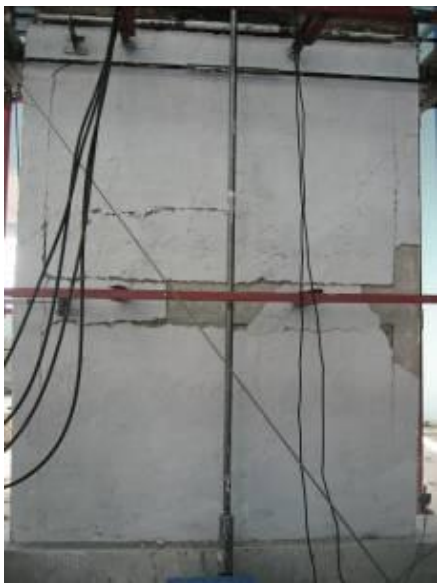




Şekil 4.15 Tuğla duvar köşelerinde ezilme

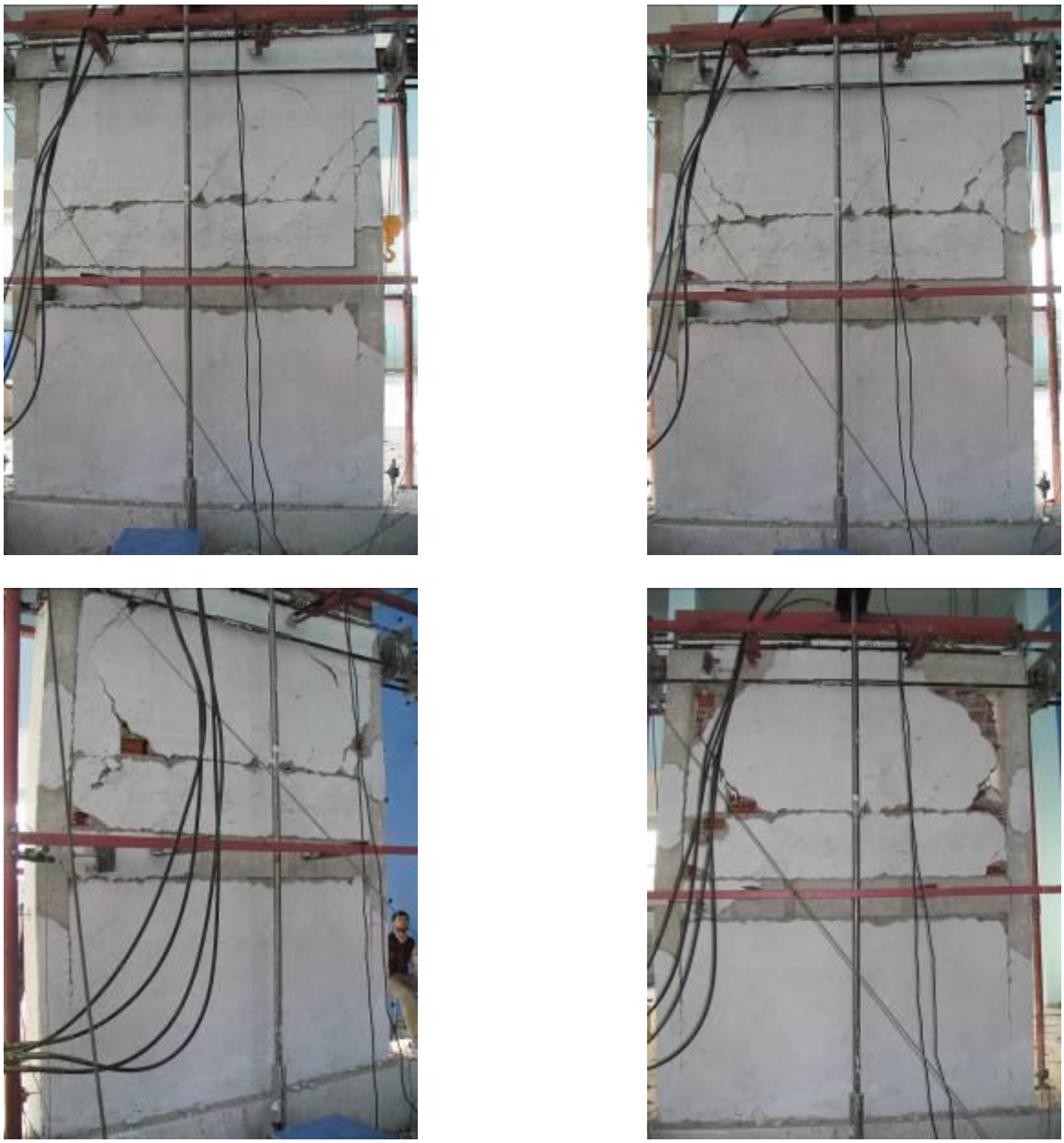
Dolgu duvarların arka yüzeyinde oluşan çatlakların sıralaması hasar özeti Şekil 4.16‘de verilmiştir.

Deney sırasında ölçülen toplam yatay yük ve üst kat deplasman grafiği Şekil 4.17 ve yatay yük-deplasman zarf eğrisi de Şekil 4.18’de verilmiştir. Numunede dolgu duvarda gözlenen hasara paralel olarak yük deplasman eğrisinde de belirgin bir düşüş olmuştur. Dolgu duvarlı numune; ileri çevrimde 42,41 KN, geri çevrimde -54,81 KN maksimum yatay yüke dayanmış ve ileri çevrimde 6,85 mm, geri çevrimde ise -10,92 mm deplasman seviyesinde plastik mafsallaşma ve akma mekanizması göstermiştir. Çerçeveye ait enerji tüketim eğrisi ve rijitlik kaybı eğrileri Şekil 4.19 ve 4.20'de verilmiştir.

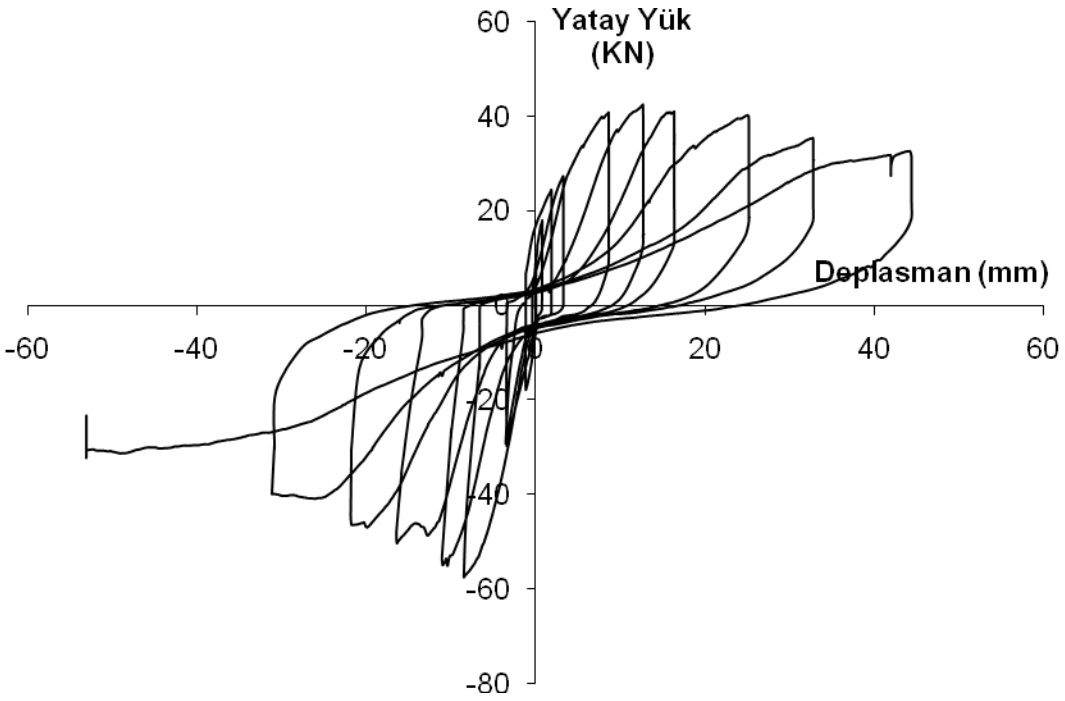




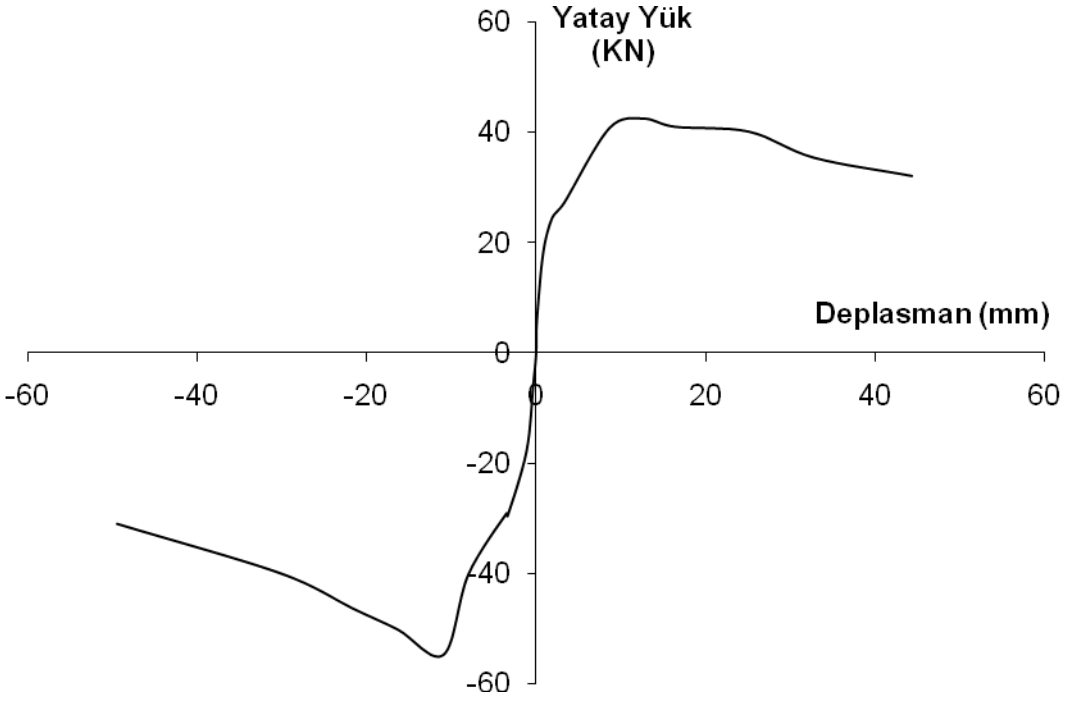
Şekil 4.16 (a) Dolgu duvarların arka cephesinde oluşan hasar biçimi



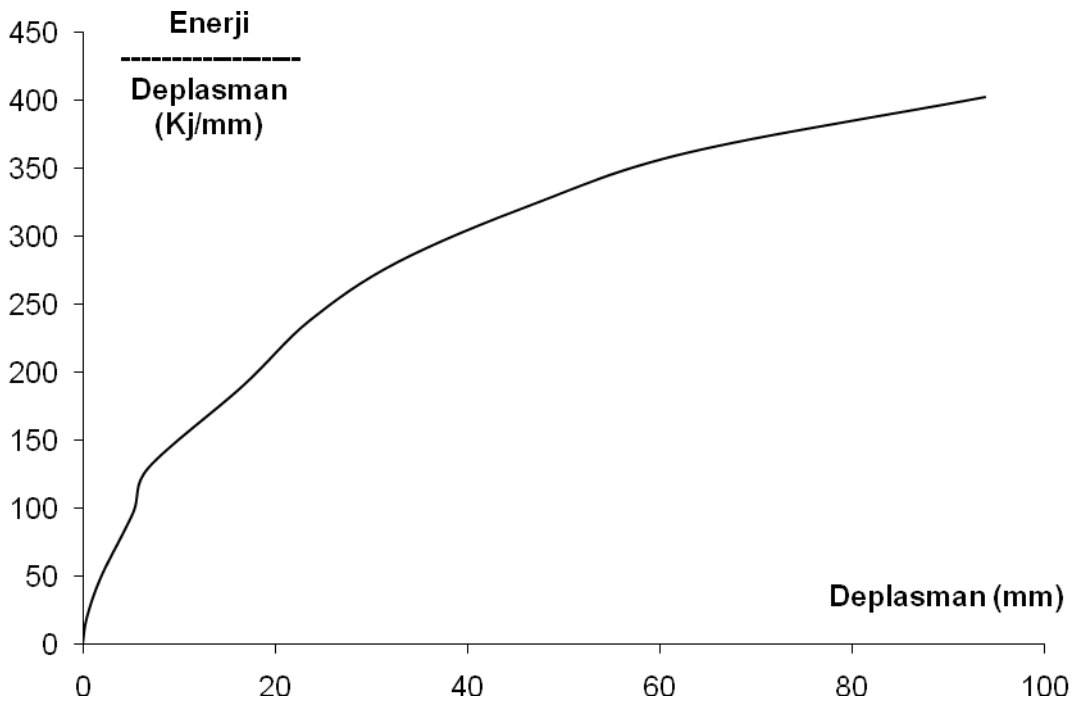
Şekil 4.16 (b) Dolgu duvarların arka cephesinde oluşan hasar biçimi



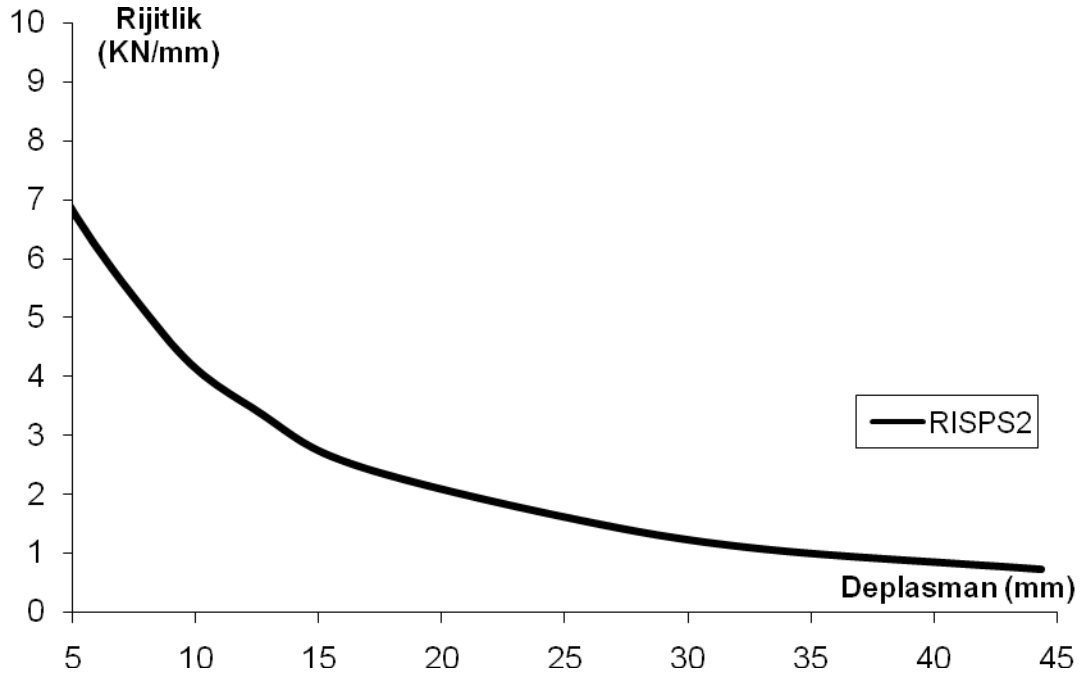
Şekil 4.17 RISPS2 numunesinden elde edilen yatay yük-üst kat deplasman histeresis eğrileri



Şekil 4.18 RISPS2 numunesi yatay yük-üst kat deplasman zarf eğrisi



Şekil 4.19 RISPS2 numunesi tüketilen toplam enerji eğrisi



Şekil 4.20 RISPS2 numunesi rijitlik kaybı eğrisi

Referans boş çerçeve (RFB1) ve referans dolgulu çerçeve (RISPS2) arasındaki rijitlik ve yatay yük taşıma kapasiteleri arasındaki fark önemlidir. Referans boş çerçeve ileri çevrimde 36,51 KN, geri çevrimde -39,33 KN maksimum yatay yüke dayanırken, referans dolgulu çerçeve ileri çevrimde 42,41 KN, geri çevrimde ise -54,81 KN maksimum yatay yük seviyesine çıkmıştır. RISPS2 numunesi ileri çevrimde boş çerçeveden 1,16 kat, geri çevrimde 1,50 kat daha fazla yatay yüke dayanabilmiştir. Ancak maksimum yüke eriştikten sonra dolgunun hasar görmeye başlamasıyla yük-deplasman eğrisinde keskin bir düşüş gözlenerek boş çerçevenin yük deplasman eğrisine yaklaşılmıştır. 5 mm deplasman seviyesinde; boş çerçevenin rijitlik değerinin yaklaşık 2,45 KN/mm, duvar dolgulu çerçevenin rijitlik değerinin ise yaklaşık 6,80 KN/mm olduğu tespit edilmiştir. Bu açıdan dolgu duvarların çerçevenin yatay rijitliğini arttırdığı açıktır.

4.3. Deney Numunesi SPS1

Bodrum hariç en fazla üç katlı binalarda uygulanmak üzere, temel üstünden yukarıya kadar üst üste süreklilik gösteren betonarme çerçeve içindeki dolgu duvarlarının rijitliği ve kesme dayanımı, aşağıda tanımlanan güçlendirme yöntemleri ile arttırılmasını hedefleyen bir güçlendirme yöntemi olan "Dolgu Duvarların Hasır Çelik Donatılı Özel Sıva ile Güçlendirilmesi" yöntemi 3. deney numunesi SPS1'de uygulanmıştır.

Bu metod, dolgu duvarlarının rijitliği ve kesme dayanımı, duvar yüzüne uygulanan hasır çelik donatılı, özel karışımlı sıva tabakası ile arttırılmasını hedeflemektedir. TDY2007'de sıva tabakasının kalınlığı en az 30 mm, hasır donatı pas payının en az 20 mm olması gerektiği ve sıvanın 4 hacim kum, 1 hacim çimento ve 1 hacim kireç karışımı ile yapılacağı belirtilmektedir. Bu karışımla yapılan sıvanın basınç dayanımı en az 5 MPa olacaktır.

Bu türlü uygulamalarda mevcut çerçeve içinde basınç çubuğu oluşumu sağlanmalı ve güçlendirilecek duvarların köşegen uzunluğunun güçlendirme öncesi kalınlığına oranı 30'dan küçük olmalıdır.

Çerçeveye yük aktarımı için gerekli ankrajlar düzenlenmelidir. Bunun için uygulamanın yapılacağı duvar yüzü ile çerçeve elemanlarının dış yüzü arasında en az 30 mm derinliğinde boşluk olmalıdır.

Donatılı sıva tabakası ile çerçeve elemanları arasında kullanılacak çerçeve ankraj çubuğunun en küçük çapı 12 mm, en az ankraj derinliği çubuk çapının on katı ve en geniş çubuk aralığı 300 mm olmalıdır.

Ayrıca donatılı sıva tabakası ile mevcut dolgu duvarın birlikte çalışmasının sağlanması için duvar düzlemine dik yönde, her bir metrekare duvar alanında dört adet gövde ankrajı yapılacaktır.

Duvara dik yönde yapılacak gövde ankraj çubukları dolgu duvarın harç derzleri içine gömülecek ve çubuk çapı en az 8 mm, ankraj derinliği çubuk çapının en az on katı olacaktır.

Duvar düzlemine paralel ve dik doğrultuda yapılacak tüm ankraj çubukları açılacak deliklere epoksi esaslı bir malzeme ile ekilecek ve uçları L şeklinde 90 derece bükülerek hasır donatının içine geçirilecektir.

Güçlendirilen dolgu duvarlarında oluşan kuvvetlerin zemine güvenle aktarılması için gerekli olan temel düzenlemesi yapılmalıdır.

Mevcut 1/2 ölçekli betonarme çerçeve yukarıda özetlenen uygulama esaslarına göre güçlendirilerek test edilmiştir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21 Dolgu Duvarların Hasır Çelik Donatılı Özel Sıva ile Güçlendirilmesi

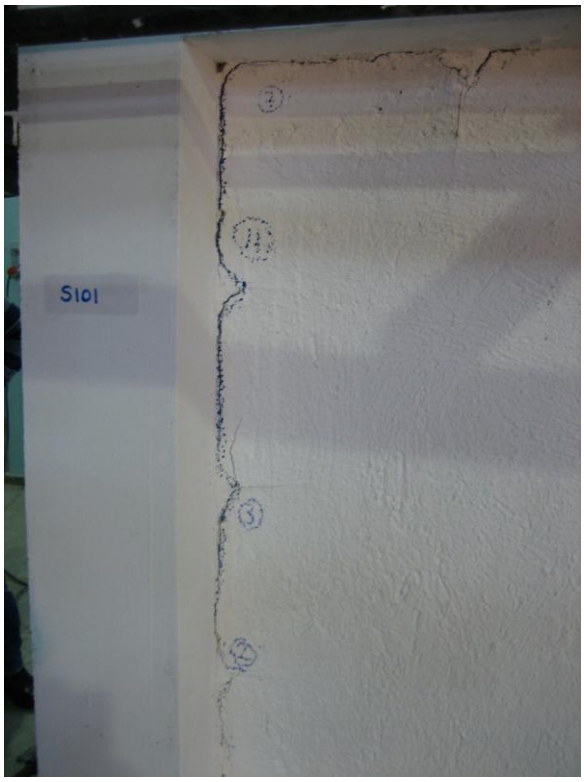
Deney süresince uygulanan yükleme geçmişinde akma seviyesine kadar yük kontrollü, akma sınırından sonra ise deplasman kontrollü ve akma deplasmanının katlarının tatbik edildiği çevrimler uygulanmıştır.

Numunede ilk önemli çatlaklar kolon ve dolgu arasında başlamış ve özellikle kolona dik olarak çakılan rodların duvarla birleşiminde görülmüştür. Benzer çatlaklar kiriş altında, duvarla kirişin birleşiminde de gözlenmiştir (Şekil 4.22). Bu gözlem dolgu duvarın kirişten gelen kesme kuvvetlerini karşılamaya başladığını, diğer bir deyişle kirişin çerçeveye gelen yatay yükü kesme mekanizması ile dolgu duvara aktardığının göstergesi olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 4.22 Dolgu duvar ve kiriş ve kolonlar arası çatlaklar

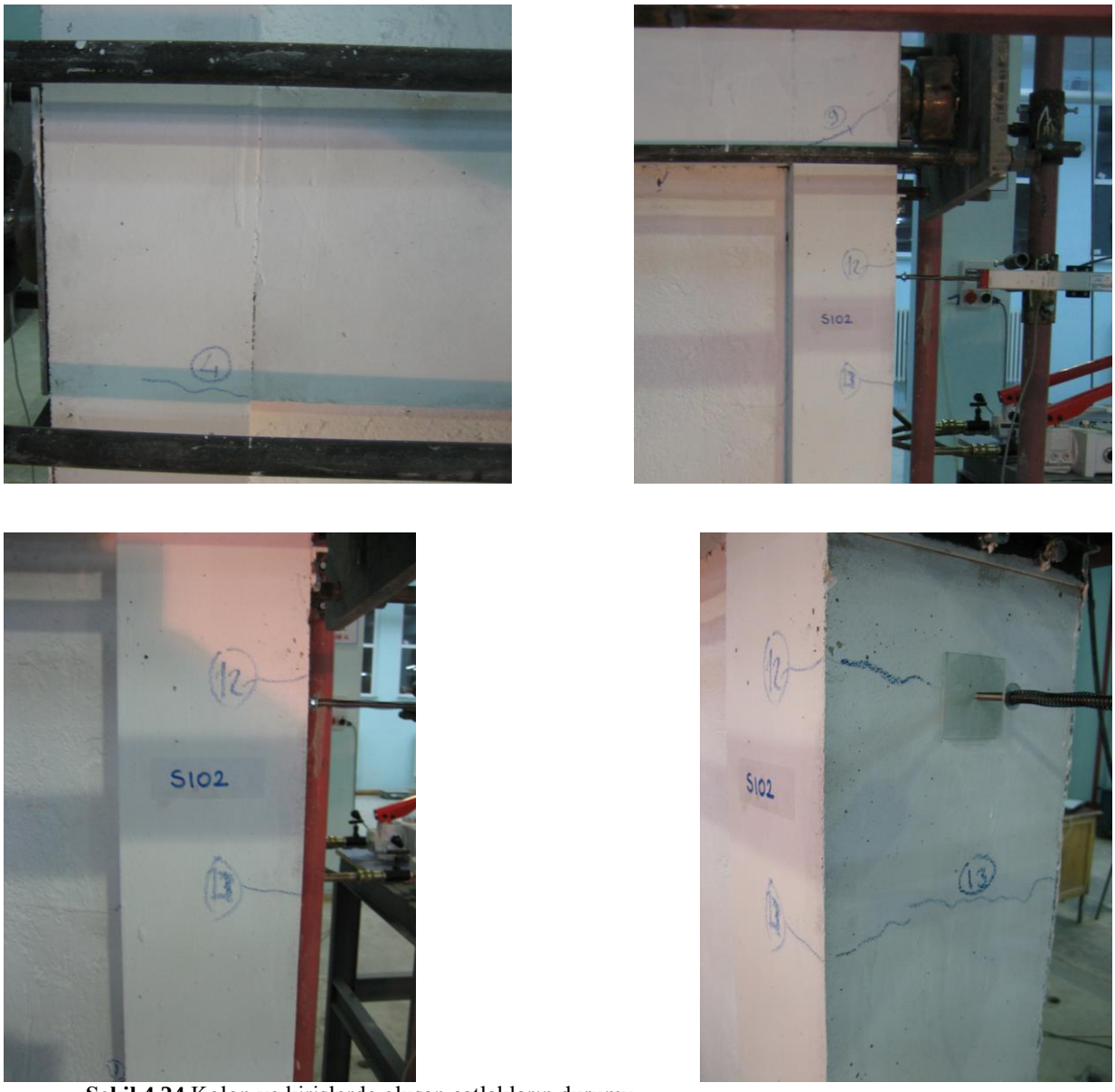
İlerleyen çevrimlerle birlikte dolgu duvarla kolon ve kirişler arasında ayrışma da ilerlemiş ve artık her bir ankraj çubuğu belirginleşmiştir (Şekil 4.23).





Şekil 4.23 Dolgu duvar ve kolon kirişler arasında ayrışma

Betonarme elemanlarda oluşan diğer çatlakların durumu Şekil 4.24'de resimlerle özetlenmiştir.



Şekil 4.24 Kolon ve kirişlerde oluşan çatlakların durumu

Dolgu duvar ve betonarme elemanlar arasında oluşan ilk ayrışmadan sonra 49,29 KN yük seviyesinde ve 22,38 mm deplasman düzeyinde iken, geri çevrim sırasında ani olarak kiriş-duvar arasındaki ankraj çubuklarının üstündeki sıva tabakası dökülmüş ve yine ani bir şekilde duvarla kiriş arasında bağlantı yok olarak, kiriş duvar üzerinde belirgin bir şekilde hareket etmiştir. Bu hareket sonrasında kolonla duvar arasındaki ankraj çubuklarında da sıyrılma olmuştur. Bu mekanizma esnasında yük deplasman grafiğinde ani olarak taşınan yükte düşüş ve yatay deplasmanda ani bir artış da gözlenmiştir. Mekanizma çok ani olduğu için fotoğrafla aşamalarını görüntüleme imkanı olmamıştır. Hasar sonrası dolgu duvarın durumu Şekil 4.25'de verilmiştir.



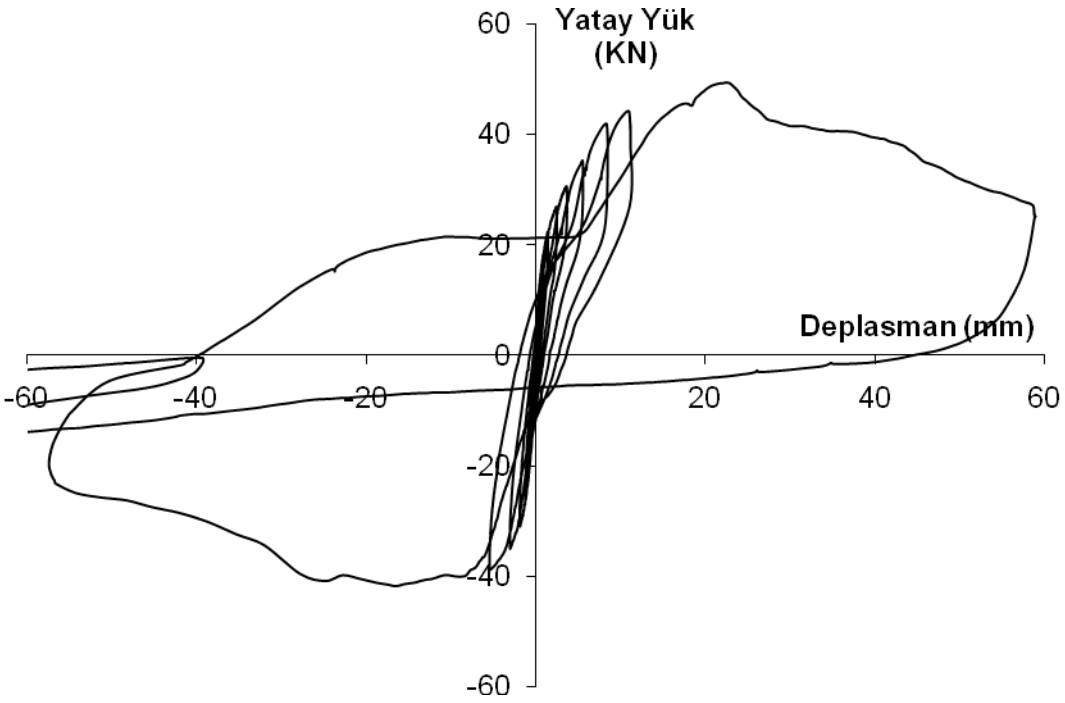
Şekil 4.25 Dolgu duvarda ve ankraj çubuklarında sıyrılma hasarı

Numunede sadece alt katta hasar oluşurken üst katta herhangi bir mekanizma gözlenmemiştir. Hasarın alt katta yoğunlaşması statik olarak beklenen bir durumdur. Çünkü, yatay kesme kuvveti ve taban kesme kuvveti alt katta daha fazladır. Numunenin arka cephesinde gözlenen hasar ise Şekil 4.26 de verilmiştir. Bu hasar sonrasında yapılan yüklemelerde ciddi bir rijitlik kaybı ile beraber taşınan toplam yatay yükte önemli ölçüde düşmüştür. Artık çerçeve ve dolgu birlikte davranmamakta, kirişler yatay kuvvetten doğan kesme kuvvetlerinin dolguya aktaramamakta ve kolonların kirişlerle bağlantısı da koptuğu için kolon-duvar arası ayrışma daha belirgin olmaktadır. Davranış normal dolgu duvarlı çerçeve davranışına dönmüştür.

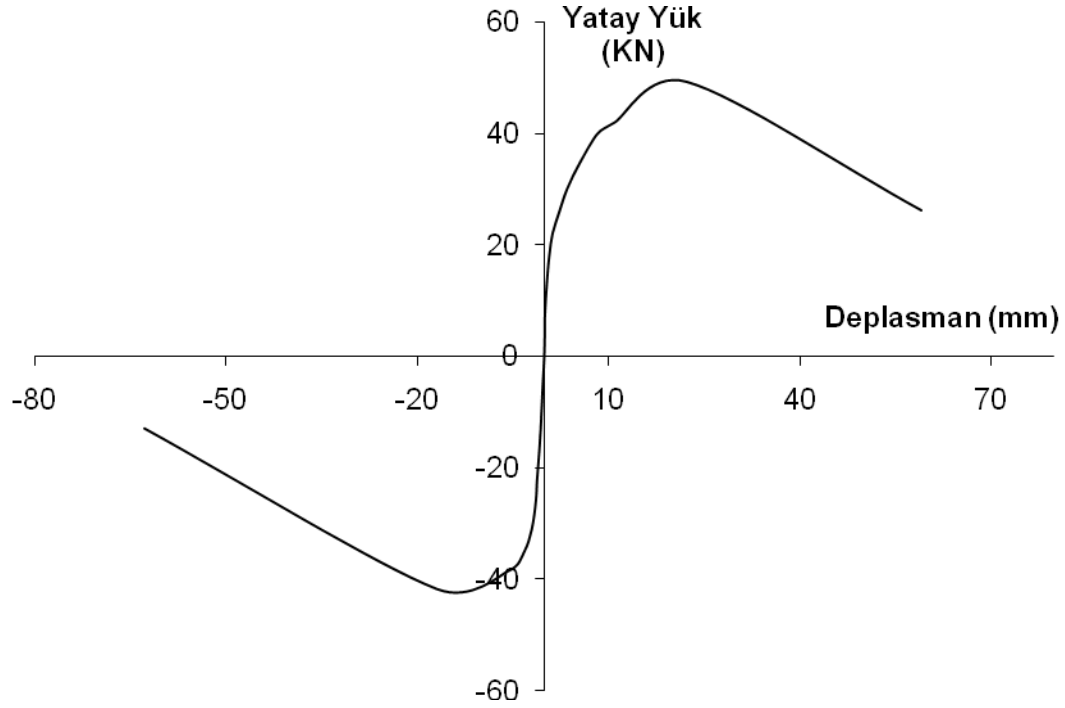


Şekil 4.26 Dolgu duvarların arka yüzünde gözlenen hasar

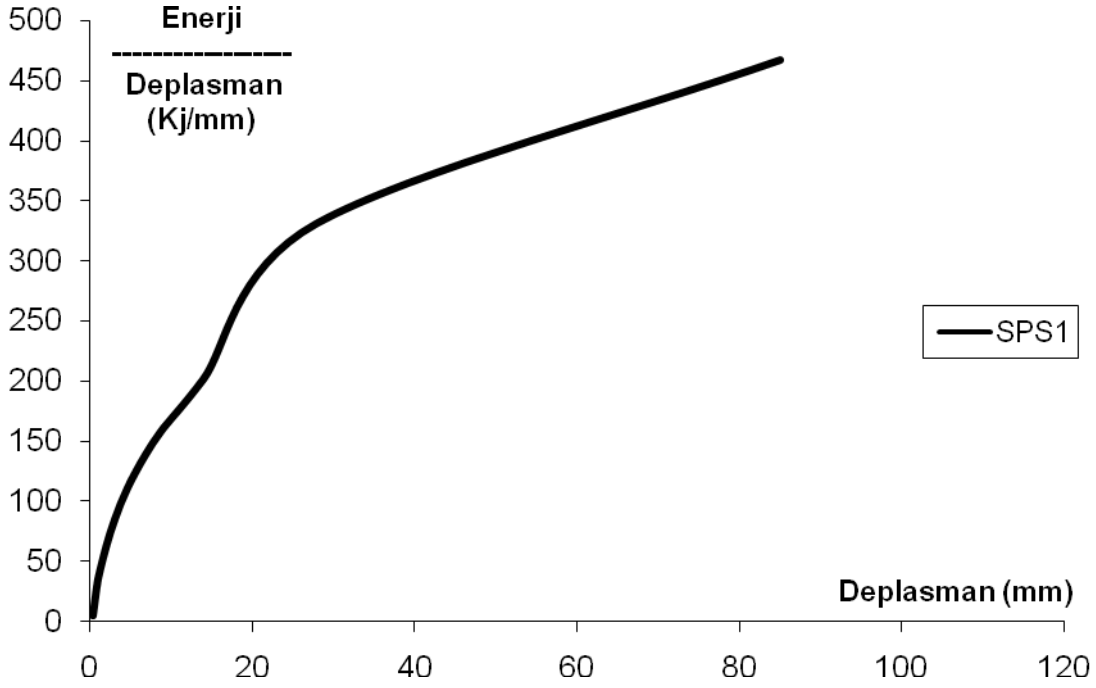
Deney sırasında elde edilen yatay yük ve tepe deplasmanı eğrileri ile buna ait zarf eğrileri Şekil 4.27-4.28 ‘de verilmiştir. Ayrıca Şekil 4.29 ve 4.30 da numuneye ait enerji tüketim eğrisi ve rijitlik azalım eğrisi de sunulmuştur.



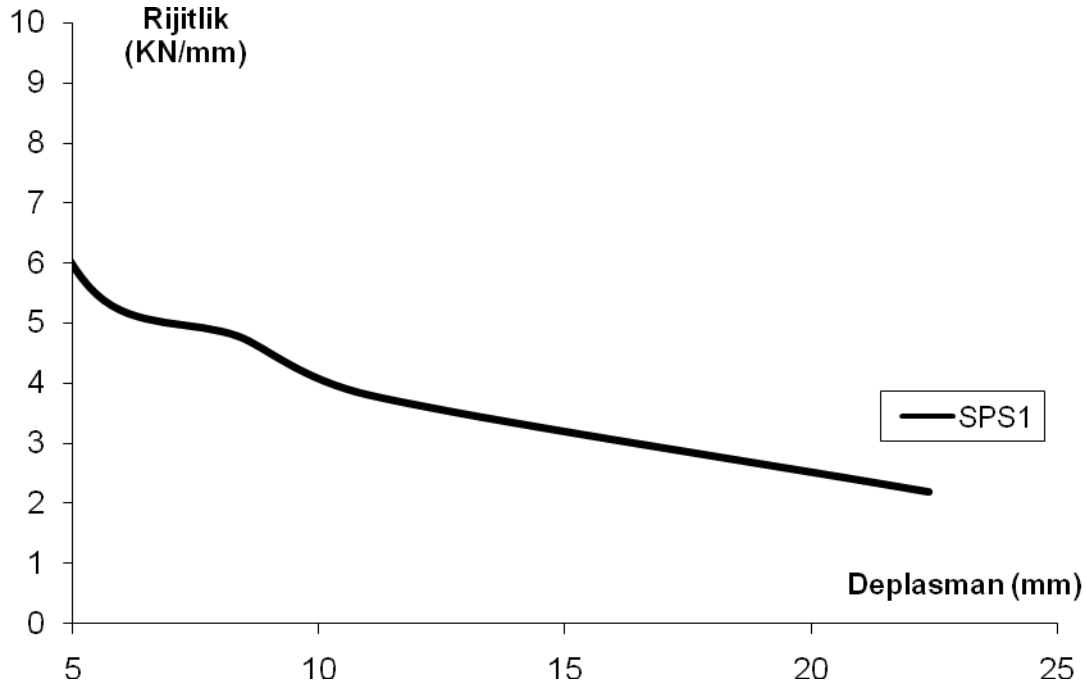
Şekil 4.27 SPS1 numunesi yük-deplasman histeresis eğrileri



Şekil 4.28 SPS1 numunesi yük-deplasman zarf eğrisi



Şekil 4.29 SPS1 numunesi tüketilen toplam enerji eğrisi



Şekil 4.30 SPS1 numunesi rijitlik kaybı eğrisi

SPS1 numunesi tek sıra hasır çelik ve 15 mm sıva uygulaması ile güçlendirilmiştir. İleri çevrimde maksimum 49,29 KN, geri çevrimde maksimum -41,86 KN yatay yüke dayanan SPS1 numunesinde, akma deplasmanı ileri çevrimde 9,01 mm, geri çevrimde ise -2,74 mm'dir. Bu numunenin deneyinde 49,29 KN maksimum yatay yük seviyesine çıkıldığı sırada, orta kat kirişi ve duvar paneli arasında teşkil edilen kayma kamaları arasında aderans kaybolmuş ve ani ve beklenmeyen bir göçme meydana gelmiştir. Bu göçme durumundan sonra panellerin yatay yük taşıma kapasitesine olan katkısı tamamen sona ermiş ve çerçeve davranışı boş çerçevenin davranış seviyesine düşmüştür. SPS1 numunesi ileri çevrimde boş çerçeveden 1,35 kat, geri çevrimde 1,15 kat daha fazla yatay yüke dayanabilmiştir. Ancak, deney sonrasında numunede uygulanan sıva kalınlığının çok az olduğu ve mutlaka artırılması gerektiği görülmüştür. SPS1 numunesinde 5 mm deplasman seviyesinde elde edilen rijitlik değeri yaklaşık 5,90 KN/mm'dir.

Dolgu-hasır çelik-sıva kompozit paneli ile kirişler arasında teşkil edilen kayma kamaları arasında meydana gelen aderans kaybı ve göçme mekanizması ile yapılan güçlendirme işleminin tam anlamıyla görevini yerine getiremediği ve yetersiz kaldığı değerlendirilmiştir.

4.4. Deney Numunesi SPS2

Deney numunesi SPS1 de uygulanan 15 mm kalınlığındaki sıvanın yetersiz kalmasıyla önce kirişlerdeki ankraj kamaları kesmeden dolayı, sonrada kolonlardaki ankraj kamaları çekmeden dolayı sıyrılarak beklenmeyen bir göçme şekli oluşmuştu. SPS2 numunesinde sıva kalınlığının artırılması gerektiği değerlendirilerek 30 mm sıva uygulanmıştır. Diğer detaylar SPS1 ile aynıdır (Şekil 4.31).



Şekil 4.31 SPS2 numunesi güçlendirme detayları

Deney numunesinde gözlenen ilk çatlaklar kolon diplerindedir. Bunu takiben duvar-temel birleşiminde de uzun ayrışma oluşmuştur. Yüklemenin yön değiştirmesi ile

çatlakların bazıları kapanırken, diğer taraftaki kolon ve duvar dibinde çatlak genişlemektedir (Şekil 4.32).



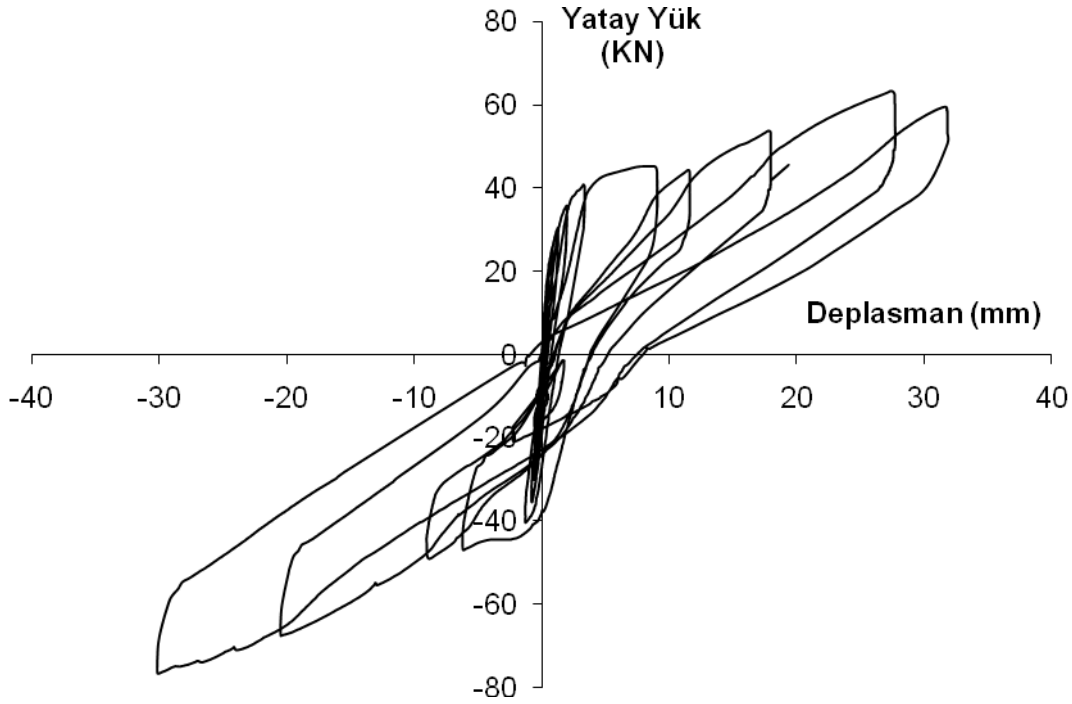
Şekil 4.32 SPS2 numunesi kolon mesnetlerinde oluşan çatlaklar

Deney esnasında yükleme çevrimleri artıkça kiriş ve duvarlarda çatlak oluşumu pek gözlemlenmemiş, 1 ve 5 no'lu kolon dip çatlakları genişlemiş ve boyuna donatıların sıyrıldığı net olarak belirginleşmiştir. Şekil 4.33'de çatlakların oluşumu ve donatısının sıyrılma aşamaları özetlenmiştir.

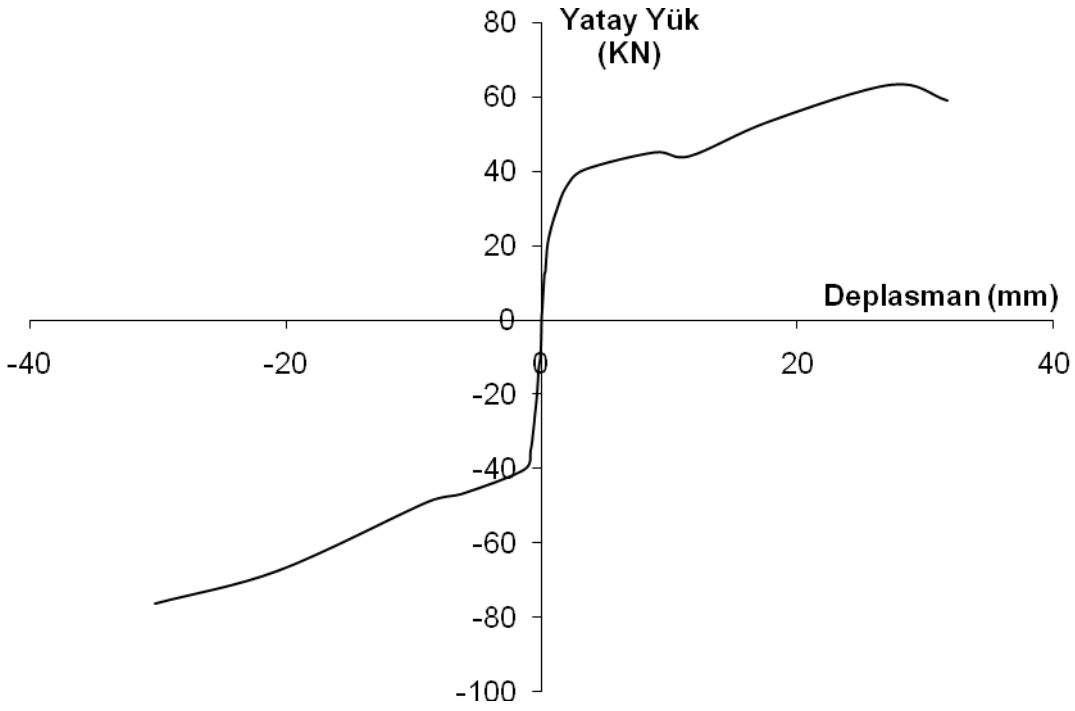


Şekil 4.33 Kolon diplerinde oluşan çatlak gelişimi ve donatı sıyrılması

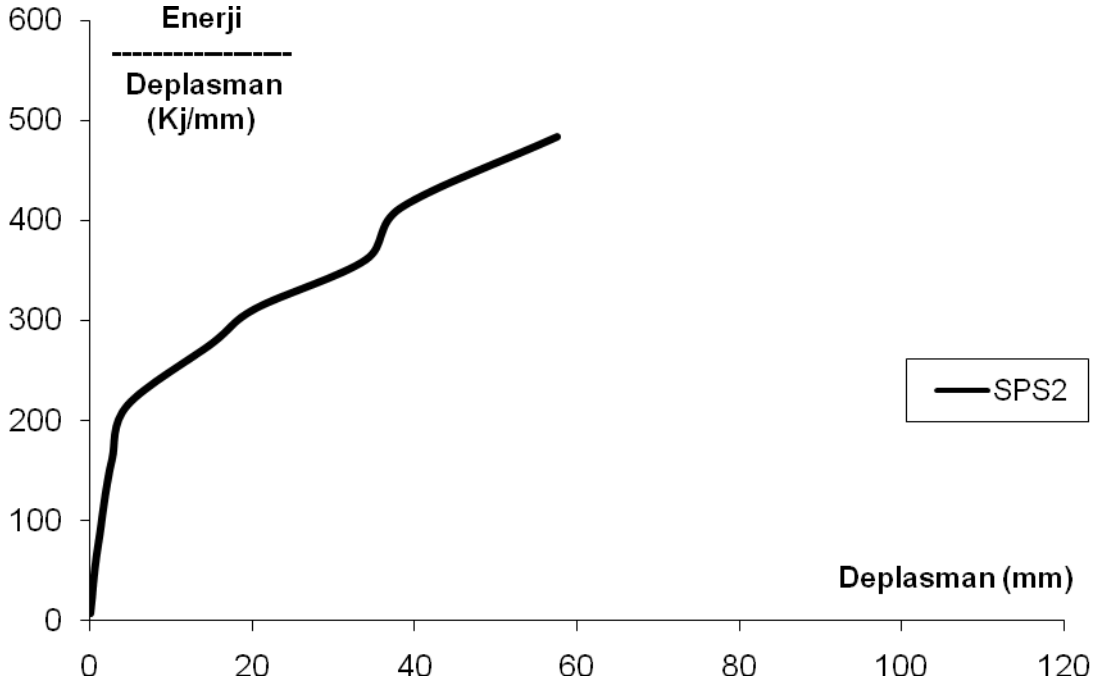
Hasır çelik ve sıva takviyeli dolgu duvarda çalak oluşmadan kolon diplerinden sıyrılma olması, yapılan güçlendirmeye tam olarak yük gelmeden, yani yapılan güçlendirme yapısal sisteme katkıya başlamadan, donatı detay eksikliğinden kaynaklanan başka bir yerde hasar oluşarak taşıma kapasitesini sınırlandırması mühendislik açısından önemlidir. Öncelikle bu sıyrılma davranışının temel nedenlerinden birisi yetersiz bindirme boyu, nervürsüz donatı ve en önemlisi çok düşük beton kalitesidir. Deney sırasında elde edilen yük-deplasman eğrileri ve bunlara ait dayanım zarf eğrileri Şekil 4.34-4.35 ‘de verilmiştir. Şekil 4.36 da tüketilen toplam enerji eğrisi ve Şekil 4.37’de rijitlik kaybı eğrisi verilmiştir.



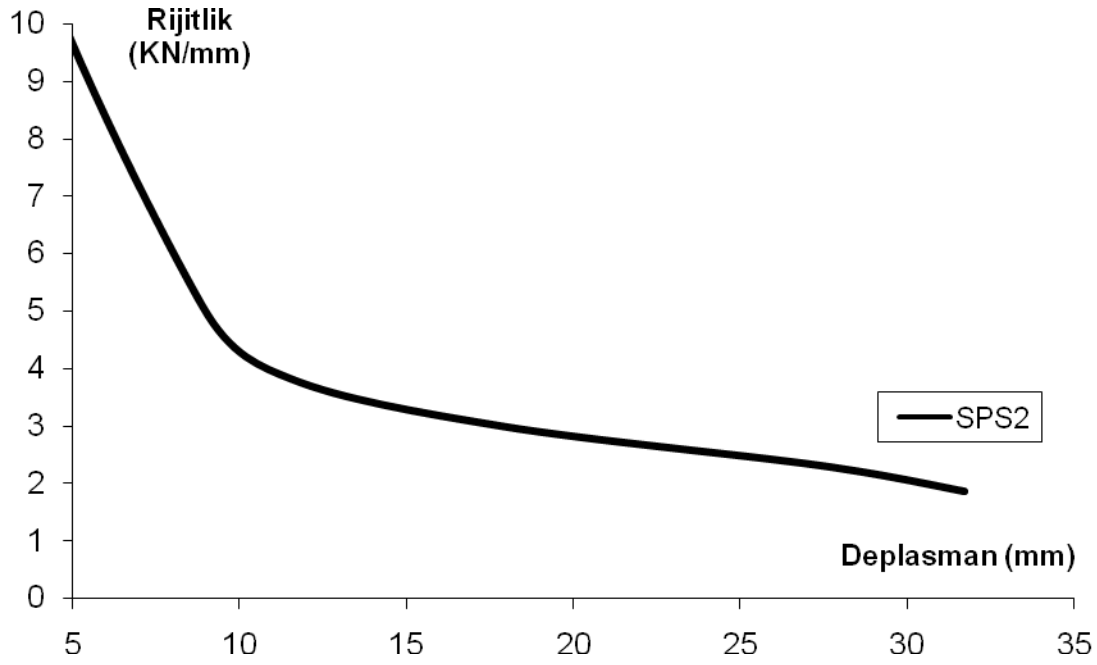
Şekil 4.34 SPS2 numunesi yük-deplasman histeresis eğrileri



Şekil 4.35 SPS2 numunesi yük-deplasman zarf eğrisi



Şekil 4.36 SPS2 numunesi tüketilen toplam enerji eğrisi



Şekil 4.37 SPS2 numunesi rijitlik kaybı eğrisi

SPS2 numunesinde gözlenen donatı sıyrılmasından sonra deneye devam edebilmek için, sıyrılma problemine çözüm bulmak amacıyla kolon diplerinin temele çelik levha ve epoksi ankrajlarıyla bağlanmasına karar verilmiştir. Kolonun alt kısmına her sırada 2 adet olacak şekilde 3'er sıra delik açılmıştır. Kolonun 3 tarafında temele de her birinde 4'er adet olmak üzere toplam 12 adet delik açılmıştır. Temele bu deliklerden toplam 12 adet donatı ekilmiştir. Bu donatılar 2 mm kalınlığında saç levhalara kaynatılmıştır. Ayrıca kolon yüzeyine de levhalar konularak açılan deliklerden ankraj çubukları vasıtasıyla kolona bağlanmıştır. Kolon ve temele konulan levhalar kaynatılarak yük aktaracak bir duruma getirilmiştir (Şekil 4.38).



Şekil 4.38 SPS2 numunesi kolon mesnet iyileştirmesi

Deneyin ilk çevrimlerinde kolona açılan deliklerin en üstünde yere paralel ve deliklerin düzleminde bir çatlak oluşmuş, çevrimin yön değiştirmesiyle diğer kolonda da aynısı gözlenmiştir. Açılan delikler nedeniyle sıyrılma noktası en üst delik seviyesine taşınmış ve sistem kayda değer bir davranış gösteremeden deney sonlandırılmıştır (Şekil 4.39).



Şekil 4.39 SPS2 numunesi kolon dibinde yapılan güçlendirme ve gözlenen davranış

SPS2 numunesinde sıva kalınlığı 30 mm ye çıkarılmıştır. Diğer detaylar SPS1 numunesi ile aynıdır. Deney sırasında kayma kamaları üzerinde hafif çatlaklar oluşmuş ancak aderans kaybı gözlenmemiştir. İleri çevrimde maksimum 63,30 KN, geri çevrimde maksimum -76,31 KN yatay yüke dayanan SPS2 numunesinde, akma deplasmanı ileri çevrimde 18,46 mm, geri çevrimde ise -18,84 mm'dir. SPS2 numunesi referans boş çerçeveye ileri çevrimde 1,73 kat, geri çevrimde 2,09 kat daha fazla yatay

yüke dayanabilmiştir. 5 mm deplasman seviyesinde elde edilen rijitlik değeri ise yaklaşık 9,60 KN/mm'dir. Bu numunede elde edilen başarısız sonucun nedeni, panelin göçmesi değil, kolon alt mesnet bölgesinde yetersiz bindirme boyu nedeniyle meydana gelen sıyrılmadır. Panel numunenin rijitliğini artırmış ancak artan yatay yüke ve oluşan daha fazla moment değerleri nedeniyle kolonlarda oluşan kuvvet çifti, kolon boyuna donatılarının sıyrılmasına neden olmuştur. Bu noktada yetersiz bindirme boyu kadar, donatının düz olması, beton basınç dayanımının 10 MPa düzeyinde olması da etkili olmuştur.

4.5. Deney Numunesi SPS3

SPS1 deneyinde gözlenen ve sıva kalınlığının az olmasından kaynaklanan göçmeden sonra SPS2 numunesinde sıva kalınlığı artırılmış ve bu kez yapılan güçlendirmenin katkısından yararlanamadan kolon diplerinde donatı sıyrılması nedeniyle göçme oluşmuştu. Yük taşıma mekanizmasını bir zincire benzetirsek, zincirde tüm halkalar mukavemetli olsa dahi, sadece bir halkada zayıflık var ise, sistem o zayıflık nedeniyle göçmektedir. Bu nedenle dolgu duvarların üstüne uygulanacak hasır çelik ve sıva uygulamasının, bindirme boyu yetersiz çerçevelerde uygulanmasının, yapılan güzlendirmenin katkısından tam anlamıyla yararlanılması açısından çok etkili olmadığı kanaatine varılmıştır. Bu yöntemin kullanılmasından önce, kolon kiriş birleşimlerinde ve temellerdeki bindirme boyu yetersizliklerinin giderilmesi gerektiği değerlendirilmiştir.

SPS3 numunesinin diğer donatı detayları ve beton dayanımı önceki denenen numunelerle aynıdır. Duvar örülmesi ve hasır çelik ile sıva uygulama ayrıntılarında değişiklik yapılmamıştır Şekil 4.40.



Şekil 4.40 SPS3 numunesi imalatı ve deney öncesi durumu

Deney numunesine uygulanan yük çevrimleri esnasında betonarme elemanlarda oluşan çatlak resimleri Şekil 4.41 ve 4.42'de verilmiştir. Bu aşamalarda dolgu duvar ile kolon ve kiriş birleşimleri haricinde oluşan çatlaklar haricinde herhangi bir çatlak gözlenmemiştir.







Şekil 4.41 Çerçeve kolonlarında oluşan ilk çatlaklar



Şekil 4.42 Çerçeve kolonlarında ve birleşim bölgelerinde oluşan ilk çatlaklar

Deney sırasında orta kiriş kolon birleşim yerinde oluşan çatlaklardaki ilerleme ve açılma miktarı diğerlerine göre daha fazladır. Birleşim bölgelerinde yeni çatlakların

da oluşmasıyla sistem bu noktalardan mafsallı bir hale gelmiştir. Şekil 4.43'de sol kolon kiriş birleşiminde oluşan ilk çatlaklar verilmiştir.



Şekil 4.43 Sol orta kolon-kiriş birleşiminde oluşan çatlaklar

Sol kolon kiriş birleşim noktasında meydana gelen ileri hasar durumu Şekil 4.44'de verilmiştir. Çevrimlerin artmasıyla taşıma kapasitesinde bir artış söz konusu değil iken, artan yatay deplasmanla beraber mafsallarda da dönme miktarı artmakta ve bu bölgelerde kolon etriyesi birleşim noktasında devam ettirilmediği ve beton dayanımın çok düşük olması nedenlerinden ötürü yetersiz süneklikten dolayı birleşimler

parçalanmıştır. Şekil 4.45 ve Şekil 4.46'de sağ orta kolon birleşiminde gözlenen hasar ve mafsallaşma verilmiştir.



Şekil 4.44 Sol orta kolon-kiriş birleşiminde oluşan ileri hasar



Şekil 4.45 Sağ orta kolon-kiriş birleşiminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.46 Sağ orta kolon-kiriş birleşiminde oluşan ileri hasar

Deney numunesinin son durumu ve numunenin arka cephesi Şekil 4.47 ve Şekil 4.48'de verilmiştir.

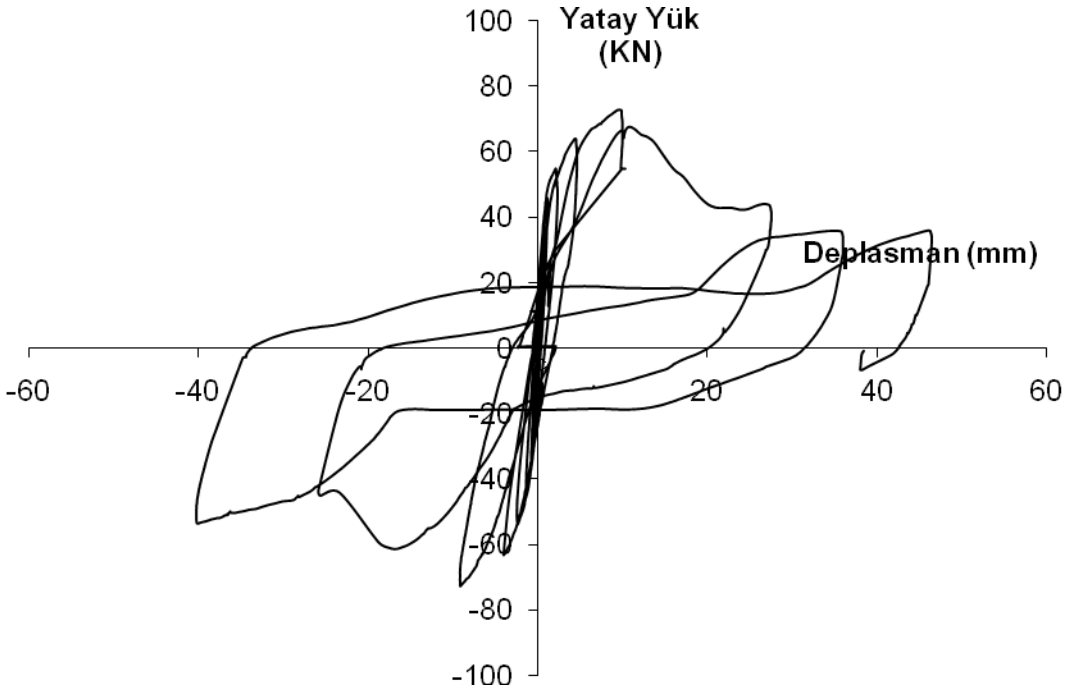


Şekil 4.47 SPS3 numunesinin deney sonu durumu

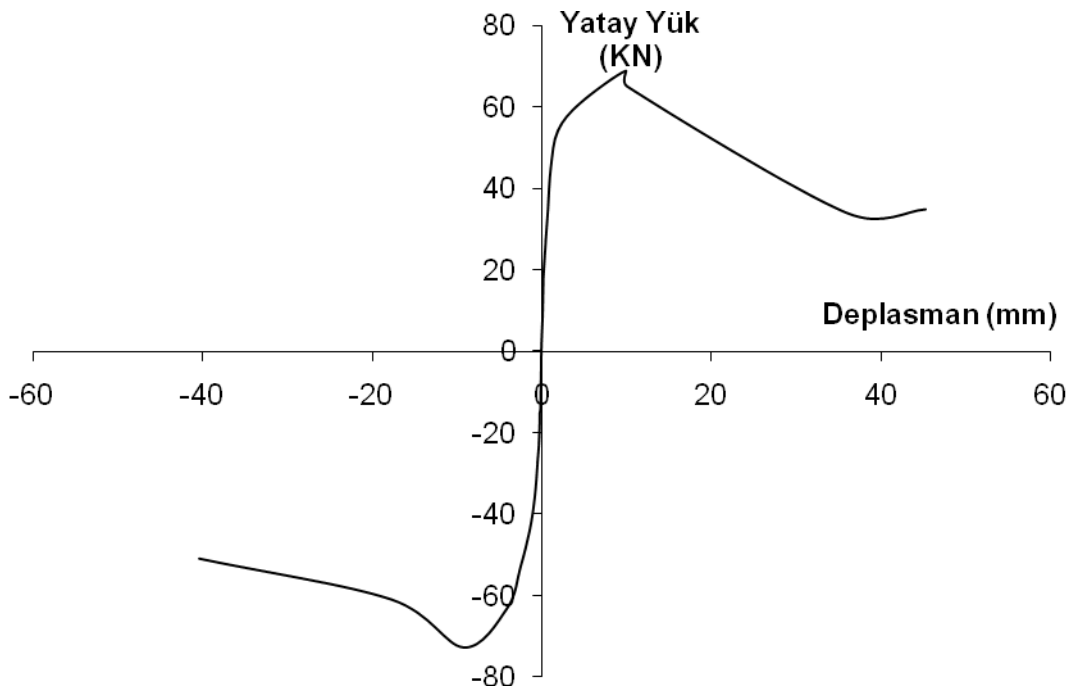


Şekil 4.48 Deney numunesi SPS3 ün arka cephesinde oluşan hasar

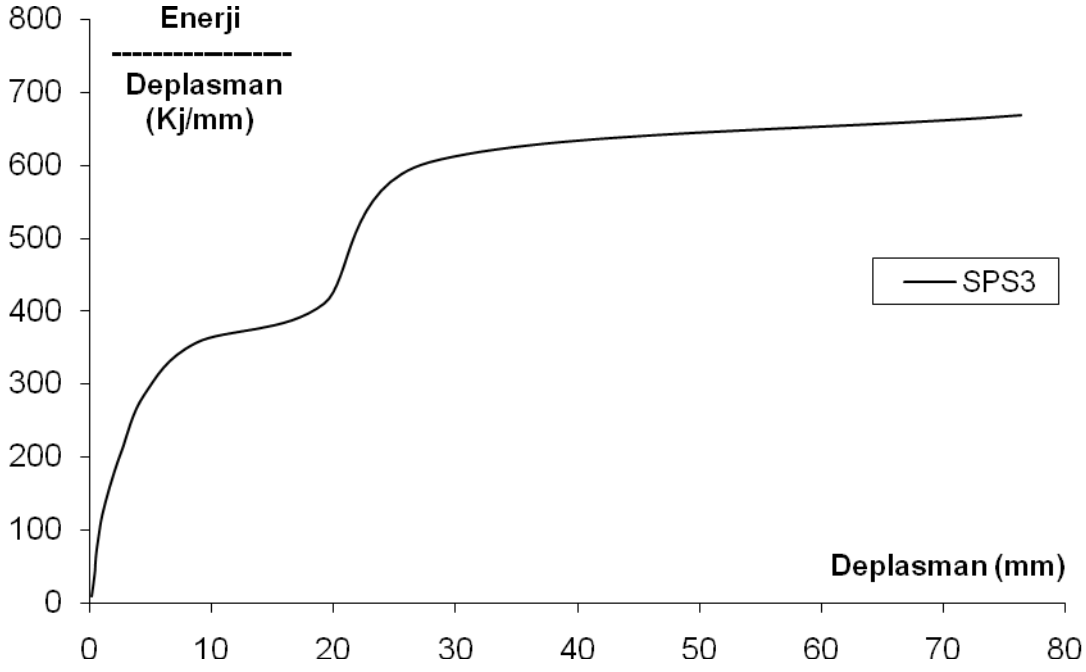
Şekil 4.49 ve 4.50'de SPS3 numunesine ait yük-deplasman eğrisi ve yük-deplasman zarf eğrileri verilmiştir.



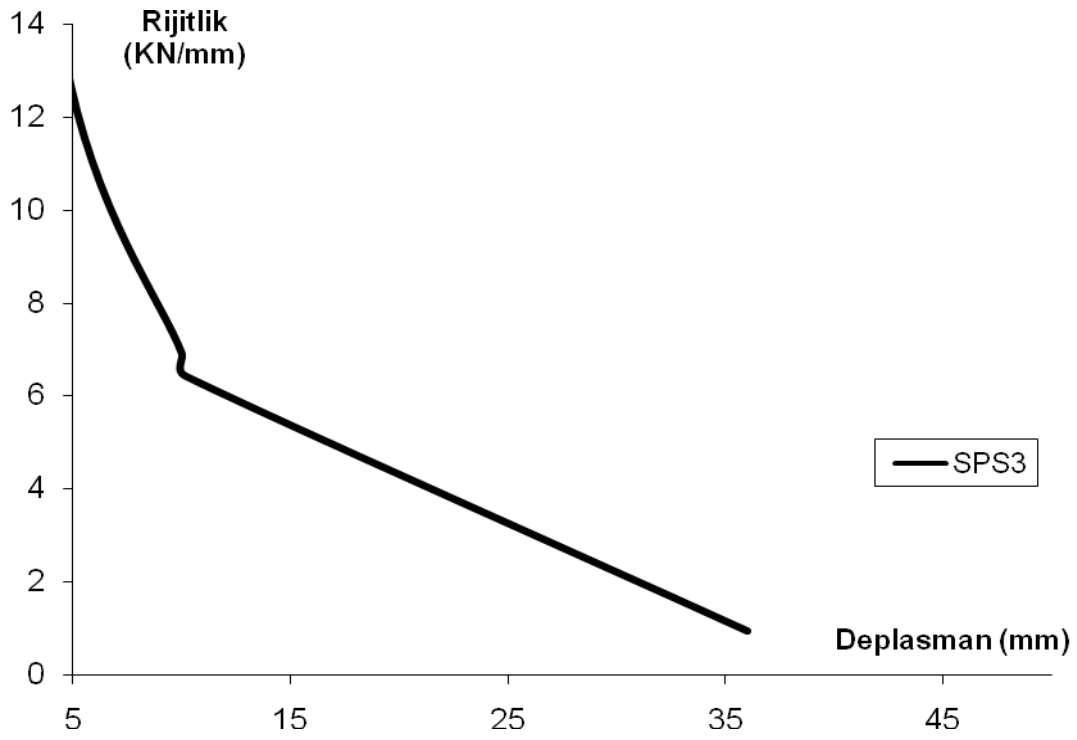
Şekil 4.49 SPS3 numunesi yük-deplasman histeresis eğrileri



Şekil 4.50 SPS3 numunesi yük-deplasman zarf eğrisi



Şekil 4.51 SPS3 numunesi tüketilen toplam enerji eğrisi



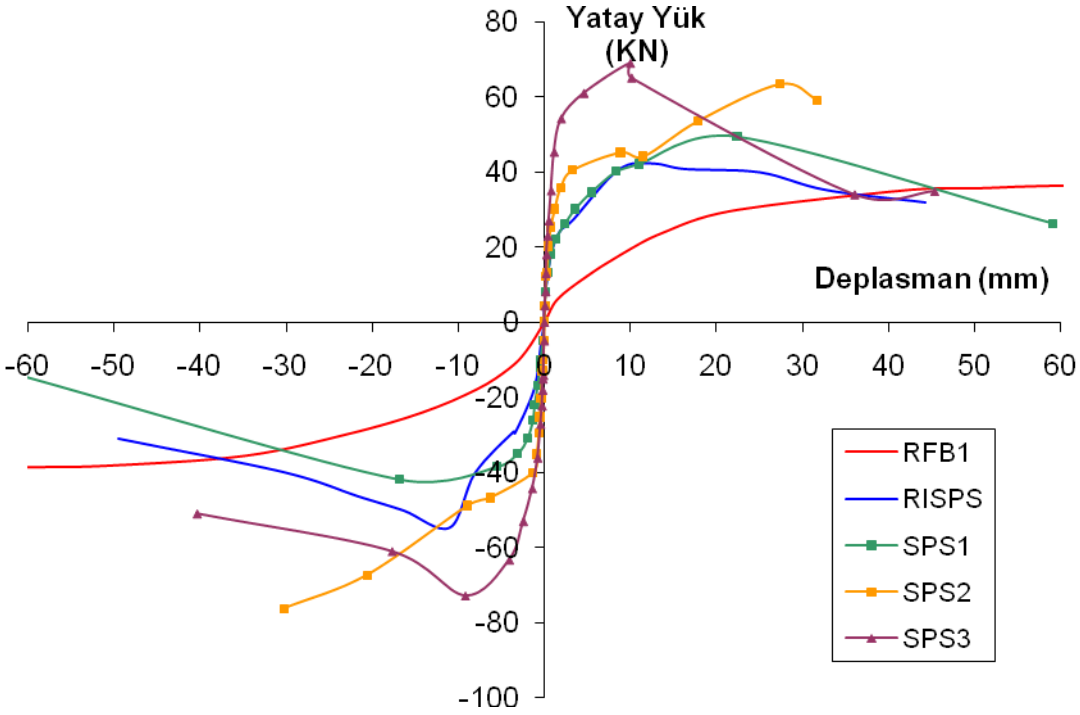
Şekil 4.52 SPS3 numunesi rijitlik kaybı eğrisi

SPS3 numunesinde SPS2 numunesinde gözlenen kolon boyuna donatılarının sıyrılması problemi gözlenmemiştir. İleri çevrimde maksimum 69,01 KN, geri çevrimde maksimum -72,85 KN yatay yüke dayanan SPS3 numunesinde, akma deplasmanı ileri çevrimde 2,30 mm, geri çevrimde ise -3,60 mm'dir. SPS3 numunesi referans boş çerçevenin ileri çevrimde 1,89 katı, geri çevrimde 2,00 katı yatay yük seviyesine kadar dayanmıştır. 5 mm deplasman seviyesinde elde edilen rijitlik değeri yaklaşık 12,30 KN/mm'dir.

SPS3 numunesinin göçme mekanizması, orta kat kolon ve kiriş birleşim bölgesinde yoğunlaşmış hasar şeklindedir. Kompozit paneller, çerçeve içinde çapraz-diyagonal çubuklar şeklinde, çerçevenin yatay yük taşıma mekanizmasına katkı yapan elemanlar şeklindedir. Statik olarak bu katkı basınç kuvveti olarak diyagonellerin bağlandığı kolon-kiriş birleşim bölgelerine etki edecektir. Alt kat paneli daha fazla yatay yüke maruz kaldığı için bu birleşimlerde hasar ilerlemiştir. Kolon kiriş birleşiminin hasar görmesinde düşük beton basınç dayanımı ve birleşim bölgelerinde kolon etriyelerinin devam ettirilmemesi ve hiçbir etriye konulmaması etkili olmuştur. Ayrıca bu birleşim bölgelerinde de alt kat kolonlarından uzanan boyuna donatı filizlerinin bindirme boyu yetersizdir.

5. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI ve DENEYLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Deney numunelerine ait zarf eğrilerinin aynı grafik üstüne karşılaştırılması Şekil 5.1'de verilmiştir.



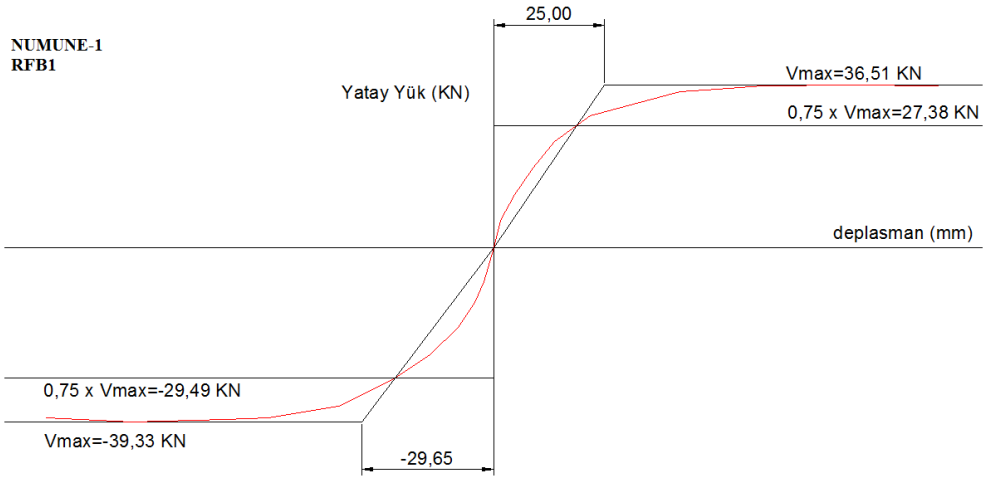
Şekil 5.1 Deney numunelerine ait zarf eğrilerinin karşılaştırılması

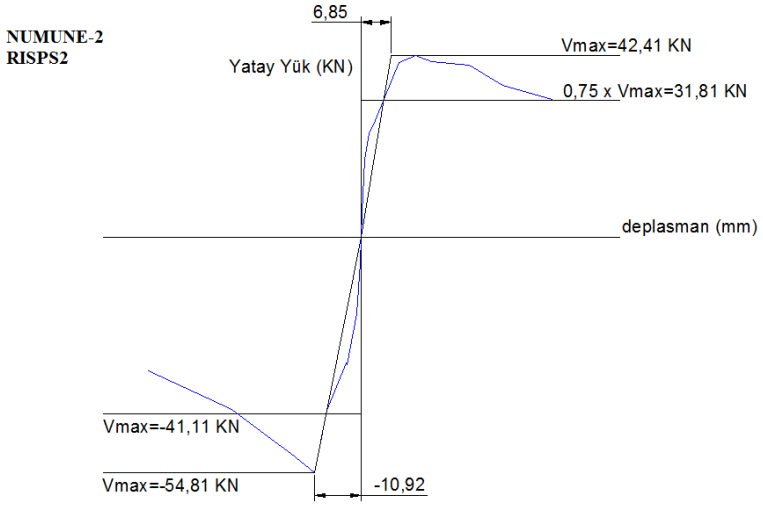
Çizelge 5.1'de Deneylerde elde edilen maksimum yatay yükler ile akma deplasmanı değerlerinin, referans boş çerçevenin değerlerine olan kıyaslaması verilmiştir.

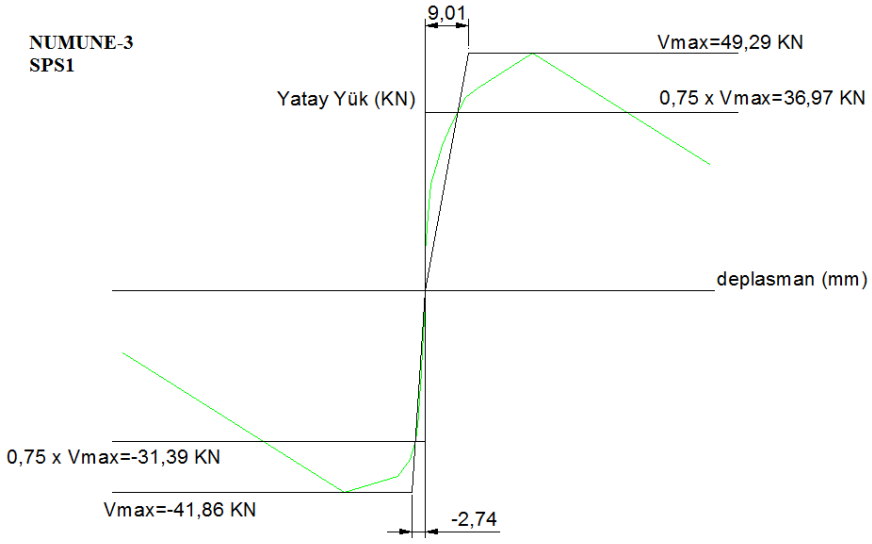
NUMUNE	İLERİ ÇEVRİM			GERİ ÇEVRİM		
	MAX YÜK (KN)	X *	AKMA DEPLASMANI (mm)	MAX YÜK (KN)	X *	AKMA DEPLASMANI (mm)
RFB1	36,51	-	25,00	-39,33	-	-29,65
RISPS2	42,41	1,16	6,85	-54,81	1,50	-10,92
SPS1	49,29	1,35	9,01	-41,86	1,15	-2,74
SPS2	63,30	1,73	18,46	-76,31	2,09	-18,84
SPS3	69,01	1,89	2,30	-72,85	2,00	-3,60

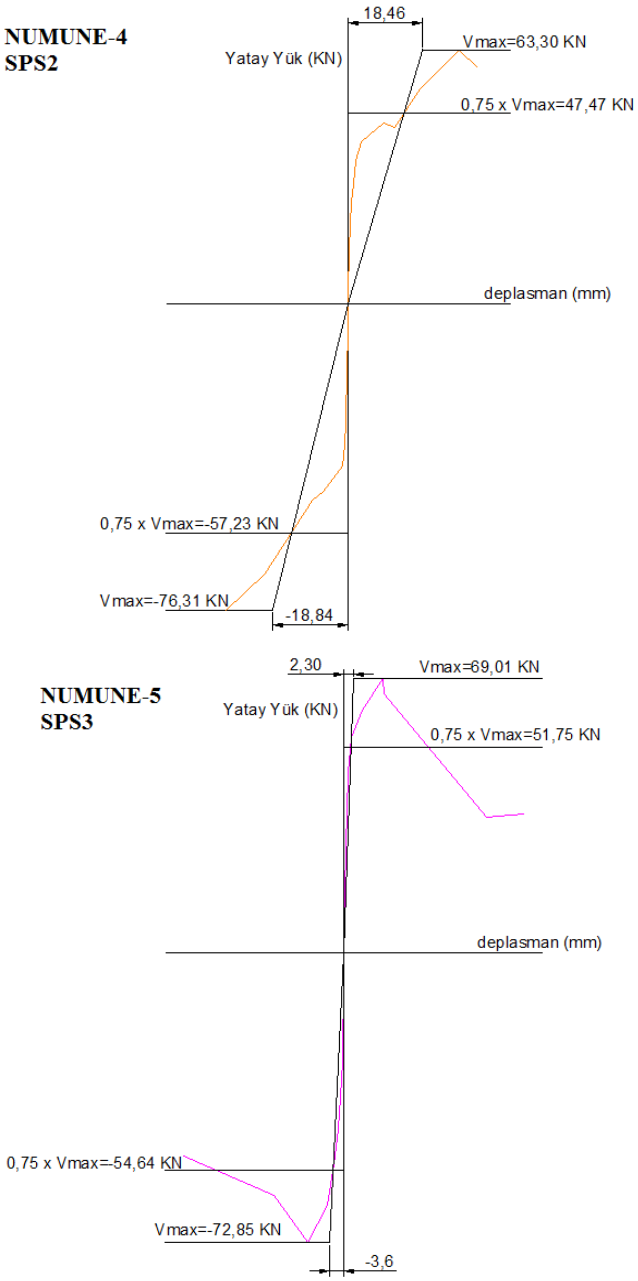
Çizelge 5.1 Deneylerde elde edilen maksimum yatay yük ile akma deplasmanı değerlerinin karşılaştırılması (x: 2.,3.,4. ve 5. deney numunelerinin max. yük değerlerinin referans numune max. yük değerinin kaç katı olduğunu göstermektedir.)

Numunelere ait akma deplasmanı değerleri Şekil 5.2'deki grafiklerde gösterilen yöntem ile bulunmuştur.



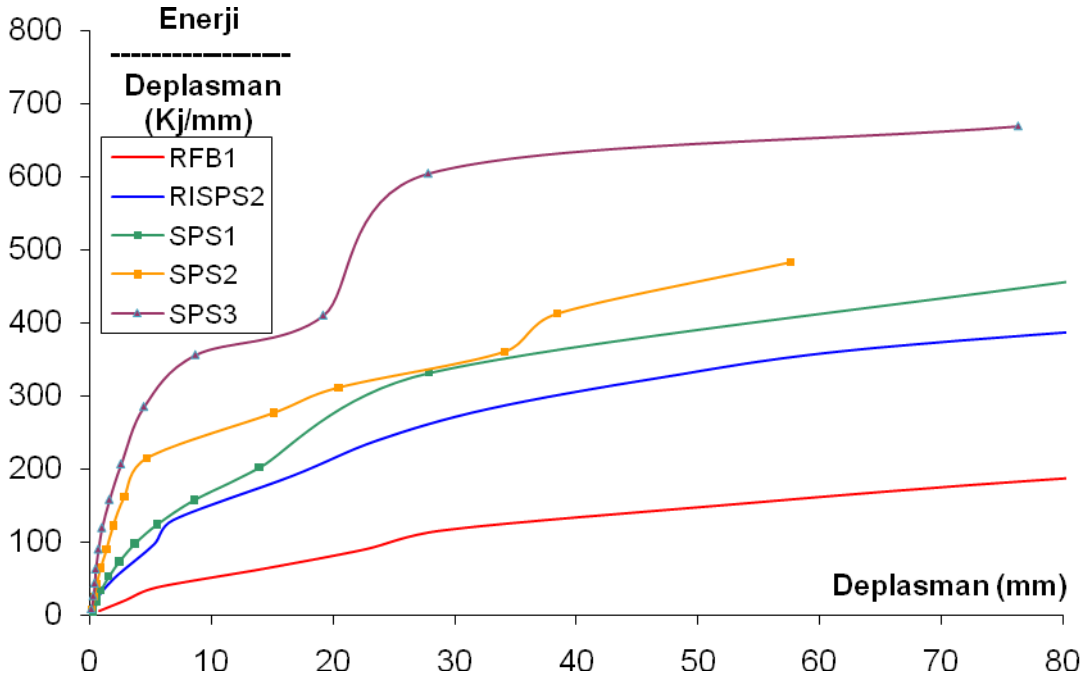






Şekil 5.2 Numunelere ait akma deplasmanı değerinin bulunması

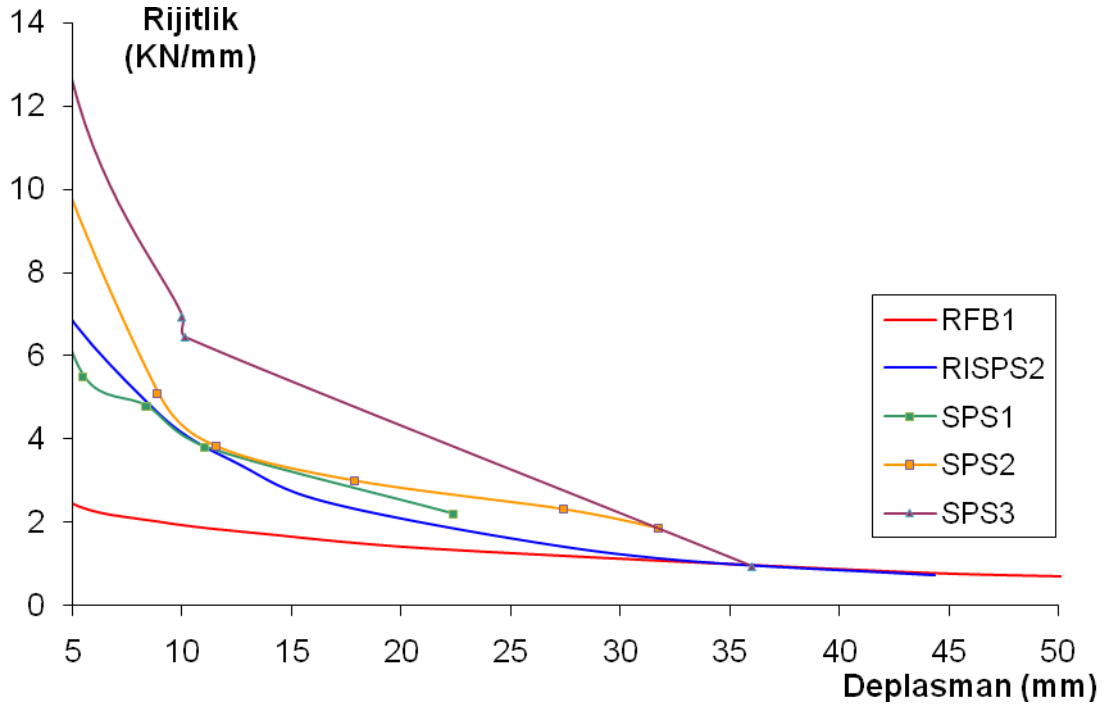
Şekil 5.3'de ise çevrimlerde tüketilen toplam enerjinin, çevrim deplasmanına karşılık grafiği verilmiştir. Burada enerji birimi Kj'dür. Ayrıca bu çevrim enerjileri, o çevrimin deplasmanına bölünerek karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.3 Çevrimlerde tüketilen toplam enerji-deplasman grafiği

Şekil 5.3'de görüleceği üzere boş çerçevenin duvar ile doldurulması çevrimlerde tüketilen enerjinin önemli boyutta artmasını sağlamıştır. Enerji tüketiminin artmasıyla birlikte taşıyıcı sistemin enerji yutma kapasitesi de arttırılabilmektedir. Güçlendirme uygulanan numunelerde ise referans boş çerçevedeki çevrimlerde tüketilen enerji miktarına oranla ciddi boyutlarda artış olduğu gözlemlenmiştir (SPS3 numunesindeki max. tüketilen enerji değeri referans boş çerçevedekinin yaklaşık olarak 3 katından fazladır).

Şekil 5.4'de çevrimlerin rijitliğinin, çevrim deplasmanına karşılık grafiği verilmiştir.



Şekil 5.4 Çevrimlerin rijitliğinin, çevrim deplasmanına karşılık grafiği

Şekil 5.4'den görüleceği üzere boş çerçeveye sadece duvar örülmesi dahi çevrimlerdeki yanal rijitliğe önemli ölçüde katkı sağlamıştır. Güçlendirme uygulanan numunelerdeki çevrimlerde ise yanal rijitlik değerlerinde ciddi boyutlarda artış gözlemlenmiştir (SPS3 numunesinde 5 mm deplasman seviyesindeki rijitlik değeri referans boş çerçevenin 5 mm deplasman seviyesindeki rijitlik değerinin yaklaşık olarak 5 katına çıkmıştır).

Bu tez çalışmasında sünek olmayan betonarme çerçevelerin, tuğla duvar üzerine uygulanan hasır çelik ve sıva kompozit ile yatay yüklere karşı güçlendirilmesi incelenmiştir. Bu amaçla 1/2 ölçekli betonarme çerçeveler depremi benzeştiren tersinir ve tekrarlanır yatay yükleme altında deneysel olarak incelenmiştir.

Bu güçlendirme metodu Türk Deprem Yönetmeliği'ne 2005 yılında eklenmiştir. Literatür taramasında ülkemizde bu metodla ilgili deneysel çalışma sayısının oldukça az olduğu görülmüştür. İlk deneysel çalışma 2004 yılında Ortadoğu Teknik Üniversitesi'nde B. Acun ve H. Sucuoğlu tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde model ölçeği 1/3 olarak ele alınmıştır.

Deprem şartnamesinin hazırlanmasına katkıda bulunan Prof. Dr. Haluk SUCUOĞLU'nun tavsiyesi üzerine bu çalışma planlanmıştır. Deprem şartnamesinde yer alan bu takviye metodunun geçerliliğinin araştırılması ve literatüre deneysel veri eklenmesinin yararlı olacağı değerlendirilmiştir.

Model oranı Selçuk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Laboratuarında bulunan ekipmanların kapasitesinin el verdiği ölçüde büyük seçilmesi amaçlanmıştır. Küçük ölçekli deneylerde boyut etkisi nedeniyle meydana gelebilecek hataların önüne geçilmesi amaçlanmıştır.

Deney sonuçlarının matematiksel olarak yorumlanmasında, deney sırasında elde edilen toplam yatay yüke karşılık, üst kattan elde edilen yatay deplasman histeresis eğrileri deney sırasında kaydedilmiştir. Bu eğrilerin her çevriminin tepe noktalarının birleştirilmesi ile yatay yük-yatay deplasman zarf eğrileri elde edilmiştir.

Numunelerin çevrimsel yatay yükleme sırasında tükettiği enerjinin hesaplanmasında, histeresis eğrilerinin altında kalan alan hesaplanmıştır. Yükleme sırasında yük-deplasman eğrisinin altında kalan alan yutulan enerji, geri boşaltma sırasında eğrinin altında kalan alan ise geri verilen enerji olarak adlandırılmaktadır. Bu iki değer arasındaki fark ise o çevrimde tüketilen enerji miktarıdır. Ancak tüketilen enerji, o çevrimde gidilen deplasman miktarına bağlıdır. Bu nedenle çevrimlerde

tüketilen enerji, çevrimin deplasmanına bölünerek karşılaştırma yapılması uygun görülmüştür.

Numunenin akma deplasmanının hesabında Han (2005) tarafından önerilen metod uygulanmıştır. Buna göre maksimum yatay yük V_{max} tespit edilmiş ve maksimum yatay yüke erişmeden önce $0{,}75V_{max}$ yatay yük noktasını orijin noktasına birleştiren eğrinin eğimi tespit edilmiştir.

Deneysel bulgular ışığında aşağıdaki sonuçlar özetlenebilir:

İlk olarak referans boş çerçeve (RFB1) ve referans dolgulu çerçeve (RISPS2) arasındaki rijitlik ve yatay yük taşıma kapasiteleri arasındaki fark önemlidir. Referans boş çerçeve ileri çevrimde 36,51 KN, geri çevrimde -39,33 KN maksimum yatay yüke dayanırken, referans dolgulu çerçeve ileri çevrimde 42,41 KN, geri çevrimde ise -54,81 KN maksimum yatay yük seviyesine çıkmıştır. Buna göre dolgulu numunenin ileri çevrimde boş çerçeveden 1,16 kat, geri çevrimde ise 1,50 kat daha fazla yatay yüke dayanabildiği anlaşılmaktadır. Ancak maksimum yüke eriştikten sonra dolgunun hasar görmeye başlamasıyla yük-deplasman eğrisinde keskin bir düşüş gözlenerek boş çerçevenin yük deplasman eğrisine yaklaşılmıştır. 5 mm deplasman seviyesinde; boş çerçevenin rijitlik değerinin yaklaşık 2,45 KN/mm, duvar dolgulu çerçevenin ise yaklaşık 6,80 KN/mm olduğu tespit edilmiştir. Bu açıdan dolgu duvarların çerçevenin yatay rijitliğini artırdığı açıktır.

SPS1 numunesi tek sıra hasır çelik ve 15 mm sıva uygulaması ile güçlendirilmiştir. Bu numunenin deneyinde 49,29 KN maksimum yatay yük seviyesine çıkıldığı sırada, orta kat kirişi ve duvar paneli arasında teşkil edilen kayma kamaları arasında aderans kaybolmuş ve ani ve beklenmeyen bir göçme meydana gelmiştir. Bu göçme durumundan sonra panellerin yatay yük taşıma kapasitesine olan katkısı tamamen sona ermiş ve çerçeve davranışı boş çerçevenin davranış seviyesine düşmüştür. SPS1 numunesi boş çerçeveden ileri çevrimde 1,35, geri çevrimde ise 1,15 kat daha fazla yatay yüke dayanabilmiştir. Ancak, deney sonrasında numunede uygulanan sıva kalınlığının çok az olduğu ve mutlaka artırılması gerektiği görülmüştür. SPS1 numunesinde 5 mm deplasman seviyesinde elde edilen rijitlik değeri yaklaşık 5,90 KN/mm seviyesindedir.

Dolgu-hasır çelik-sıva kompozit paneli ile kirişler arasında teşkil edilen kayma kamaları arasında meydana gelen aderans kaybı ve göçme mekanizması ile yapılan güçlendirme işleminin tam anlamıyla görevini yerine getiremediği ve yetersiz kaldığı değerlendirilmiştir.

SPS2 numunesinde sıva kalınlığı 30 mm'ye çıkarılmıştır. Diğer detaylar SPS1 numunesi ile aynıdır. Deney sırasında kayma kamaları üzerinde hafif çatlaklar oluşmuş ancak aderans kaybı gözlenmemiştir. SPS2 numunesi referans boş çerçeveye göre ileri çevrimde 1,73, geri çevrimde ise 2,09 kat daha fazla yatay yüke dayanabilmiştir. 5 mm deplasman seviyesindeki rijitlik değeri ise 9,60 KN/mm'dir. Bu numunede elde edilen başarısız sonucun nedeni, panelin göçmesi değil, kolon alt mesnet bölgesinde yetersiz bindirme boyu nedeniyle meydana gelen sıyrılmadır. Panel numunenin rijitliğini artırmış ancak artan yatay yüke ve oluşan daha fazla moment değerleri nedeniyle kolonlarda oluşan kuvvet çifti, kolon boyuna donatılarının sıyrılmasına neden olmuştur. Bu noktada yetersiz bindirme boyu kadar, donatının düz olması, beton basınç dayanımının 10 MPa düzeyinde olması da etkili olmuştur.

SPS3 numunesinde SPS2 numunesinde gözlenen kolon boyuna donatılarının sıyrılması problemi gözlenmemiştir. SPS3 numunesi referans boş çerçevenin ileri çevrimde 1,89 kat, geri çevrimde ise 2,00 kat yatay yük seviyesine kadar çıkmıştır. 5 mm deplasman seviyesinde elde edilen rijitlik değeri yaklaşık 12,30 KN/mm mertebesine çıkmıştır.

SPS3 numunesinin göçme mekanizması, orta kat kolon ve kiriş birleşim bölgesinde yoğunlaşmış hasar şeklindedir. Kompozit paneller, çerçeve içinde çapraz-diyagonal çubuklar şeklinde, çerçevenin yatay yük taşıma mekanizmasına katkı yapan elemanlar şeklindedir. Statik olarak bu katkı basınç kuvveti olarak diyagonellerin bağlandığı kolon-kiriş birleşim bölgelerine etki edecektir. Alt kat paneli daha fazla yatay yüke maruz kaldığı için bu birleşimlerde hasar ilerlemiştir. Kolon kiriş birleşiminin hasar görmesinde düşük beton basınç dayanımı ve birleşim bölgelerinde kolon etriyelerinin devam ettirilmemesi ve hiçbir etriye konulmaması etkili olmuştur. Ayrıca bu birleşim bölgelerinde de alt kat kolon kolonlarından uzanan boyuna donatı filizlerinin bindirme boyu yetersizdir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Deneysel çalışma sonucunda istenilen ve hedeflenen güçlendirme performansına ulaşılamamıştır. İlk 2 numune referans numunelerdir ve karşılaştırma amacıyla denenmiştir. Üçüncü deney numunesinde kompozit panel elemanın çerçeve ile bağlantısını sağlayan kayma kamaları aderans kaybına uğramış ve deney başarısız olmuştur. Dördüncü numunede kolonların boyuna donatıları temel seviyesinden sıyrılmıştır. Son deneyde ise kolon-kiriş düğüm noktasında ileri hasar oluşmuş, panelde ise çatlak gözlenmemiştir.

TDY 2007'de önerilen betonarme çerçevelerin hasır çelik ve sıvar ile güçlendirilmesi detayı çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini ve yatay rijitliği artırmaktadır. Ancak çerçevede yetersiz bindirme boyu, donatı detayı yetersiz kolon-kiriş birleşimleri bulunduğu için, kompozit panellerin taşıma gücü tam olarak kullanılamamıştır.

6.2 Öneriler

Bir yapının taşıyıcı sisteminin deprem performansının artırılabilmesi için ilk olarak binanın detaylı olarak incelenmesi ve bindirme boyu yetersizlikleri ve birleşim bölgelerinin takviyelerinin yapılması gerekmektedir. Yapının deprem dayanımı bir zincire benzetilirse, bu zincir en zayıf halkasından kopacaktır. Sadece bir tek güçlendirme metodunun gözü kapalı uygulanması hedeflenen iyileştirmeyi sağlayamayabilecektir. Güçlendirme detaylarının kusursuz olarak imal edilmesi de oldukça önemlidir. Güçlendirme işlemleri mutlaka yetkin mühendislerce planlanmalı ve imal edilmelidir.

Bunun yanı sıra deney sonuçlarına göre hasır çelik donatılı özel sıva ile dolgu duvarların güçlendirilmesi sistemi, yatay yük taşıma kapasitesi ve yatay rijitlik konularında olumlu olarak değerlendirilebilecek sonuçlar veriyor olsa da güçlendirme amaçları doğrultusunda istenilen düzeyde iyileştirme için şartnamelerde yer verilen bu metodun yeniden gözden geçirilmesinde fayda olacağı görülmüştür.

KAYNAKLAR

Altın, S., Anil, Ö., Kara, M.,E., Kaya, M., 2007, " An Experimental Study on Strengthening of Masonry İnfilled RC Frames Using Diagonal CFRP Strips", Composites: Part B.

Alsancak, E., 2007, "Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçevelerin Hasır Çelikli Betonarme Plaklarla Güçlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.

"Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 2007, Bayındırlık Bakanlığı, Ankara.

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2011, "Depreme Karşı Yapısal Risklerin Azaltılması ve Yapısal Güçlendirme", İstanbul

Başer, A. F., 1999, "Çerçeve Dolgularının Yapı Rijitliğine Etkilerinin Fiktif Diyagonallerle Açıklanması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Bağcı, M., 1996, "Yatay Yüklere Maruz Dolgulu Çerçevelerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.

Balık, F., 2010, "Betonarme Yapıların Çelik Levha ve Çelik Çaprazlarla Güçlendirilmesi", Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Semineri, Konya.

Bahadır, F., 2010, "Sünek Olmayan Betonarme Çerçevelerin Betonarme Dolgu Duvarlar ile Güçlendirilmesi", Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Semineri, Konya.

Bayülke, N., 1999, "Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi", İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İzmir.

Bayülke, N., 1998, "Depreme Dayanıklı Betonarme ve Yığma Yapı Tasarımı", İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İzmir.

Budak, A., 1997, "Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Hesabı", Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Ediz, İ., 2006, "Kagir Yapılarda Kullanılan Taşıyıcı Duvarların Hasır Çelik Donatı ve Kendiliğinden Yerleşen Beton ile Güçlendirilmesinin Deneysel İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Erdem, C., 1998, "Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Yanal Yükler Altına Nümerik Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Erkaya, A., 1996, “Betonarme Çerçeve Yapılarda Dolgu Duvarların Deprem Davranışına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ersoy U., Tankut T., 1992, “Hysteretic Response of RC Infilled Frames”, ASCE Journal of Structural Eng., Vol:118 No:8.

Govindan P. and Et al., 1986, “Ductility of Infilled Frames”, Proc. ACI, pp., 567-576.

Karabay, M., 1989. “Dolgu Duvarların Betonarme Çerçevelerin Davranışı ve Dayanımı Üzerindeki Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Kargı, Y., 1999, “Perde Etkisi Oluşturan Bölme Duvarları”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Korkmaz, H.H., 2004, "Bant Pencereli Dolgu Duvarlı Çelik Çerçevelerin Tersinir-Tekrarlanır Yükler Altındaki Davranışının İncelenmesi", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Negro R., Verzeletti G., 1996, “Effects of Infills on the Global Behaviour of R/C Frames Energy Considerations From Pseudodynamic Tests” Eartquake Eng. And Structural Dynamics, Vol. 25.

Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 2011, "23 Ekim 2011 Mw 7.2 Van Depremi Sismik ve Yapısal Hasara İlişkin Saha Gözlemleri", Rapor No: METU/EERC 2011-04, Ankara

Özdemir, H., 2008, "Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Hasır Çelik Donatılı Sıva İle Güçlendirilmesi", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Sözen, M., 1964, “Structural Damage Caused by the Skopje Earthquake of 1963”, A report to the Committe on Masonry and RC of the ASCE and ACI, University of Ilinois, USA.

Sugano, S., 1982, “An Overview of the State-of-the Art in Seismic Strengthening of Existing Reinforced Concrete Buildings in Japan. Proceedings of the third Seminar on Repair and Retrofit of Structures, Ann Arbor Michigan”, USA, 265-290.

TS500, 2000, “Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarım Kuralları”, TSE, Ankara.

Ünal, A., 2012, "TDY 2007'ye Göre Tasarlanmamış Betonarme Çerçevelerin Düzlem Dışı Perde Duvarla Güçlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Yalçın, E., 1999, “Dolgu Duvarların ve Konumlarının Çok Katlı Betonarme Yapıların Deprem Kuvvetleri Altındaki Davranışına Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Zarnic T., 1986, “Experimental Study of Methods of Repair and Strengthening of Masonry Infilled RC Frames”, 8th Europan Conference on Earthquake Eng., Lisbon.

Zarnic ve Tomasevic 1995, “The Behaviour of Masonry Infilled RC Frames Subjected to the Cyclic Lateral Loading”, Research on Confined Masonry Walls, JICA.

Zarnic R., Tomazevic M., 1995, “An Experimentally Obtained Method for Evaluation of the Behaviour of Masonry Infilled R/C Frames”, Prefences for Data Base of Confined Masonry Walls Proceeding of 9 WCEE.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Ahmet KILIÇ
Uyruğu	**:**	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Konya / 22.05.1981
Telefon	**:**	0 533 502 99 57
Faks	**:**	-
e-mail	**:**	kilicahmet@yahoo.com.tr

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	**Karatay Anadolu Lisesi, Konya**	**1999**
Üniversite	:	**Selçuk Üniversitesi, Konya**	**2004**
Yüksek Lisans	:	**Selçuk Üniversitesi, Konya**	**.....**

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2010-2012	**Arup Müh. ve Müş. Ltd. Şti.**	**Planlama Müh.**
2009-2010	**Inco**	**Planlama Müh.**
2007-2009	**Avinal ERP**	**Planlama Müh.**
2007-2007	**Enka İnşaat**	**Planlama Müh.**

UZMANLIK ALANI

Proje Yönetimi

YABANCI DİLLER

İngilizce – İleri Düzey