

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YIĞMA YAPILARIN YATAY DERZ
GÜÇLENDİRME YÖNTEMİYLE
GÜÇLENDİRİLMESİ

Mustafa Tolga ÇÖĞÜRCÜ
DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Konya, 2007

T.C
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YIĞMA YAPILARIN YATAY DERZ
GÜÇLENDİRME YÖNTEMİYLE
GÜÇLENDİRİLMESİ

Mustafa Tolga ÇÖĞÜRCÜ
DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 04/05/2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI

Prof. Dr. Mehmet ÜLKER

Prof. Dr. Recep KANIT

Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAMANLI

Yrd. Doç. Dr. S. Kamil AKIN

ÖZET

Doktora Tezi

YIĞMA YAPILARIN YATAY DERZ GÜÇLENDİRME YÖNTEMİYLE GÜÇLENDİRİLMESİ

Mustafa Tolga ÇÖĞÜRCÜ

Selçuk Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAMANLI

2007, 204 sayfa

Jüri:

Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI (S.Ü. , T.İ.K. üyesi)

Prof. Dr. Recep KANIT (S.Ü. , T.İ.K. üyesi)

Prof. Dr. Mehmet ÜLKER (F.Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAMANLI (S.Ü. , Danışman)

Yrd. Doç. Dr. S. Kamil AKIN (S.Ü.)

Ülkemizin geleneksel yapı tipi yığma binalardır. Deprem riski altında olan bu yığma yapıların deprem etkisi altındaki davranışı, betonarme yapılar kadar bilinen bir konu değildir.

Yığma yapılar harç vasıtası ile birbirine bağlanan taş ve tuğlalardan meydana gelir. Bu bakımdan sürekli ortam oluşturmazlar ve yine bu sebeple yükler altında

gerçek davranışlarının sayısal yöntemlerle ortaya konulması oldukça güçtür. Bu itibarla yığma yapıların yük altındaki davranışları ancak deneysel çalışmalarla ortaya konulmaktadır.

Yapılan deneysel çalışmalar; yığma yapıların oluşan çatlakların devam etmesi sonucunda yük alamaz hale geldiğini –kırıldığını- göstermektedir.

Bu çalışmada düzlem dışı yüklenen yığma duvarların ve yığma duvarlarda oluşan çatlamların kontrol altına alınmasını sağlayacağı düşünülen epoksi reçineli FRP ile yatay derz takviyesi uygulaması, analitik ve deneysel olarak araştırılmıştır.

Bunun için gerçekçi boyutlara sahip, aynı geometri ve malzeme özelliğinde 2 ayrı prototip duvar üretilmiştir. Birinci duvar deprem etkisini modelleyen düzlem dışı tersinir yük altında denenmiş ve kırılma davranışı incelenmiştir. İkinci duvarın yatay derzleri epoksili FRP ile takviye edilmiş ve eşdeğer şartlar altında denenerek uygulamanın duvarı kırılmaya karşı ne kadar güçlendirdiği araştırılmıştır.

Çalışmaların sonucunda; yığma duvarların tersinir düzlem dışı yükler altında betonarme döşemede oluşan akma çizgilerine benzer kırılma çizgileri oluşturarak kırıldığı, kırılma türünün gevrek olduğu ve akma çizgilerinin işaret ettiği süneklığe sahip olmadığı yatay derzin, epoksili FRP ile takviyesi ile güçlendirilen duvarın kırılmaya karşı 3 (üç) kat daha fazla dayanıklı hale geldiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Yığma yapı, güçlendirme, FRP

ABSTRACT

Ph.D.Thesis

STRENGTHENING OF MASONRY STRUCTURES WITH HORIZONTAL JOINTING STRENGTHENING METHOD

Mustafa Tolga ÇÖĞÜRCÜ

Selcuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Asist. Prof. Dr. Mehmet KAMANLI

2007, 204 pages

Jury:

Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI(S.Ü. , T.İ.K. member)

Prof. Dr. Recep KANIT (S.Ü. , T.İ.K. member)

Prof. Dr. Mehmet ÜLKER (F.Ü.)

Asist. Prof. Dr. Mehmet KAMANLI (S.Ü. , T.İ.K. adviser)

Asist. Prof. Dr. S. Kamil AKIN (S.Ü.)

The traditional building type in our country is stacking buildings. These buildings, under as much as earthquake risk as reinforced –concrete building, are not known in terms of their actions under earthquake influence.

Stacking buildings consist of binding the bricks and stones to each other by mortar. Therefore, they do not form a continuous environment; and as a result of this,

it is rather difficult to present their real acts under loads by numeric methods. From this point of view, the actions of stacking buildings under the load have only been suggested through empirical studies.

The empirical studies carried out have shown that stacking buildings became not able to take any load – cracked- due to continuing the cracks formed.

In this study, the horizontal joint reinforcement application by FRP with epoxy to prevent from controlling the stacking walls forming out of plane, and the cracks formed on stacking walls were investigated analytically and empirically.

For this purpose, two separate prototypes of walls were built with realistic sizes and in specification with identical geometry and material. The first wall was tested under the reversible load modeling earthquake effect and its action related to being demolished. Horizontal joints of the second wall were reinforced by FRP with epoxy and, investigated how much the application strengthened the wall against breaking, testing it under the most difficult conditions.

As a conclusion of these studies, it has been seen that stacking walls were broken forming breaking lines, similar to flowing lines forming on reinforced concrete under the loads out of plane; sort of breaking was brittle and it had not any continuity indicated; and the wall strengthened by the reinforcement with FRP of horizontal joint became three more times stronger against breaking.

Keywords : Masonry buildings, strenghtening, FRP

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında, çalışmamın ve akademik hayatımın bütün safhalarında beni yönlendiren ve destekleyen, teşvik eden, daima en iyi ve doğrunun olması için çalışan, bu yönde beni ve arkadaşlarımı her yönden yönlendiren, yetişmemizde ve bilim dünyasına katkıda bulunmamızda önümüzü açan, her konuda yardımcı olan, laboratuvar imkânlarının sağlanması konusunda her türlü kolaylığı sağlayan, aynı zamanda tez izleme komitesi üyem Prof. Dr. M. Yaşar KALTAKCI hocama ve Prof. Dr. Recep KANIT hocama öncelikle teşekkür ederim. Yüksek Lisans çalışmamdan sonra bu çalışmamda da, her zaman olduğu gibi yanımda olan, desteğini ve yardımını hiç esirgemeyen, bu günlere gelmemde büyük katkıları olan tez danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAMANLI hocama sonsuz şükranlarımı sunarım. Bu çalışmanın ortaya çıkmasında her zaman yanımda olan ve sabırla yardımlarını esirgemeyen oda arkadaşım ve dostum Arş. Grv. M. Sami DÖNDÜREN ve Teknik Bilimler M.Y.O Öğr. Grv. Mustafa ALTIN'a, çalışmam sırasında manevi desteğini esirgemeyen ve moral kaynağım olan Yrd. Doç. Dr. Mustafa ONÜÇYILDIZ hocama, tez çalışmamın her safhasında yanımda olan Arş. Grv. Dr. Ülkü S. YILMAZ ve Arş. Grv. Selim DOĞAN'a, doktora çalışmama başladığım günden beri ve özellikle Laboratuvar çalışmaları sırasında desteğini her zaman yanımda hissettiğim Gazi Üniversitesi Yapı Eğitimi Bölümü Arş. Grv. Dr. Mürsel ERDAL, Prof. Dr. M. Haluk ÇELİK ve Prof. Dr. Ergin ATIMTAY beylere ve bana yardımcı olan ve destek olan tüm hocalarım ve araştırma görevlisi arkadaşlarıma sonsuz şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmayı destekleyen S.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne de teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca bana sabreden, sevgi ve desteklerini esirgemeyen eşim Setenay ve oğlum Göktuğ Ethem'e, bu günlere gelmemde en büyük paya sahip babam İ.Ethem ve annem Emine ÇÖĞÜRCÜ'ye destekleri için teşekkür ederim.

ÇALIŞMAYI DESTEKLEYEN KURULUŞLAR

Bu doktora tezi çalışmasında, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü; 06401055 nolu araştırma projesi kapsamında “Yığma Yapıların Yatay Derz Güçlendirme Yöntemi İle Güçlendirilmesi” ismiyle 27.000 YTL maddi destek sağlanmıştır. Sağlamış olduğu destekten dolayı, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü’ne teşekkür ederiz.

Bu çalışma ayrıca, YUUP-KP20760–08–11-DPT–2004 projesi kapsamında da desteklenmektedir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT	III
TEŞEKKÜR	V
ÇALIŞMAYI DESTEKLEYEN KURULUŞLAR	VI
İÇİNDEKİLER	VII
KULLANILAN SEMBOLLER	XI
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	XIII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	XV
1. GİRİŞ	1
1.1. Yığma Yapının Tanımı	5
1.2. Yığma Binaların Yapısında Kullanılan Malzemeler.....	6
1.2.1. Tuğla	6
1.2.2. Harman tuğlası	6
1.2.3. Fabrika tuğlası.....	8
1.2.4. Doğal yapı taşları	12
1.2.5. Beton briket.....	15
1.2.6. Yığma yapılarda kullanılan harçlar	16
1.2.6.1. Harçların sınıflandırılması	16
1.2.6.2. Harç karışımları.....	16
1.2.6.3. Harçların basınç dayanımı.....	17
1.3. Yığma Yapıların Yatay, Düşey ve Dinamik Kuvvetler Altındaki Davranışı.....	18
1.3.1. Dinamik kuvvetler altındaki davranış	18
1.3.2. Yarı statik test	26
1.3.3. Pseudo dinamik test	27
1.4. Yığma Yapıların Yatay ve Düşey Kuvvetler Altında Davranışı.....	28
1.4.1. Yatay ve düşey yük taşıyan yığma duvarlar	28
1.4.1.1. Yatay yükün duvarlara dağılımı.....	28
1.4.1.2. Yatay kuvvetler altında duvarlarda oluşan kırılma biçimleri.....	30

1.4.1.3.	Yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarların göçme şekilleri..	31
1.4.1.3.1.	Dönmeden yatay ötelenme göçmesi	32
1.4.1.3.2.	Eğilme göçmesi	32
1.4.1.3.3.	Kayma göçmesi	32
1.4.1.4.	Donatılı yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarlar	34
1.4.1.5.	Yığma dolgu duvarlar	35
1.5.	Yığma Yapılarda Hasar Biçimleri.....	37
1.5.1.	Oturma çatlakları ve hasarı	37
1.5.2.	Ağaçlardan kaynaklanan hasarlar	39
1.5.3.	Deprem Hasarı	40
1.5.3.1.	Yığma yapılarda deprem hasar düzeyleri.....	43
1.5.3.1.1.	Hasarsız veya az hasarlı yapılar	43
1.5.3.1.2.	Az hasarlı yapılar	43
1.5.3.1.3.	Orta hasarlı yığma yapılar	44
1.5.3.1.4.	Ağır hasarlı yığma yapılar	44
1.5.3.1.5.	Yıkılmış yığma yapılar	45
1.5.4.	Kırsal yapıların hasar biçimleri	45
1.6.	Yığma Yapılarda Onarım Ve Güçlendirme	46
1.6.1.	Onarım ve güçlendirme ilkeleri	47
1.6.1.1.	Duvarların güçlendirilmesi.....	50
1.6.1.2.	Çimento enjeksiyonu.....	50
1.6.1.3.	Betonarme mantolama	52
1.6.1.4.	Gergi demirleri ile güçlendirme	52
1.6.1.5.	Betonarme hatıllarla güçlendirme	54
1.6.1.6.	Ahşap dikme ve çaprazlarla güçlendirme	56
1.6.1.7.	Yığma yapıların güçlendirilmesi ile ilgili diğer teknikler.....	57
1.7.	Çatlakların Onarılması	58
1.7.1.	Derine inmeyen küçük çatlaklar.....	58
1.7.2.	Düşey doğrultuda sürekli çatlaklar.....	59
1.8.	FRP' ler.....	60
1.8.1.	FRP' yi oluşturan malzemeler.....	62
1.8.1.1.	Fiberler	62

1.8.1.1.1.	Aramid Fiberler	64
1.8.1.1.2.	Karbon Fiberler	65
1.8.1.1.3.	Glass Fiberler (Cam Elyaf)	67
1.8.1.1.4.	PVA Fiberler	69
1.8.2.	Reçineler	71
1.8.2.1.	Termoplastikler	72
1.8.2.2.	Termosetler	72
1.8.2.2.1.	Doymamış polyester reçineler (UP).....	73
1.8.2.2.2.	Epoksi reçineler.....	73
1.8.3.	Katkı malzemeleri	74
1.8.4.	FRP'lerin duvarlarda ve yığma yapılardaki uygulama şekilleri	75
1.8.4.1.	FRP'lerin dolgu duvarlarda uygulanması	75
1.8.4.2.	FRP'lerin yığma yapılarda uygulanması.....	75
1.9.	Amaç ve Kapsam	77
2.	LİTERATÜR ÖZETİ	80
2.1.	Genel Çalışmalar	80
2.2.	FRP İle İlgili Literatür.....	96
3.	MATERYAL VE METOD	103
3.1.	Materyal	103
3.2.	Duvar Yapımında Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.....	104
3.2.1.	Çerçevelerin desteklenmesinde kullanılan çelik profillerin geometrik ve mekanik özellikleri	104
3.2.2.	Deneylerde kullanılan yükleme levhasının mekanik özellikleri	105
3.2.3.	Duvar temelini oluşturulmasında kullanılan donatının özellikleri	106
3.2.4.	Duvar elemanlarının özellikleri.....	108
3.2.5.	Harçta kullanılan çimento ve kumun özellikleri	110
3.2.6.	Kullanılan harcın özellikleri.....	111
3.2.7.	Kullanılan FRP malzemesinin ve reçinenin özellikleri.....	112
3.3.	Yığma Duvar Deneyleri İçin Üretilen Numunelerin Boyutları.....	114
3.4.	Deney Elemanlarının Üretimi	114
4.	DENEY DÜZENİĞİ VE ÖLÇÜM TEKNİĞİ.....	120
4.1.	Giriş.....	120

4.2.	Deney Düzenegi	120
4.3.	Ölçme Tekniğı.....	122
4.3.1.	Yük ölçmeleri.....	122
4.3.2.	Yer değıştirmelerin ölçülmesi	123
4.3.3.	Yük ve yer değıştirme ölçümlerinin bilgisayar ortamına aktarılması.....	125
4.4.	Deneylerde Kullanılan Ölçüm Düzenegi	126
4.5.	Ölçmelerin Değerlendirilmesi.....	127
4.5.1.	Yük geçmişı grafiklerinin elde edilmesi	127
5.	DENEY SONUÇLARI.....	128
5.1.	1 Nolu Deney (Güçlendirilmemiş Yığma Duvar).....	129
5.2.	2 Nolu Deney (Güçlendirilmiş Yığma Duvar).....	148
6.	DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	165
6.1.	Giriş.....	165
6.2.	Sonuç ve Değerlendirmeler.....	166
7.	ANALİTİK İNCELEME.....	170
8.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	174
9.	KAYNAKLAR	177

KULLANILAN SEMBOLLER

ε	: Şekil değıştirme
P	: Donatı oranı
A_s	: Donatı kesit alanı
E_s	: Elastisite modülü
P	:Yük
δ	: Deplasman
σ	: Gerilme
M	: Moment
M_j	: Her bir moda ait moment
M_{max}	: Maksimum moment
M_{bil}	: Bileşik moment
d	: Tuğla derinliğı
t	: Derz kalınlığı
E_h	: Harç elastisite modülü
E_t	: Tuğla elastisite modülü
E_d	: Duvar elastisite modülü
σ_u	: Duvar ait gerilme dayanımı
σ_y	: Duvar yükünden oluşan gerilme
σ_o	: Tuğla basınç dayanımı
σ_t	: Tuğlada mevcut gerilme
σ_h	: Harçta mevcut gerilme
μ_h	: Harç poisson oranı
μ_t	: Tuğla poisson oranı
τ_b	: Kesme aderans kırılması durumunda gerilme
μ	: Tuğla ile harç arasında sürtünme katsayısı
d	: Tuğla derinliğı
t	: Derz kalınlığı
E_h	: Harç elastisite modülü
V_{bo}	: Harcın aderansından oluşan kesme taşıma gücü

FRP	: Fiber Reinforced Polimer (Lif Takviyeli Polimer)
CFRP	: Carbon Fiber Reinforced Polimer(Karbon Lif Takviyeli Polimer)
GFRP	: Glass Fiber Reinforced Polimer(Cam Lifi Takviyeli Polimer)
O/G	: Onarım Ve Güçlendirme
T_j	: FRP malzeme kalınlığı
V_j	: FRP malzemenin sağladığı kesme mukavemeti artışı
F_j	: FRP malzemenin hesap emniyet gerilmesi ($< 0,75 f_{bj}$)
F_{Uj}	: FRP malzemenin çekme mukavemeti
E_{uj}	: FRP malzemenin kopma birim şekil değıştirmesi
$V_{şj}$	: FRP malzeme tarafından sağlanan kesme mukavemeti
V_{bo}	: Harcın aderansından oluşan kesme taşıma gücü
τ_t	: Makaslama çekme kırılmasında kesme gerilmesi
T	: Yapı periyodu
N	: Kat adedi
R	: Yığma yapıda bir duvarın rijitliği
H	: Duvarın yüksekliği
L	: Duvar uzunluğu

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1.1 Biçim ve basınç dayanımlarına göre harman tuğlası	7
Çizelge 1.2 Harman tuğlasının boyutları	8
Çizelge 1.3 Fabrika tuğlasının birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı.....	10
Çizelge 1.4 Fabrika tuğlası anma yükseklikleri ve biçim katsayıları (k^*).....	11
Çizelge 1.5 Doğal yapı taşlarının minimum basınç ve eğilmede çekme dayanımları	13
Çizelge 1.6 Kerpiçlerin sınıflandırılması	14
Çizelge 1.7 Beton briketlerin boyutları.....	15
Çizelge 1.8 Beton blok ve briketlerin basınç mukavemetleri	16
Çizelge 1.9 Harç karışımları (hacim olarak).....	17
Çizelge 1.10 Harçlarda minimum basınç dayanımları.....	18
Çizelge 1.11 Aramid fiberlerin teknik özellikleri	64
Çizelge 1.12 Aramid fiberlerin tipik özellikleri.....	65
Çizelge 1.13 Karbon fiberlerin teknik özellikleri	66
Çizelge 1.14 Karbon fiberlerin tipik özellikleri	66
Çizelge 1.15 Glass fiberlerin teknik özellikleri	68
Çizelge 1.16 Glass fiberlerin tipik özellikleri	69
Çizelge 1.17 PVA fiberlerin teknik özellikleri	69
Çizelge 1.18 PVA fiberlerin tipik özellikleri	70
Çizelge 1.19 Çeşitli fiberlerle, çeliğin özelliklerinin kıyaslanması	70
Çizelge 1.20 Tam priz almış (küflenmiş) reçinelerin fiziksel özellikleri.....	74
Çizelge 1.21 Karbonat katkılı polyester reçinelerin özellikleri	74
Çizelge 3.1 Deneylerde kullanılan profillerin geometrik ve fiziksel özellikleri.....	104
Çizelge 3.2 Deneylerde kullanılan çelik levhaların mekanik özellikleri	105
Çizelge 3.3 Deneylerde kullanılan donatının özellikleri.....	107
Çizelge 3.4 Kil bazlı dolu harman tuğlasının fiziksel ve mekanik özellikleri	109
Çizelge 3.5 Kullanılan çimentonun özellikleri.....	110
Çizelge 3.6 Harç kumunun granülometrik değerleri.....	111
Çizelge 3.7 Çimento harcı için karışım değerleri.....	111
Çizelge 3.8 Çimento harcına ait mekanik özellikler	112

Çizelge 3.9 Karbon fiberlerin tipik özellikleri	112
Çizelge 3.10 Deney numunelerinin geometrik özellikleri	114
Çizelge 5.1 1 nolu deney numunesinin özellikleri	129
Çizelge 5.2 1 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış.....	134
Çizelge 5.3 2 nolu deney numunesinin özellikleri	148
Çizelge 5.4 2 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış.....	152

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Yığma yapıların deprem kuvvetleri altındaki genel davranışı.....	2
Şekil 1.2 Tuğla dayanımı ile duvar dayanımı arasındaki ilişki.....	11
Şekil 1.3 Tuğla – harç – duvar basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	18
Şekil 1.4 Yığma binanın dinamik davranışı.....	20
Şekil 1.5 A duvarı üzerinde oluşan deprem kuvvetleri ve kesme kuvvet diyagramı.	21
Şekil 1.6 Düzlem içi deprem zorlamaları ve etkileri.....	21
Şekil 1.7 B duvarının mesnetlendiği 2. ve 3. kat döşemelerine tekabül eden ivmeler	22
Şekil 1.8 X - yönünde deprem hareketi altında B duvarında düzlem dışı sismik kuvvetlerin oluşumu.....	22
Şekil 1.9 B duvarında oluşan düzlem dışı ivme.....	23
Şekil 1.10 T_w / T_f oranında etkitilmiş A duvarının dinamik tepkisi.....	24
Şekil 1.11 Tipik bir yarı statik test mekanizması.....	27
Şekil 1.12 Yatay yükün duvarlara dağılımı.....	29
Şekil 1.13 Yığma yapılarda yatay kuvvetlerin dağılımı.....	29
Şekil 1.14 Yapı köşelerinin durumu	31
Şekil 1.15 Yatay ve düşey yük taşıyıcı duvarlarda göçme şekilleri.....	31
Şekil 1.16 Basit donatılı yığma bina	35
Şekil 1.17 Yığma dolgu duvarların ve çerçevelerin yatay yük altında davranışları ..	36
Şekil 1.18 Yatay yük altında yığma binada meydana gelen hasarlar.....	40
Şekil 1.19 Nueva San Salvador'da depremde hasar görmüş yığma tarihi yapı.....	41
Şekil 1.20 San Salvador'da hasar görmüş yığma yapı	42
Şekil 1.21 Las Colinas'da deprem sırasında yıkılmış toprak damlı yığma yapı	46
Şekil 1.22 Çimento enjeksiyonu ile taş duvarın güçlendirilmesi.....	51
Şekil 1.23 Düşey ve yatayda betonarme takviye bantları ile çatlak onarımı	52
Şekil 1.24 Gergi demirleri ile boşluklar arası duvar parçası güçlendirme.....	53
Şekil 1.25 Tek ve çift taraflı düşey hatıllarla duvar güçlendirme	54
Şekil 1.26 İki katlı bir yığma yapının betonarme çerçeve içine alınması	56
Şekil 1.27 Ahşap çaprazlarla güçlendirme.....	56

Şekil 1.28 Pencere boşlukları açılmış yığma bir duvarın çelik çaprazlarla takviyesi	57
Şekil 1.29 FRP kompozit uygulaması	58
Şekil 1.30 Küçük çatlakların çimento harcı ile doldurulması	59
Şekil 1.31 Düşey doğrultuda sürekli çatlakların onarılması	59
Şekil 1.32 Düşey doğrultuda sürekli çatlak oluşumu gözlenen tuğla duvarın onarımı	60
Şekil 1.33 Çift yönlü dokunmuş fiberler	61
Şekil 1.34 Fiber üretim aşamaları	63
Şekil 1.35 Fiberler ve çeliğin gerilme dayanımları	71
Şekil 1.36 Taş yapılarda FRP uygulaması	76
Şekil 2.1 Depreme maruz yığma duvarların düzlem içi ve düzlem dışı yüklenmesi	92
Şekil 2.2 Silindir Yarma Deneyi	95
Şekil 2.3 Racking Deneyi	96
Şekil 3.1 Deney numunesi yükleme levhasının deney esnasındaki görüntüsü	106
Şekil 3.2 Deneylerde kullanılan donatının gerilme deformasyon eğrisi	107
Şekil 3.3 Bağ kirişi donatı görüntüsü	108
Şekil 3.4 Döşeme donatısının görüntüsü	108
Şekil 3.5 Örülmüş tuğla duvarın görüntüsü	109
Şekil 3.6 Deneyde kullanılan karbon fiber ve kullanılan reçine	113
Şekil 3.7 Duvarlar hazırlanırken kullanılan örme şekli	115
Şekil 3.8 Numuneye kalıp kurulması ve beton dökülmesi	116
Şekil 3.9 Deney numunesinin boyanması	117
Şekil 3.10 Deney numunesine sürülecek reçinenin hazırlanması	117
Şekil 3.11 Hazırlanan reçinenin duvara ve FRP üzerine uygulanması	118
Şekil 3.12 Hazırlanan FRP'nin duvara uygulanması	119
Şekil 4.1 Yığma duvar deney elemanı ve reaksiyon duvarı	121
Şekil 4.2 Tersinir sismik hareketi modelleyen yükleme mekanizması	121
Şekil 4.3 Deney duvarının geometrik şekli	122
Şekil 4.4 LVDT'ler ve bağlantı sistemi	124
Şekil 4.5 Deneylerde kullanılan veri aktarım sistemi ve bilgisayar düzeneği	125
Şekil 4.6 Test edilen sistemde kullanılan ölçüm düzenekleri	126
Şekil 5.1 1 nolu deney numunesinin deneyden önceki ön görünüşü	130

Şekil 5.2	1 nolu deney numunesinin deneyden önceki arka görünüşü	131
Şekil 5.3	1 nolu deney numunesine ait yükleme geçmişi	132
Şekil 5.4	1 nolu deneyde yan duvar sol arka mesnetin altında oluşan ilk çatlak ...	133
Şekil 5.5	1 nolu deneyde 6. çevrimde oluşan çatlaklar	133
Şekil 5.6	1 nolu deney sol arka mesnette oluşan çatlak (Yük; 50 kN, Dep. 5,4mm)	136
Şekil 5.7	1 nolu deney numunesinin 45kN'la 55 kN arasındaki hasar durumu	136
Şekil 5.8	1 nolu deneyin 65 kN'luk yük aşamasındaki durumu	137
Şekil 5.9	1 nolu deneyin 65 kN'da gözlemlenen çatlaklar.....	138
Şekil 5.10	1 nolu deney numunesinde ölçülen çatlak genişlikleri	139
Şekil 5.11	1 nolu deney numunesinin deney sonunda oluşan hasar durumu	140
Şekil 5.12	1 nolu deney numunesinin deney sonunda oluşan hasar durumu	141
Şekil 5.13	1 nolu deney numunesinin deney sonundaki genel görünüşü.....	142
Şekil 5.14	1 nolu deney maksimum yüklemede dış yüzey hasar durumu	143
Şekil 5.15	1 nolu deney maksimum yüklemede dış yüzey hasar durumu	144
Şekil 5.16	1 nolu deney numunesine ait yük-dış deplasman grafiği.....	145
Şekil 5.17	1 nolu deney numunesine ait yük-iç deplasman grafiği.....	146
Şekil 5.18	1 nolu deney numunesine ait yük-iç-dış deplasman grafiği.....	147
Şekil 5.19	1 nolu deney numunesinin deneyden önceki ön görünüşü	149
Şekil 5.20	2 nolu deney numunesine ait yükleme geçmişi	150
Şekil 5.21	2 nolu deney yan duvarda sol arka mesnetin altında oluşan ilk çatlak .	151
Şekil 5.22	2 nolu deney numunesinde 5. çevrimde oluşan çatlaklar	152
Şekil 5.23	2 nolu deney numunesinde +58 kN'da oluşan çatlaklar	154
Şekil 5.24	2 nolu deney +58kN'la, +80 kN arasındaki çatlak durumları.....	155
Şekil 5.25	2 nolu deney numunesinin 60 kN'luk yük aşamasındaki durumları.....	156
Şekil 5.26	2 nolu deneyde 60 kN'luk yük aşamasındaki durumları	157
Şekil 5.27	2 nolu deneyde 60 kN'luk yük aşamasındaki durumları	158
Şekil 5.28	2 nolu deneyde 60 kN'luk yük aşamasındaki durumları	159
Şekil 5.29	2 nolu deney maksimum yüklemede dış yüzey hasar durumu	160
Şekil 5.30	2 nolu deney maksimum yüklemede iç yüzey hasar durumu	161
Şekil 5.31	2 nolu deney numunesine ait yük-iç deplasman grafiği.....	162
Şekil 5.32	2 nolu deney numunesine ait yük-dış deplasman grafiği.....	163

Şekil 5.33 2 nolu deney numunesine ait yük-iç-dış deplasman grafiği.....	164
Şekil 8.1 Referans deney numunesi	176
Şekil 8.2 Güçlendirilmiş deney numunesi	176

1. GİRİŞ

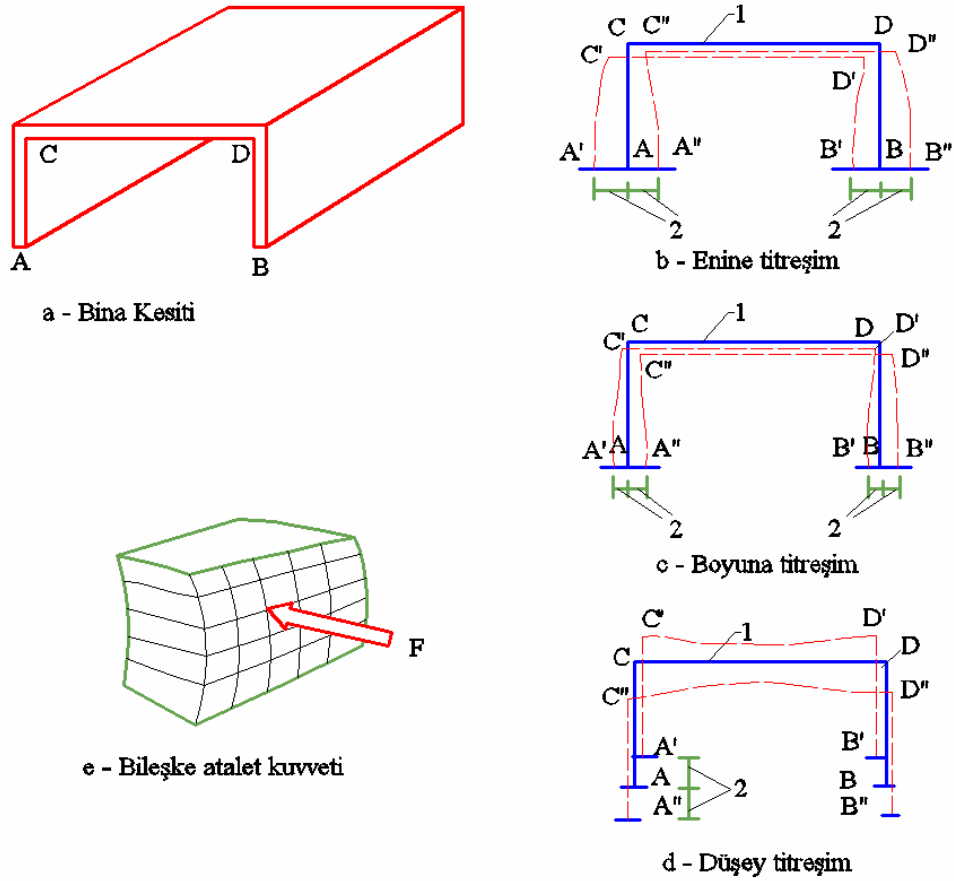
İnsanoğlu, gelişim süreci boyunca on binlerce yıl öncesinden günümüze değin, ihtiyaçlarını karşılamak için mevcut imkânlar ve günün teknolojisini kullanarak yapılar inşa etmiştir.(yaşamak için binalar, nehirleri geçmek için köprüler ve kemerler, suları toplamak için sarnıçlar, suları iletmek için kanallar vs). Her ne kadar günümüzde betonarme ve çelik yapılar en yaygın yapı türleri olsa da, dünyanın çeşitli ülkelerinde ve ülkemizin de birçok bölgesinde yığma yapılar hala inşaa edilmektedir.

Türkiye'nin yüzölçümünün büyük bir bölümü deprem kuşağında bulunmakta ve bu coğrafya da yaşayan insanların büyük çoğunluğunun yaşamını sürdürdüğü yapılar birinci ve ikinci derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Ülkemizdeki yapıların büyük çoğunluğu, özellikle Anadolu'nun kırsal kesimlerinde, hatta büyük şehirlerin çevre mahallelerinde ve gecekondu semtlerinde neredeyse yapılaşmanın tamamına yakını yığma yapı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum büyük olasılıkla gelecekte de geçerli olacaktır, zira malzeme teminindeki kolaylık, göreceli ucuzluk ve yapının gerektirdiği işçiliğin basitliği yığma yapıyı özellikle konut yapımında cazip kılmaktadır.

Kırsal kesimlerde tercih edilen ve uygulama açısından kolay olan yığma yapıların diğer yapılara oranla avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Yığma yapıların en büyük dezavantajı oldukça ağır, hantal ve gevrek malzemeden inşa edilmiş olmalarıdır. Bilindiği gibi yapı ağırlığı ne denli fazla olursa deprem esnasında oluşacak atalet kuvvetleri de o denli fazla olmaktadır. Bu da yapı elemanlarının çok büyük iç tesirlere maruz kalması demektir(Şekil 1.1).

Ayrıca yığma yapılar rijit olmalarından dolayı esnek yapılar gibi esneme ve enerji yutma yeteneğine sahip değildirler. Sonuçta, depremde ortaya çıkan enerjiyi azaltma kapasitesi düşük olduğu için büyük yatay kuvvetlere maruz kalmaktadırlar.

Üstelik yığma yapılarda kullanılan malzemelerin gevrek malzemeler olmasından dolayı mühendislik açısından istenmeyen davranışlar göstermekte, taşıma limitini aştıkları anda ani çatlamalara ve kırılmalara sebep olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı yığma yapılar depreme dayanıklı yapılar olarak değerlendirilmezler. Bununla beraber yığma yapılar deprem açısından tamamen olumsuz yapılar olarak algılanmamalıdır. Bütün diğer yapılarda olduğu gibi yığma yapılar da standartlara, yönetmeliklere uygun olarak yapıldığı ve mühendislik çalışması gördüğü takdirde sağlam ve emniyetli olabilirler.



Şekil 1.1 Yığma yapıların deprem kuvvetleri altındaki genel davranışı

Yığma yapılar arasında sadece günümüzde yapılan yapıları değil eski tarihlerde yapılmış yapıları da saymak gerekir. Bunlar arasında camiler, konaklar, saraylar,

kümbetler, medreseler, kemerler, köprüler, kervansaraylar, tapınaklar, hanlar, tarihi anıtlar, kiliseler, manastırlar, kubbeler, tonozlar vb. söylenebilir.

2000 yılında Türkiye genelinde yapılan bina sayımı, belediyelerin mücavir alanlarında da uygulanmış ve bu bölgede toplam 224.971 bina tespit edilmiştir. Taşıyıcı sisteme göre, binaların %51,1'i yığma ve %48,4'ü çerçeve sistem olarak inşaa edildikleri tespit edilmiştir. İnşaatların dolgu maddesi cinslerine göre ise en fazla payı %59,6 ile tuğla almaktadır. Bunu %18,0 ile briket, %9,8 ile taş ve %7,9 ile kerpiç izlemektedir. Tamamına yakını aktif deprem kuşağında bulunan ülkemizde depreme dayanıklı yapı tasarımı son derece önemlidir. Son yıllarda meydana gelen Mart 1992 Erzincan, Ekim 1995 Dinar Ağustos 1999 Sakarya-Kocaeli ve Ekim 1999 Düzce depremlerinde çok sayıda yığma ve betonarme binada büyük yapısal hasarlar sonucu önemli sayıda can ve mal kayıpları olmuştur. Geçmişteki depremlerde en çok can ve mal kaybı; taş, tuğla, kerpiç, ağaç vb. geleneksel malzemeler ile yapılan yığma binalarda görülmüştür. Can kaybının büyük olması, bu tür binaların projelendirilmesi ve yapım aşamasında, mühendislik tasarımı görmemiş olmasından ve mevcut şartnamelere uyulmamasından kaynaklanmaktadır. Yukarıda ki veriler dikkate alındığında, yığma yapıların deprem kuvvetleri etkisi altındaki davranışlarının incelenmesiyle ilgili üzerine daha çok araştırma yapılması gerektiğini göstermektedir(Kanıt,2005).

Ülkemizdeki ekonomik koşullar, yığma yapı malzemelerinin kolay temin edilmesi ve uygulama kolaylığı açısından yığma yapıların yapımı devam edecektir. Yeni yapılaşmaya ek olarak mevcut yığma yapılar da gözönüne alındığı takdirde, yığma yapıların depreme karşı davranışlarının bilinmesi ve dayanıklılıklarının artırılması gerekmektedir. Depremde hasar görmüş yığma yapıların ve özellikle tarihi eserlerin onarılması ve güçlendirilmesi önem kazanmaktadır. Yığma yapıların düşey taşıyıcı elemanları duvarlardır. Duvarlara düşey yüklerin yanı sıra, deprem, rüzgâr veya başka nedenlerle yatay yükler de etki edebilir. Düşey ve yatay yüklerin birlikte etkidiği hallerde, duvarlarda iki eksenli yükleme hali meydana gelmektedir. Kompozit bir malzeme olan duvarın, iki eksenli gerilme altındaki davranışının bilinmesi, yapının üzerine gelen yükleri emniyetle taşımasını sağlamak açısından büyük önem taşımaktadır.

Betonarme ve çelik yapıların gerek düşey ve gerek yatay yükler altında ne şekilde davrandığı, yılların bilgi birikimi sonucu belli bir doğrulukta hesaplanabilinip, matematiksel olarak da ifade edilebilmektedir.

Yığma yapıların düşey ve özellikle yatay yükler altındaki davranışı daha belirsizdir. Dolayısıyla gerçek davranışı matematiksel olarak ifade edilememektedir. Yığma yapıların deprem karşısında ki davranışı, yetersizlikleri, depreme dayanıklı donatı takviyeli binaların tasarımı, hasar görmüş binaların onarımı vb. konular üzerinde halen çalışmalar devam etmektedir. Kompozit bir malzeme olan tuğla duvarın dayanımını, bileşenleri olan tuğla ve harcın dayanımları cinsinden ifade etmek olanaksızdır. Bu konuda yapılmış olan teorik ve deneysel çalışmalar sonucunda geliştirilmiş formüller mevcuttur. Formüllerin tümü duvarların düşey taşıma güçlerini vermektedir. Ayrıca bunları güvenilir varsaymak da mümkün değildir (Bayülke,1980).

Deneyimlere dayanılarak, mevcut olan yapı yönetmeliklerinde yığma yapılar için alt sınırlara ek olarak üst sınırlar da verilmiştir. Örneğin; betonarme yapılarda pencere, kapı gibi boşlukların konumu ve boyutunda sınırlandırma yok iken, bu boşluklar yığma yapılarda en önemli sınırlandırmayı teşkil etmektedir. Deprem sırasında yığma yapıların hızla çatlayıp ağır hasarlı bir duruma ulaşmalarından dolayı, bu durumun oluşmasını önlemek için dünya üzerindeki birçok ülke depremselliklerine göre, şartnamelerinde değişiklik gösteren geometrik sınırlandırmalar getirmişlerdir.

Bu çalışmada, yığma yapının davranışını karakterize eden prototip yapının, deprem yükü altında en elverişsiz olduğu kabul edilen kısmı numune olarak seçilmiştir. Deney numunesinin boyutlandırılmasında deprem yönetmeliği esas alınmıştır. Çözüm, doğrudan tuğla duvar üzerinde uygulanan deneylerle elde edilmeye çalışılmıştır. Numune duvar, düzlem dışı ve düzlem içi yüklemelerle her adımda 10 kN ilerlemek suretiyle tersiyer yükleme yapılarak test edilmiştir. Düzlem dışı yüklenmiş iki eksenli yük etkisine maruz kalan numune duvara ait yük, deplasman ve kırılma desenleri elde edilmiştir. Aynı şekilde üretilmiş 2. duvar üretildikten sonra yatay derzleri açılarak epoksi reçineli FRP uygulanmak suretiyle

dayanım ve yük değişimleri izlenmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış, afet yönetmeliği esas alınarak yapılan çalışmalarda analitik çözümlemeler yapılmış ve yapılan güçlendirme yönteminin geçerliliği ve uygulanabilirliği sorgulanmıştır.

1.1. Yığma Yapının Tanımı

Mühendislik açısından, tüm duvarlarının taşıyıcı olduğu yapıya yığma yapı denir. Bu duvarlarda meydana gelebilecek hasarlar doğrudan taşıyıcı sistemi etkiler. TS2510 Kargir Duvarlar Hesap ve Yapım Kuralları'nda kargir duvar ve ona bağlı olarak yığma kargir yapı için şu tanımlar yapılmaktadır:

Kargir duvar, doğal taşların veya tuğla, beton briket, kireç kumtaşı gazbeton blok vb. yapay taşların, kireç, çimento vb. bir mineral bağlayıcı ile yapılmış harç kullanılarak örölmesi yoluyla oluşturulan yapı elemanıdır.

Yığma kargir yapı, taşıyıcı duvarları kargir duvar tarifine uyan ve döşemeleri betonarme veya betonarmenin verdiği kadar yatay bütünlük (rijitlik) sağlayan başka bir tip döşeme olan yapıdır.

Ülkemizde, kırsal yörelerdeki yığma yapılar, duvarları moloz taşla örölmüş, harç olarak çamur kullanılmış ve damları topraktan inşa edilmiş yapılardır. Anadolu'nun kırsal yörelerinde evlere bakıldığında bir çeşitlilik vardır. Evlerin duvarları bazen taştan, bazen harman tuğlası veya briketten veya kerpiçtendir. Döşemeler bazen ahşap bazen betonarmedir. Damlar bazen topraktan, bazen betondan, bazen de ahşap iskelet üstünde kiremitten veya çinkodandır.

1.2. Yığma Binaların Yapısında Kullanılan Malzemeler

Bu bölümde genel olarak yığma binalarda kullanılan, doğal taşlar, yapay taşlar (harman tuğlası, fabrika tuğlası, briket), kerpiç ve harçlarla ilgili Türk Standartlarında verilen tanımlar ele alınmıştır.

1.2.1. Tuğla

Yığma yapı duvarlarında kullanılan başlıca iki tip tuğla vardır.

I. Harman tuğlası

II. Fabrika tuğlası.

Harman tuğlası ile ilgili tüm bilgiler TS704'ten, fabrika tuğlası ile ilgili tüm bilgiler TS 705'ten alınmıştır.

1.2.2. Harman tuğlası

Harman tuğlası kil, killi toprak ve balçığın ayrı ayrı veya birlikte yoğrulup gerektiğinde su, kum, öğütülmüş tuğla ve kiremit tozu ve benzerleri ile karıştırılıp şekillendirildikten sonra kurutulup genellikle harman yerinde ocaklarda pişirilmesi yolu ile elde edilen ve duvar yapımında kullanılan bir malzemedir.

Harman tuğlasının sınıflandırılması;

Harman tuğlaları basınç dayanımlarına ve biçimlerine göre iki şekilde sınıflandırılırlar(Kaya,2003).

Basınç dayanımlarına göre harman tuğlaları;

- Orta dayanımlı harman tuğlası
- Az dayanımlı harman tuğlası

olmak üzere iki sınıfa ayrılır.

Biçimlerine göre harman tuğlaları;

- Dolu Harman Tuğlası (DOHT)
- Delikli Harman Tuğlası (DEHT)

Olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Çizelge 1.1’de biçim ve basınç dayanımlarına göre harman tuğlalarının ortalama değerleri verilmiştir.

Çizelge 1.1 Biçim ve basınç dayanımlarına göre harman tuğlası

SINIFLAR		Tuğlanın Sembolü	Ortalama Hacim Ağırlığı (max) kg/dm^3	Ortalama Basınç Dayanımı (min) kg/cm^2	Basınç Dayanımı (min) kg/cm^2
Dolu Harman Tuğlası	Orta Dayanımlı	DOHT/50	Sınırlandırılmamıştır.	50	40
	Az Dayanımlı	DOHT/30	Sınırlandırılmamıştır.	30	25
Delikli Harman Tuğlası	Orta Dayanımlı	DEHT/50	1,40	50	40
	Az Dayanımlı	DEHT/30	1,40	30	25

Harman Tuğlasının Sekli;

Harman tuğlası dikdörtgenler prizması şeklinde olmalı, yüzleri ve kenarları düzgün bulunmalıdır. Dolu tuğlaların üst yüzünün ortasında, derinliği 10 mm'den fazla olmayan çukurluklar bulunabilir.

Tuğla üst yüzünde bu şekilde çukurluklar bulunması halinde çukur kenarlarının, bulundukları yüzün kenarlarına uzaklığı 20 mm'den daha az olmamalıdır.

Harman Tuğlasındaki Delikler; Düşey delikli harman tuğlasında bulunan delikler, tuğlanın alt ve üst yüzlerinde olabildiğince eşit aralıklarla yayılmış bulunmalı ve bu yüzlere dik olarak tuğlanın bütün yüksekliği boyunca devam etmelidir(Kaya,2003).

Dikdörtgen biçimli bir delik kesitin kenar uzunluğu 15 mm'den küçük ve enkesiti 4,5 cm den büyük olmamalı ve daire biçimli deliklerin çapları 25 mm'yi aşmamalıdır(Çizelge 1.2). Deliklerin toplam enkesit alanı, bulundukları tuğla yüzü alanının %25'inden büyük olmamalıdır.

Çizelge 1.2 Harman tuğlasının boyutları

		TOLERANSLAR (mm)
Uzunluk (mm)	190	+6
		-13
Genişlik (mm)	90	+4
		-5
Yükseklik (mm)	50	+3
		-2

1.2.3. Fabrika tuğlası

Fabrika tuğlası kil, killi toprak ve balçığın ayrı ayrı veya harman edilip, gerektiğinde su, kum, öğütülmüş tuğla ve kiremit tozu, kül ve benzerleri karıştırılarak makinelerle şekillendirildikten ve kurutulduktan sonra fırınlarda pişirilmesi ile elde edilen ve duvar yapımında kullanılan bir malzemedir.

Fabrika tuğlasının sınıflandırılması;

Fabrika tuğlaları delik oranlarına ve dona dayanıklılıklarına göre iki şekilde sınıflandırılırlar.

Delik oranlarına göre fabrika tuğlaları;

I. Dolu Tuğla**II. Seyrek Delikli Tuğla****III. Az Delikli Tuğla**

olmak üzere üç sınıfa ayrılırlar(Kaya,2003).

Dona Dayanıklılıklarına göre fabrika tuğlaları;

- Dona Dayanıklı Tuğla (Cephe Tuğlası)
- Dona Dayanıksız Tuğla olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar.

Fabrika Tuğlasının Basınç dayanımı birçok faktöre bağlıdır:

- Yapıldığı toprağın cinsi
- Porozitesi
- Pişirilme ısısı
- Üretim biçimi
- Delikli tuğla ise deliklerin miktarına ve deliklerin yerine
- Kenarların biçimine
- Yükleme yönüne

Delik oranlarına göre fabrika tuğlalarının birim hacim ağırlık ve basınç dayanımları Çizelge 1.3'de, fabrika tuğlalarının basınç dayanımları ile bu tuğlalardan oluşturulan duvarın basınç dayanımı arasındaki ilişki Şekil 1.2'de verilmiştir.

Fabrika tuğlasının basınç dayanımı TS705'e göre uygun olarak hazırlanan numunenin kırılmasına neden olan P_k yükü, A_0 yükleme alanına bölünerek (1.1)'deki bağıntıyla hesaplanır:

$$f_b = \frac{P}{A_0} \cdot k^* \quad (1.1)$$

Burada;

f_b = Tuğlanın basınç dayanımı (kg/cm^2)

P_k = Kırılma anındaki yük (kg)

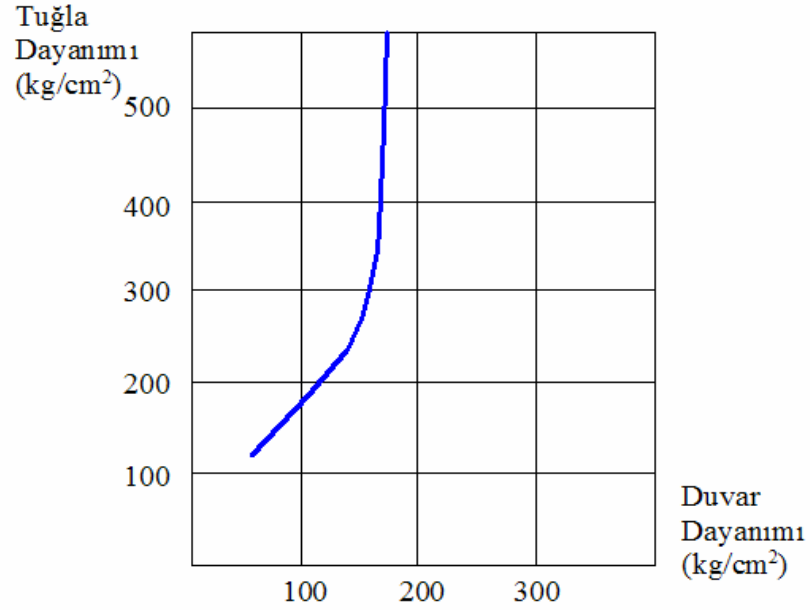
A_0 = Tuğlanın basınç uygulanan yüzünün alanı (cm^2)

k^* = Tuğlanın biçim katsayısı (Çizelge 1.4)

Alanın hesaplanmasında, delik alanları A_0 yükleme alanından düşülmez.

Çizelge 1.3 Fabrika tuğlasının birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı

Tuğla Sınıfı	Hacim Ağırlığı kg/m ³	Delik Oranı %	Tuğla Sembolleri	Ortalama Basınç Dayanımı kg/cm ²
Dolu Tuğla	2,000	15	2,0/240	240
			2,0/180	180
			2,0/120	120
	1,800	15	1,8/220	220
			1,8/150	150
			1,8/100	100
Seyrek Delikli Tuğla	1,600	20	1,6/220	220
			1,6/150	150
			1,6/100	100
	1,400	25	1,4/200	200
			1,4/120	120
			1,4/80	80
Az Delikli Tuğla	1,200	35	1,2/150	150
			1,2/100	100
			1,2/60	60



Şekil 1.2 Tuğla dayanımı ile duvar dayanımı arasındaki ilişki

Çizelge 1.4 Fabrika tuğlası anma yükseklikleri ve biçim katsayıları (k^*)

Tuğla Anma Yüksekliği (mm)	Biçim Katsayısı (k^*)
135	1,00
185	1,10
235	1,25

Delikli tuğlaların basınç dayanımını deliklerin oranı kadar biçimleri de etkiler. Delik oranı aynı fakat daha çok sayıda küçük deliklerden oluşan bir tuğlanın basınç dayanımı daha yüksek olmaktadır. Bunun nedeni boşlukları çevreleyen dolu kesitlerin burkulma boylarının küçük delikli tuğlalarda daha küçük olmasıdır. Ayrıca boşluk oranı aynı fakat delik biçimleri farklı olan tuğlaların da basınç dayanımı farklı olmaktadır. Aynı boşluk oranına sahip farklı boşluk şekillerinden oluşan tuğlalar üzerinde yapılan bir araştırmada delikler nedeniyle oluşan gerilme birikimlerinin oranları karşılaştırmıştır. Buna göre dolu tuğlada gerilme birikimi 1,0 olarak alınırsa dairesel delikli tuğlada bu oran 4,97, eliptik delikli tuğlada 9,91, dikdörtgen delikli

tuğlada 7,1 olmaktadır. Eğer dikdörtgen deliklerin köşeleri yuvarlatılırsa gerilme birikimi daha da azalmaktadır. Söz konusu araştırmada dairesel delikli tuğla, delik oranlarının aynı olduğu dikdörtgen ve kare delikli tuğlalara göre daha yüksek dayanımlı olduğu ortaya çıkmıştır(Kaya,2003).

1.2.4. Doğal yapı taşları

Doğal yapı taşı, doğada mevcut taş ocaklarından çıkarılan, homojen, atmosfer etkilerine dayanıklı, petrografik ve teknolojik özellikleri bakımından yapı işlerinde kullanılmaya elverişli taştır.

Yığma binaların yapımında kullanılacak doğal taşlar ocak taşı olmalı ve bünyelerinde çatlak kısımlar ve hava etkisi ile ayrılmış veya ayrılmaya başlamış kısımlar bulunmamalıdır. Taşların, elde edildikleri ocağın açık yüzeyine yakın yerlerinden çıkarılmış olanlarının, hava tesirleri ayrılmış, bozulmuş veya rengi değişmiş kısımları, taş ocağında iken temizlenmeli ve yapı yerine getirilmiş olan taşların hiç bir yerinde bu şekilde bozulmuş, ayrılmış veya renk değiştirmiş kısımların bulunmaması sağlanmalıdır(Kaya,2003).

Doğal yapı taşlarının cinslerine göre TS 2513'de verilen minimum basınç ve eğilmede çekme dayanımları Çizelge 1.5.'de verilmiştir.

Çizelge 1.5 Doğal yapı taşlarının minimum basınç ve eğilmede çekme dayanımları

Taşın Cinsi	Minimum Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Eğilmede Minimum Çekme Dayanımı (kg/cm ²)
Kalker, traverten, kireç bağlayıcılı kumtaşı	350	30
Yoğun kalker, dolomit, bazalt	500	40
Silis bağlayıcılı kumtaşı, grovak	800	60
Granit, siyenit, diorit, melafir, diabaz, andezit	1200	75
Diğer tortul ve metamorfik taşlar	500	50
Diğer püskürük taşlar	1400	80

Özellikle kerpiç yapılara kırsal yörelerde sık rastlanılır. Bu yapıların belirli kurallara göre yapılmasını ve dolayısıyla deprem ve su baskını gibi afetlerde can ve mal kaybının en aza indirilmesini amacıyla Nisan 1985'te Kerpiç Yapıların Yapım Kuralları adıyla TS 2515 hazırlanmıştır. Kerpiç bloklar ve bu blokların yapım kuralları ile ilgili yönetmelik ise Şubat 1977'de hazırlanan TS 2514'tür.

Kerpiç bloklar, killi ve uygun nitelikte toprağın içine saman veya diğer bitkisel lifler vb. veya saz türünden bitkiler, kaba ot, kenevir lifleri, saman, kuru funda, çam iğneleri, ağaç dalları, testere ve rende talaşları ve benzeri katkı maddeleri karıştırılıp ve su ile yoğrulup kalıplara dökülerek şekillendirmek ve açık havada kurutmak suretiyle elde edilen mamullerdir. Kerpiç blokları boyutlarına göre, ana ve kuzu diye adlandırılırlar. Kerpiçler boyutlarına göre Çizelge1.6'da görüldüğü gibi dört sınıfa ayrılırlar.

Çizelge 1.6 Kerpiçlerin sınıflandırılması

Sınıf	Boyutlar (cm)	1 Hacim (dm ³)	Yaklaşık Ağırlık (kg)
I	12x19x40	9,12	10–12 (Kuzu)
II	12x30x40	14,40	15–25 (Ana)
III	12x18x30	6,48	7–11 (Kuzu)
IV	12x25x30	9,00	10–15 (Ana)

Kerpiçler dikdörtgen prizma şeklinde olmalıdır. Bloklarda çatlak ve kırıklık bulunmamalıdır.

Kerpiç bloklarda basınç dayanım deneyi şu şekilde yapılır;

Kerpiç bloklar master görevi yapacak olan bir çerçeve içine aralarına bir kısım çimento, üç kısım yıkanmış ince kum (0,2 mm - 1,0 mm) dan yapılan bir harç ile ve en çok 1,5 cm kalınlığında bir harç konulmak suretiyle birbirleri üzerine oturtulur. Master çerçeve çevrilerek dikilmek suretiyle kerpiçlerin dış yüzleri 3 mm 'yi geçmeyecek şekilde aynı harçla birbirlerine paralel olacak şekilde düzeltilir. Basınç deneyi bu şekilde hazırlanan numune 7 gün bekletildikten sonra uygulanır. 7 gün sonra master çerçeveden çıkarılan deney numunesinin kırılma yükü deney presi altında saptanır.

Kerpiciin basınç dayanımı:

$$\sigma_k = \frac{P_{\max}}{A} \quad (1.2)$$

Burada;

$P_{\max}$ = Kırılma yükü (kg)

A = Numunenin basınç uygulanan alanı (cm²)

σ_k = Kerpiciin basınç dayanımı (kg/cm²)

Deney uygulandığında kerpiçlerin en küçük basınç dayanımı 8 kg/cm^2 ,den az ve ölçülen numunelerin ortalaması 10 kg/cm^2 'den az olmamalıdır(TS 705).

1.2.5. Beton briket

Beton briket, duvar yapımında kullanılmak üzere tabii ve/veya suni agregalar ile çimento, su ve gerektiğinde katkı maddeleri kullanılarak yapılmış, anma yüksekliği en çok 135 mm olan beton malzemedir.

Briketin Sınıflandırılması;

TS 406 Beton blok ve briketler için standartlarda beton briket, boşluklu olup olmamasına göre,

I. Dolu briket

II. Boşluklu briket

olmak üzere iki sınıfa, Beton blok ve briketler basınç mukavemetlerine göre;

I. BB2

II. BB4

III. BB6

IV. BB12

olmak üzere dört türe ayrılırlar. Beton briketlerin boyutları Çizelge 1.7.'de, basınç mukavemetleri Çizelge 1.8.'de verilmiştir.

Çizelge 1.7 Beton briketlerin boyutları

Uzunluk (L) (mm)	Genişlik (b) (mm)	Yükseklik (h) (mm)
190,240	100	85
	150	
240,390,400	200	135
	250	
	300	

Çizelge 1.8 Beton blok ve briketlerin basınç mukavemetleri

TÜRLER	Basınç Mukavemeti Değerleri	
	Ortalama Değer (kg/cm ²)	Minimum Değer (kg/cm ²)
BB2	25	20
BB4	50	40
BB6	75	60
BB12	150	120

1.2.6. Yığma yapılarda kullanılan harçlar

Yığma yapılarda, taşıyıcı duvarları oluşturan elemanları (taş, tuğla vb.) birbirine bağlayan malzemeye harç denir. TS 2848 Kargir Duvar Harçları ile ilgili standartlarda harç için şu tanım yapılmıştır.

Duvar harcı, TS 2717' ye uygun harç kumu ile bağlayıcı olarak çimento, kireç hamuru, söndürülmüş toz kireç, harç çimentosunun ayrı ayrı veya bir kaçı bir arada kullanılarak ve yeteri kadar su ve gerektiğinde katkı maddeleri ile karıştırılarak elde edilen ve duvarların örülmesinde kullanılan yapı malzemesidir.

1.2.6.1. Harçların sınıflandırılması

Harçlar basınç dayanımlarına göre

I. A sınıfı harç **II.** B sınıfı harç **III.** C sınıfı harç **IV.** D sınıfı harç **V.** E sınıfı harç olmak üzere beş sınıfa ayrılırlar.

1.2.6.2. Harç karışımları

Duvar harcı karışımlarında, harç grubuna göre gerekli agrega ve bağlayıcı miktarları hacim olarak Çizelge 1.9'da verilen değerlere uygun olmalıdır. Harcın

kullanılacağı yere ve koşullara uygun kıvamda olabilmesini sağlayacak miktarda su katılmalı, özel hal ve gerekler dışında yerleştirildiği derzden akıp giderek derzi kısmen boş bırakacak kadar akıcı olmayan ve kolay işlenebilen plastik bir kıvam gerçekleştirilmelidir.

Çizelge 1.9 Harç karışımları (hacim olarak)

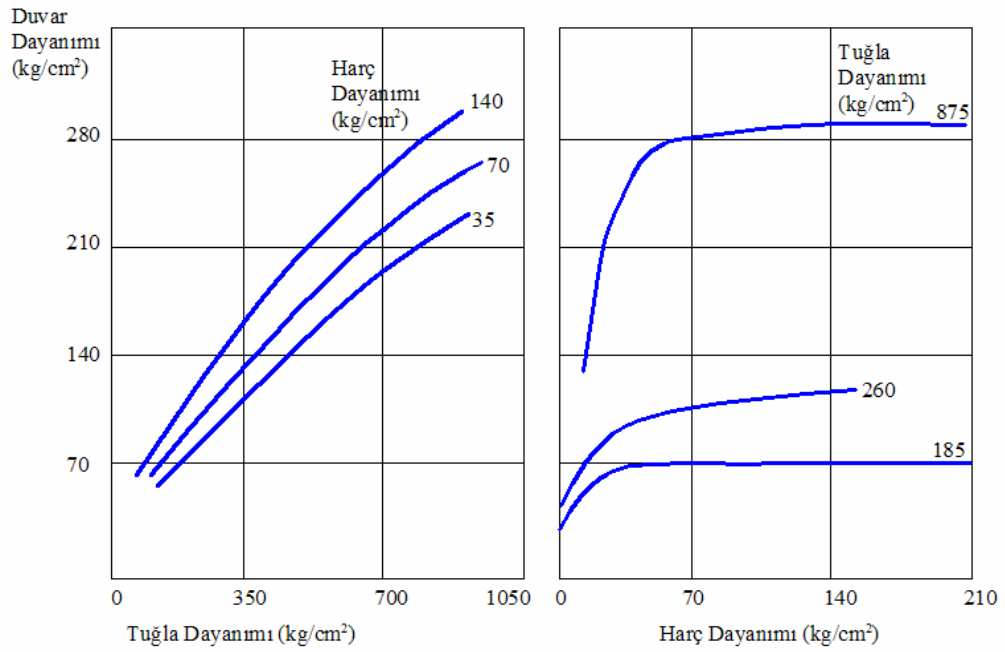
Harç Sınıfı	Tip No	Kum	Çimento	Harç Çimentosu	Kireç Hamuru	Toz Kireç
		1.3 t/m ³	1.2 t/m ³	1.0 t/m ³	1.3 t/m ³	0.6 t/m ³
A	-	3	1	-	-	-
B	1	4	1	-	-	-
	2	4	1	1/2	-	-
	3	4	1	-	-	1/2
	4	4	1	-	-	1
C	1	7-9	1	2	-	-
	2	5	1	-	-	-
	3	5	1		1	
D	1	6-8	1	-	2	-
	2	6-8	1	-	-	3
	3	2-3	-	1	-	
E	-	3	-	-	1	-

1.2.6.3. Harçların basınç dayanımı

Sarsma tablası deneyinde % 110 ± 5 oranında bir yayılma oluşturacak kıvamda ve üzerinde TS 2848'de tarif edilen basınç dayanımı deneyi uygulandığında bulunan sonuç harç sınıfları için Çizelge 1.10'da verilen değerlere uygun olmalıdır. Şekil 1.3'de tuğla-harç-duvar basınç dayanımlarını gösteren grafik detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 1.10 Harçlarda minimum basınç dayanımları

Harç Sınıfı	kg/cm ²
A	150
B	110
C	50
D	20
E	5



Şekil 1.3 Tuğla – harç – duvar basınç dayanımı arasındaki ilişki

1.3. Yığma Yapıların Yatay, Düşey ve Dinamik Kuvvetler Altındaki Davranışı

1.3.1. Dinamik kuvvetler altındaki davranış

Yığma yapıların dinamik etkiler karşısında gösterdiği mekanik özellikler, günümüz yapı elemanları olan beton ve çeliğin mekanik özelliklerine göre oldukça karmaşıktır. Her şeyden önce yığma yapının mekanik özelliklerini etkileyen çok faktör vardır.

Yapıların periyotları, mod şekilleri ve sönüm oranları dinamik özellikleridir. Yığma yapılar çok rijit yapılar olduğu için doğal titreşim periyotları genellikle çok küçüktür.(0.05–0.20 saniye civarında). Bir yapının periyodu; kat yüksekliği, eni, boyu ve dolu duvar oranı ile ilgilidir. Yüksek yapıların periyodu uzun olur. Eni ve boyu büyük yapıların ise periyotları kısa olur. Deprem esnasında yapıda hasar meydana gelir ve çatlama olursa periyodu uzar. Yapı rijitliği arttıkça periyodu kısalmaktadır. Örneğin betonarme çerçeve yapıların periyodu, yığma yapıların periyodundan uzundur. Betonarme perde yapıların ise periyodu kısadır. Betonarme yapılarda periyot ile kat adedi arasında yaklaşık olarak formül (1.3) de gösterilen ilişkinin olduğu kabul edilir:

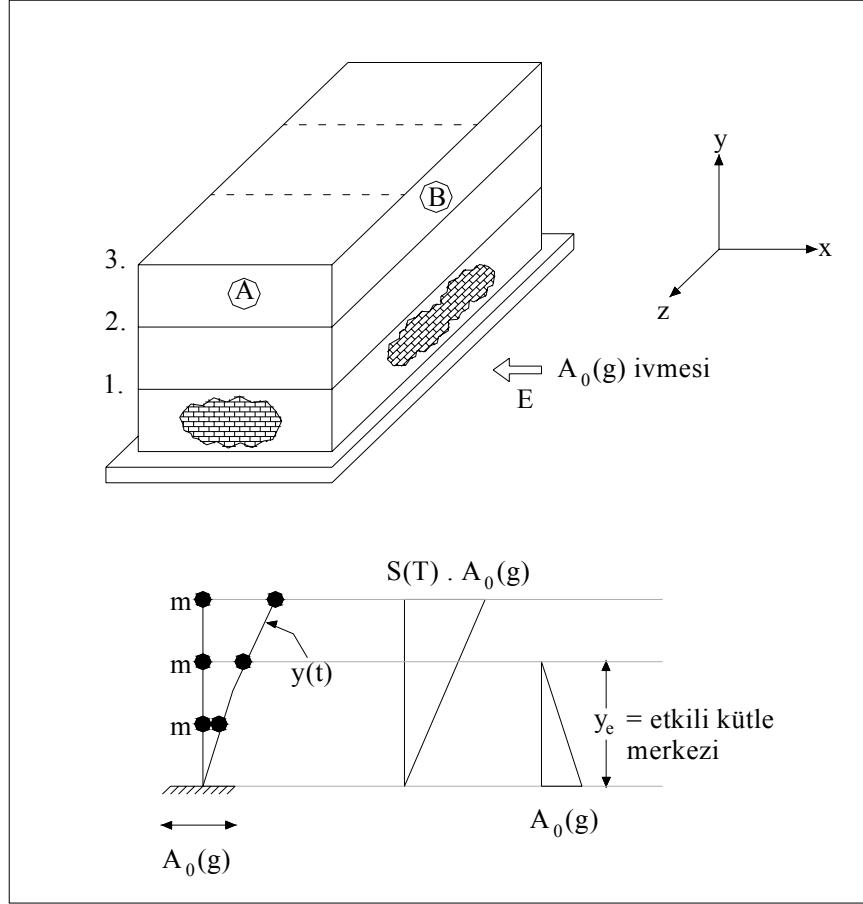
$$T=(0.1-0.07)N \quad (1.3)$$

Burada N kat adedidir. Örneğin 20 katlı betonarme bir yapının periyodu 1.6-2.0 saniye civarında olur. Betonarme yapıların periyotları çok sayıda ölçüm ile saptanabilmesine karşın yığma yapılar için sınırlı sayıda ölçüm yapılabilmektedir. Bu ölçümlere dayanarak formül (1.3)'dekine benzer şekilde şöyle bir formül verilmiştir (Bayülke, 1990).

$$T=(0.035) N \quad (1.4)$$

Ancak sınırlı sayıda deney için bulunan bu kabul yapılırken çok dikkatli olunmalıdır. Ülkemizde yığma yapılar yönetmeliklere göre en çok 4 katlı yapılabildiği için yığma yapı periyotlarının 0.05-0.20 saniye arasında değişebileceği görülmektedir. Bu değerlerde yığma yapıların rijit yapılar olduğunu göstermektedir. Sağlam zeminlerde kısa periyotlu yapılara büyük ivmelerin geldiği, yumuşak zeminlerde ise uzun periyotlu yapılara büyük ivmelerin geldiği görülmektedir. Yığma yapılar kısa periyotlu yapılar olduğundan depremde büyük ivmelerin gelmesini önlemek için yumuşak zeminlere yapılması daha uygun olmaktadır. Gerçektende birçok depremde sağlam zemin üzerindeki yığma yapıların daha çok hasar gördüğü gözlenmiştir.

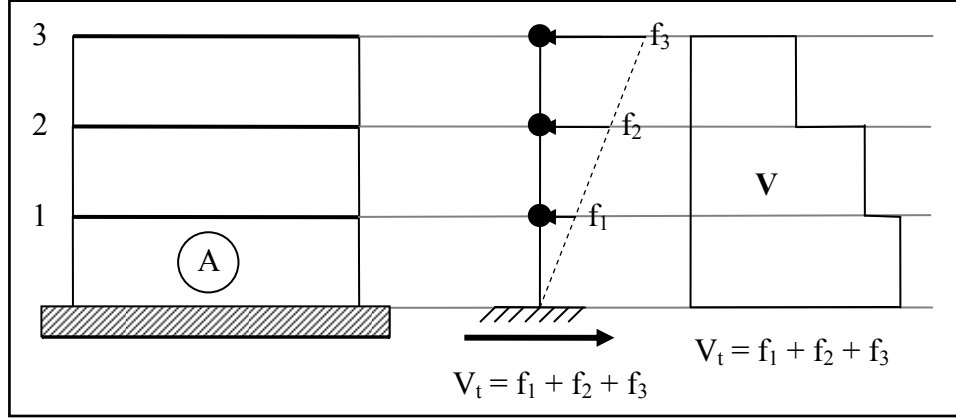
Depreme maruz yığma bir binanın dinamik davranışı Şekil (1.4)'de gösterilmiştir.



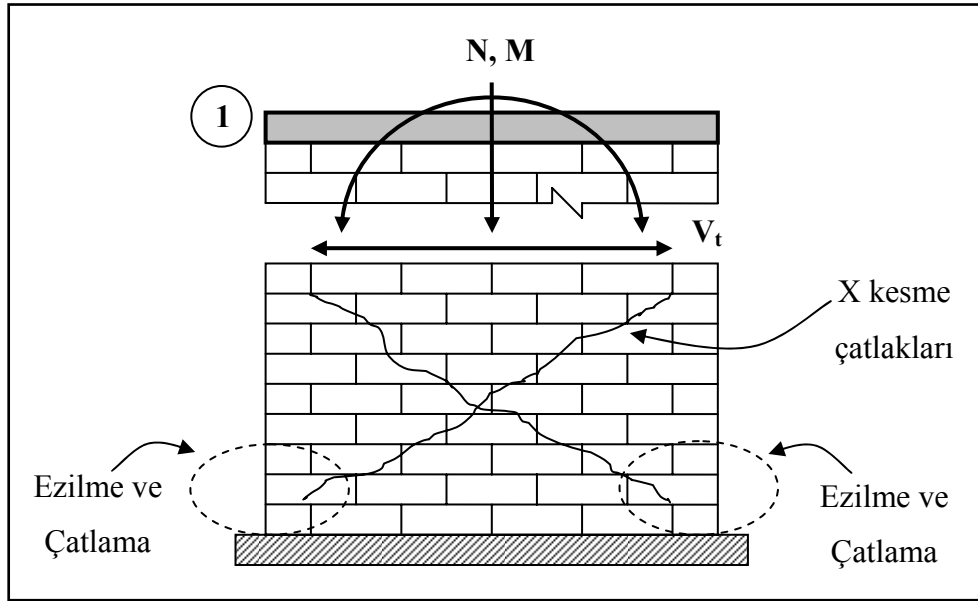
Şekil 1.4 Yığma binanın dinamik davranışı

Depreme maruz yığma bina 1. modunun gerektirdiği yönde ötelenir, $y(t)$. Bu ötelenmenin ikinci zaman türevi olarak, temelden çatıya bir ivme dağılımı ortaya çıkar. Afet yönetmelikleri bu ivme dağılışının doğrusal olduğunu kabul ederler. Ancak, temel kotunda ivmenin sıfır değil $A_0(g)$ olduğu gerçeği de göz önünde bulundurulmalıdır. Yığma yapının doğal periyoduna bağlı olarak, yapıda deprem kuvvetleri oluşur. Kat düzeylerinde yoğunlaştırılan kütlelere ve bunlara tekabül eden ivmelere bağlı olarak, bu deprem kuvvetlerinin dağılımı “ters üçgen” görünümündedir. Şekil 1.5’de gösterildiği gibi, A duvarı düzleminde f_1 , f_2 ve f_3 kat deprem kuvvetleri ve kesme kuvvetleri oluşmaktadır. En alt katta (1. kat altında)

maksimum deprem etkilerine maruz A duvarı düzlem içi yüklendiği zaman oluşan çatlak deseni ve deprem zorlamaları etkileri Şekil 1.6’de gösterilmiştir.



Şekil 1.5 A duvarı üzerinde oluşan deprem kuvvetleri ve kesme kuvvet diyagramı

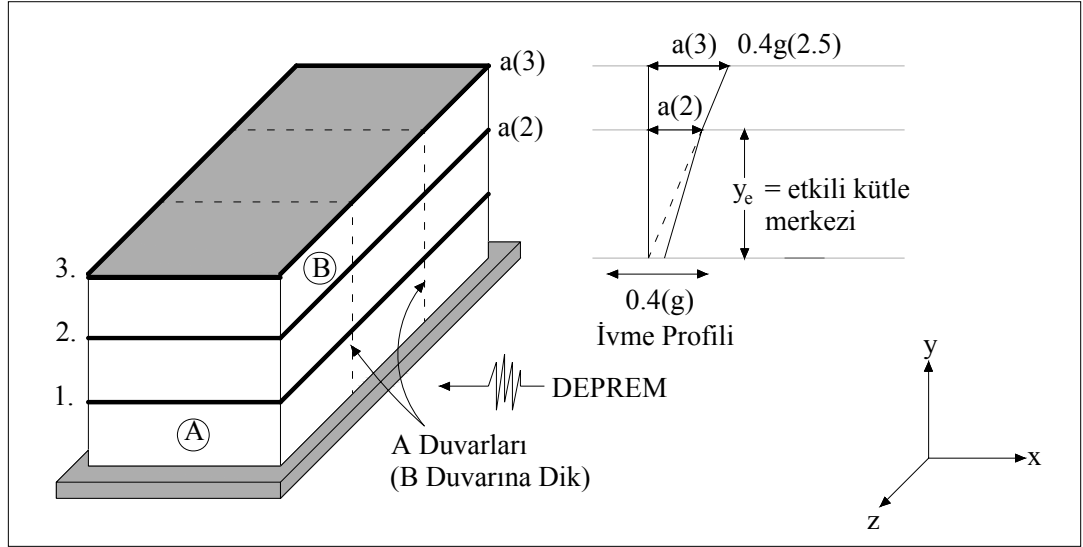


Şekil 1.6 Düzlem içi deprem zorlamaları ve etkileri

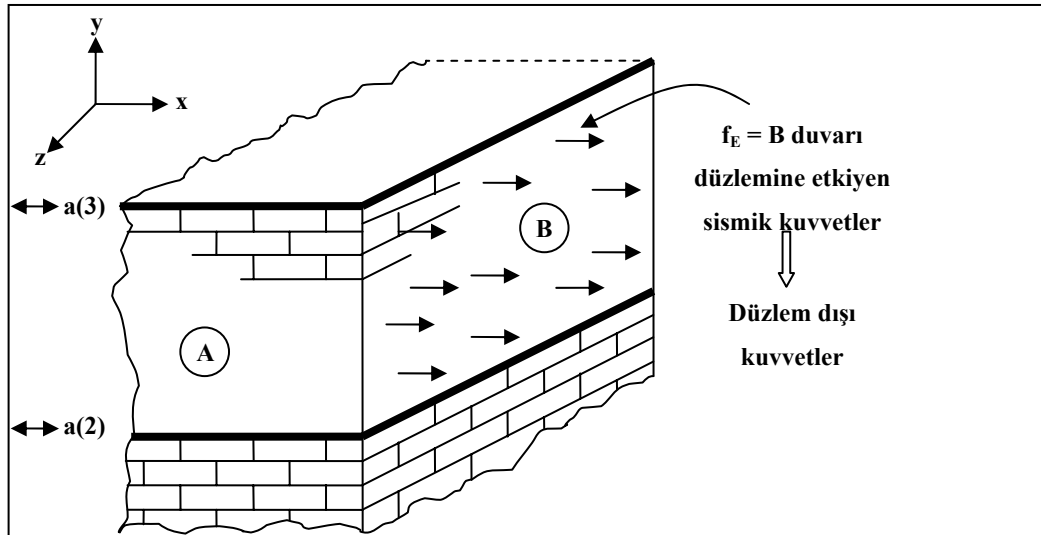
Bütün bunlarla beraber 3-boyutlu yığma binada, (Şekil 1.6), B duvarında da deprem etkileri oluşacaktır(Kanıt,2005).

Yapının doğal periyoduna bağlı olarak, depreme maruz yığma yapı ve buna bağlı olarak 1., 2. ve 3. kat döşemeleri x-yönünde ivmelere maruz kalacaklardır. Maksimum yer ivmesinin 1. derece deprem bölgesine tekabül eden 0.4(g) değerinde

olduğu düşünülürse, X-yönündeki deprem altında, 1. moduna bağlı olarak x-yönünde ötelenen yığma yapıda, 2. ve 3. kat döşemelerinin ivmeleri Şekil 1.7’de gösterilmiştir. 2. ve 3. katlar arasında yer alan B duvarı da düzlemine dik olarak, ivmelere, titreşimlere ve ötelenmelere maruz kalacaktır (Şekil 1.8).



Şekil 1.7 B duvarının mesnetlendiği 2. ve 3. kat döşemelerine tekabül eden ivmeler

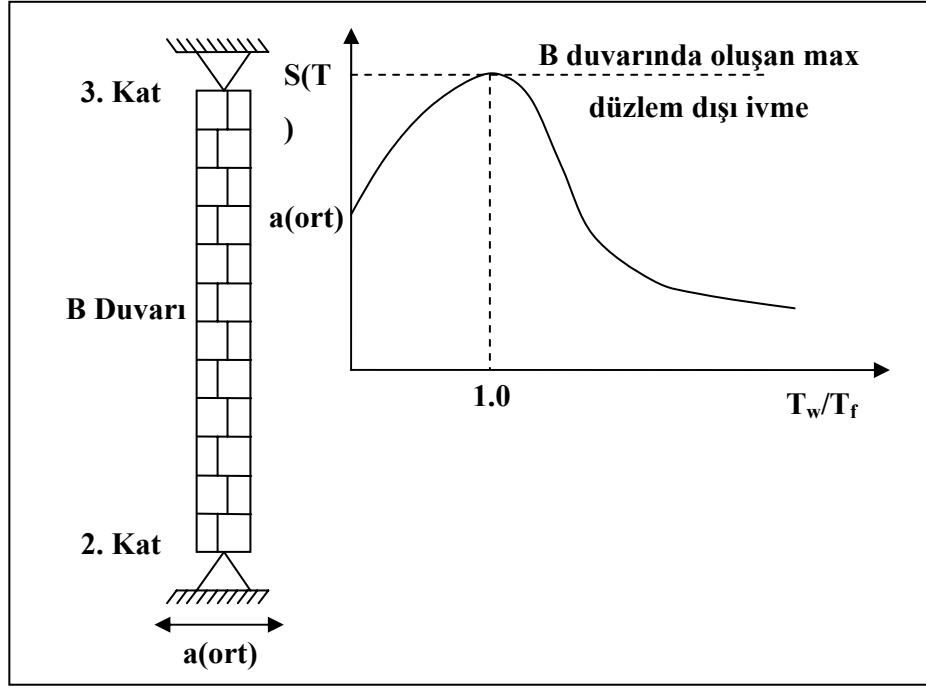


Şekil 1.8 X - yönünde deprem hareketi altında B duvarında düzlem dışı sismik kuvvetlerin oluşumu

B duvarının a(2) ve a(3) ivmelerinin ortalaması ile zorlandığı düşünülebilir.

$$a(ort) = [a(2) + a(1)] / 2 \quad (1.5)$$

2. ve 3. kat döşemelerinin doğal periyodu T_f , B duvarının düzlem dışı doğal periyodu ise T_w olsun. $a(ort)$ ivmesine maruz kalan B duvarı T_w/T_f oranına bağlı olarak $a(ort)$ ivmesini büyütecektir, (Şekil 1.9).



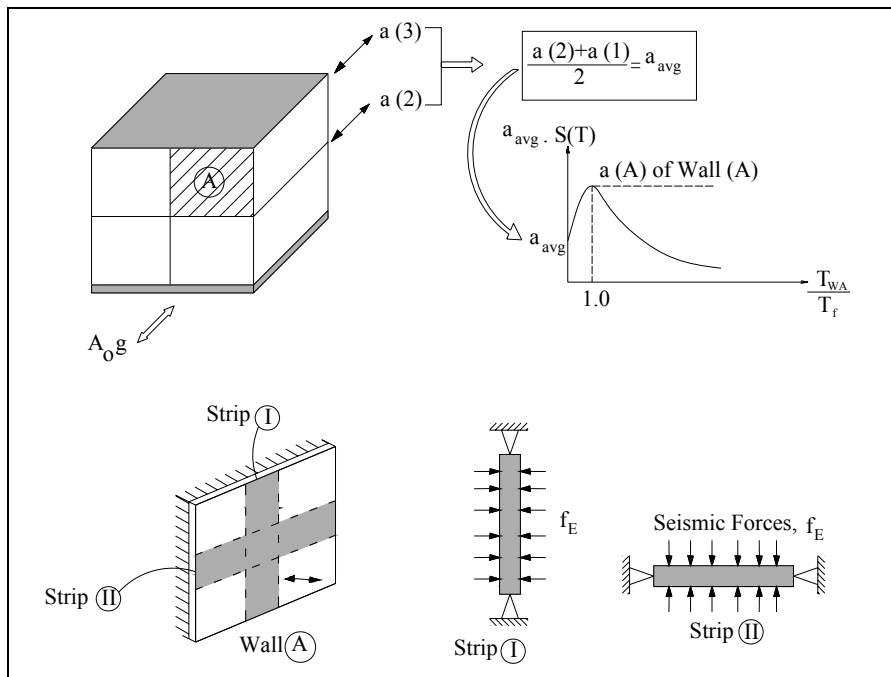
Şekil 1.9 B duvarında oluşan düzlem dışı ivme

Tabandan alınan ivmenin, yapının doğal periyoduna bağlı olarak büyümesi, Tepki Spektrumu kavramını oluşturan gerçek olarak karşımıza çıkar. Türk Deprem Yönetmeliği'nde (AY-97) bu büyüme $S(T) = 2.5$ olarak kabul edilmektedir.

Cevaplanması gereken soru: $a(ort)$ ivmesine maruz B duvarında, döşemenin doğal periyodu T_f ile B duvarının düzlem dışı doğal periyodu T_w arasındaki oran T_w/T_f , ne büyüklükte bir enerji alışverişine yol açmaktadır. Döşemenin sonsuz rijit olmadığı kabul edilmiştir. Yığma binalarda kullanılan ince döşemenin sonsuz rijit davranmayacağı yaygın olarak kabul görmektedir(Şekil 1.10).

Bu, cevap verilmesi çok kolay bir soru değildir. Cevabın çok karmaşık ve non-linear analizleri gerektirdiği açıktır. Bazı analiz ve deneylerden sonra, Paulay (1992), bu büyümenin ortalama 2.0 olarak alınabileceğini önermektedir.

Bu durumda 0.4(g) maksimum yer ivmesine maruz bir yığma yapıda, 2. ve 3. kat arasında yer alan B duvarında, maksimum düzlem dışı ivme aşağıda gösterildiği gibi oluşur.



Şekil 1.10 T_w / T_f oranında etkililmiş A duvarının dinamik tepkisi

$$A_0(g) = 0.4$$

$$\text{Maksimum yer ivmesi : AY-97 : 6.4.1}$$

$$S(T) = 2.5$$

$$\text{Maksimum spektrum katsayısı : AY-97 : 10.2}$$

$$a(3) = 0.4(g)(2.5) = 1.0(g)$$

$$a(2) = 2/3 a(3) = 0.67g \quad (1.6)$$

$$a(\text{ort}) = [a(3) + a(2)] / 2 = 0.835(g)$$

$$a(B) = 2 \times 0.835(g) = 1.67(g) \quad B \text{ duvarının düzlem dışı ivmesi}$$

Formül (1.6) dan görüldüğü gibi B duvarı 1.67(g)'lik düzlem dışı bir ivmeye maruz kalmaktadır. Bu gerçekten çok büyük bir ivme düzeyidir.

Yığma yapılar rijit olmalarının yanında gevrek niteliktedirler. Kırılma ve çatlama olduktan sonra yığma yapılar taşıma güçlerini hızla yitirirler. Betonarme binalarda ise çatlama ve kırılmadan sonra taşıma gücü kaybı yavaş bir biçimde azalır, süneklik aniden oluşmaz. Yapı çatladıktan sonra bir süre eski yük taşıma gücünü korur(Kanıt,R,2005).

Yapıların sönüm oranı, yapının dıştan gelen dinamik etkiyi giderek harcaması olarak nitelenebilir. Sönüm oranı; periyot ve yapı elemanlarındaki gerilme düzeyi gibi faktörlere bağlıdır. Genellikle kısa periyotlu yapıların sönüm oranı küçüktür (%2-5 gibi). Depremde hasar gören bir yapı çatladığında çatlak yüzeyler arasındaki sürtünmeden dolayı yapının sönüm oranı artar ve yüksek bir düzeye ulaşır (%5-10 gibi). Yığma yapılar hem kısa periyotlu hem de düşük sönümlü olmalarından dolayı depremde yüksek yatay kuvvetlere maruz kalırlar ve hasar gördükleri vakit hem periyotlarında hem de sönüm oranlarında artış olur. Bu yüzden yapıya gelen deprem kuvvetlerinin azalması söz konusu olur ancak bu önemli mertebeye ulaşmaz.

Harman tuğlasından örülmüş bir duvarı ele alalım. Bu duvarı oluşturan tüm elemanların, yani tuğla ve bağlayıcı harcın mekanik özellikleri duvarın genel mekanik özelliklerini etkileyecektir. Genelde kırsal yörelerde insanların evlerini inşa ettikleri tuğlalar fabrikalarda belirli standartlarda değil, yerel ocaklarda üretilmektedir. Bu nedenle tuğlalar için uygun standardı yakalamak her zaman mümkün olmamaktadır. Kullanılan harç da değişkenlik göstermektedir. Harcı oluşturan bileşenlerin oranı tamamen ustanın/kalfanın deneyimine kalmıştır. Öte yandan kırsal yörelerde insanlar evlerini inşa ederken harç yerine çamur kullanmaktadır. Kil bazlı olan çamur, zamanla parça parça dökülmemekte ve bağlayıcı özelliğini yitirmektedir. Duvarı ören şahsın duvar örgü tekniklerini iyi bilmesi gerekmektedir. Bina köşelerindeki örgü hataları yüzünden deprem sırasında bazı yığma yapılarda ağır hasar meydana gelebilmektedir.

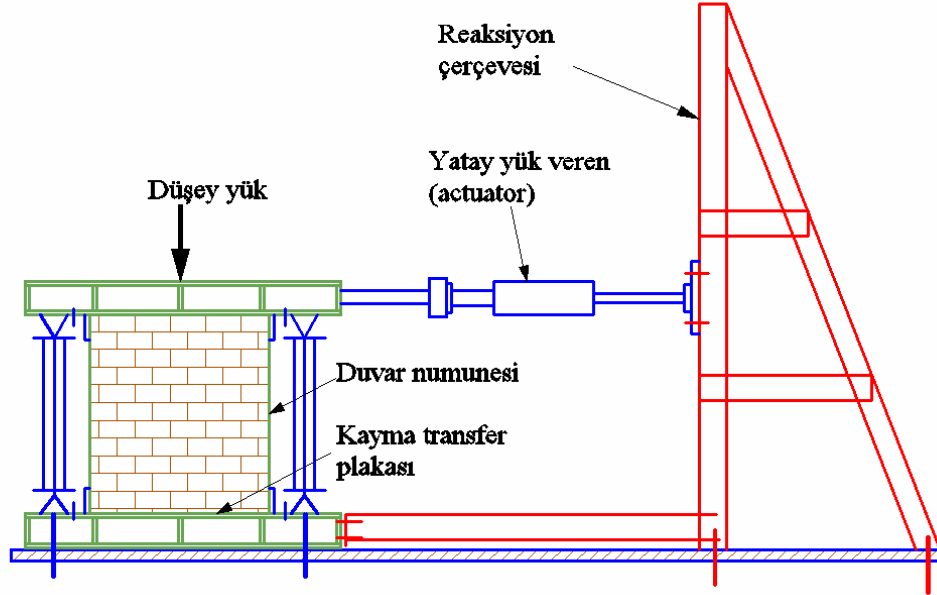
Mevcut bir yığma yapı için, bir köşesinden numune alıp o numune üzerinde deneyler yaparak o yapı hakkında bir sonuca varmak doğru bir yaklaşım olmaz. Her şeyden önce bir standardizasyon söz konusu olmayabilir. Kargir duvarların kesme kuvveti etkisinde davranışını tespit edebilmek için çeşitli testler yapılmaktadır. Bu testleri iki tip altında toplayabiliriz:

I. Yarı statik test (quaso static test)

II. Pseudo dinamik test

1.3.2. Yarı statik test

Yarı statik testte, sabit düşey yük altındaki bir numuneye büyüklüğü artarak değişen yatay deplasmanlar uygulanır. Her deplasman numuneye basınç ve çekme olmak üzere iki yönde uygulanır. Her adımda iki yükleme deplasman eğrisi elde edilir. Bu yükleme şekli duvar numunesinde belirgin bir dayanım azalması oluşana kadar devam eder (Şekil 1.11). Bu aşamadan sonra yükleme sayısı her adım için 3'e çıkarılır. Yatay yükleme bilgisayar kontrollü bir hidrolik sistem ile yapıldığından, yüklemenin her aşamasında uygulanan deplasmanlara karşı gelen farklı yük değerleri kolayca gözlenebilir. Ayrıca deplasmanların her yükleme adımında ölçülmesi ve kontrolünü sağlamak için duvar numunesi deplasman ölçerler ile donatılır. Bu sayede deneyin seyri esnasında uygulanan yükün istenilen koşullarda uygulanıp uygulanmadığı ve yapısal davranışın belirlenmesinde yardımcı olacak belli noktaların deplasmanlarının tespiti yapılır(Hamouish,2002).



Şekil 1.11 Tipik bir yarı statik test mekanizması

1.3.3. Pseudo dinamik test

Pseudo dinamik test, kısa duvar numunelerine de uygulanabilir. Deney numunesi için düşey yükün değeri, zemin ivmesi ve yükleme kütlelerinin duruş şekli belirlenir. Bu koşullara bağlı olarak sallanan masa deneyi oluşturulur. Sabit düşey yük öngerme kabloları yardımıyla numuneye uygulanır. Duvarın üst kısmı, sadece yatay hareket sağlanan bir kılavuz sisteme yerleştirilir. Yatay yük duvarın orta yüksekliğinde uygulanır. Kılavuz sistem sayesinde duvarın üst kısmının alt kısmına göre dairesel bir hareket yapması önlenir ve eğilme momentinin kuvvet çifti ile sağlanacağı koşulu sağlanmış olur. Artan yoğunlukta farklı temel ivmelerine karşılık gelen yatay yükler numune deforme olana kadar uygulanır((Hamoush,2002).

1.4. Yığma Yapıların Yatay ve Düşey Kuvvetler Altında Davranışı

1.4.1. Yatay ve düşey yük taşıyan yığma duvarlar

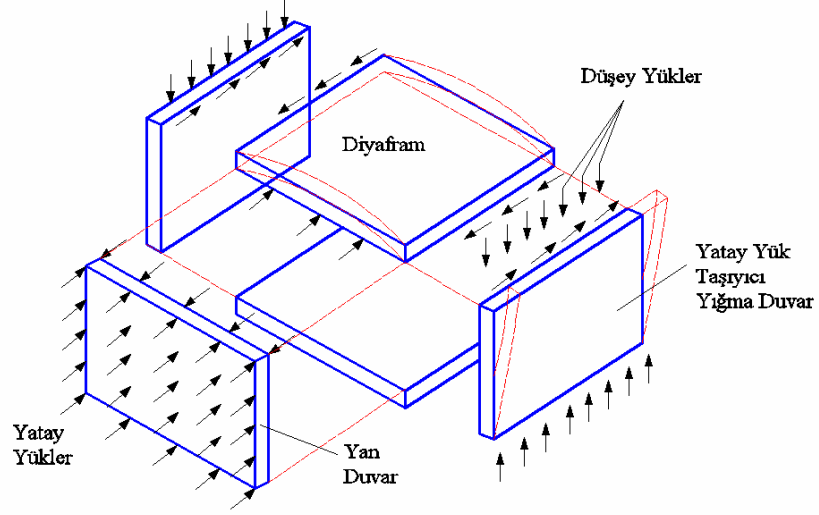
Yatay ve düşey yük taşıyan yığma duvarlar, deprem veya rüzgâr etkisiyle meydana gelen ve duvarlara, döşeme veya çatı gibi diyaframlar aracılığı ile iletilen, düzlem içi yatay yükleri taşır. Bunun yanı sıra, üst kattan ve çatı döşemesinden gelen eksenel yüklerin de etkisi altındadırlar.

Yatay ve düşey yük taşıyıcı duvarlar, donatılı veya donatısız olarak üretilirler. Tuğla gibi yığma yapı elemanları gevrek malzemelerdir ve çekme mukavemetleri çok düşüktür. Yapıya sadece düşey yükler etkidiği zaman bu özellik önemli bir dezavantaj oluşturmazsa da, duvarda büyük miktarda çekme gerilmeleri oluşturan yatay yükler etkin olduğunda, malzemenin bu karakteristik özelliği uygulamaya bazı kısıtlamalar getirir. Betonarme de olduğu gibi, yığma duvarlarda da donatı veya öngerilme elemanları kullanılarak bu dezavantajlar ortadan kaldırılabilir. Yığma duvarlarda donatı kullanılması, duvarın sünekliğini arttırdığı gibi göçme durumunda duvarın parçalanmasını önler ve hasarın miktarını azaltıcı etki yaratır. Donatı, duvardaki düşey ve/veya yatay boşluklara yerleştirilir ve daha sonra bu boşluklar beton veya harç ile doldurulur. Donatı konulup betonla doldurulmuş bu boşluklar, yığma duvarın içinde rijit bir betonarme çerçeve oluştururlar(Corradi,2003).

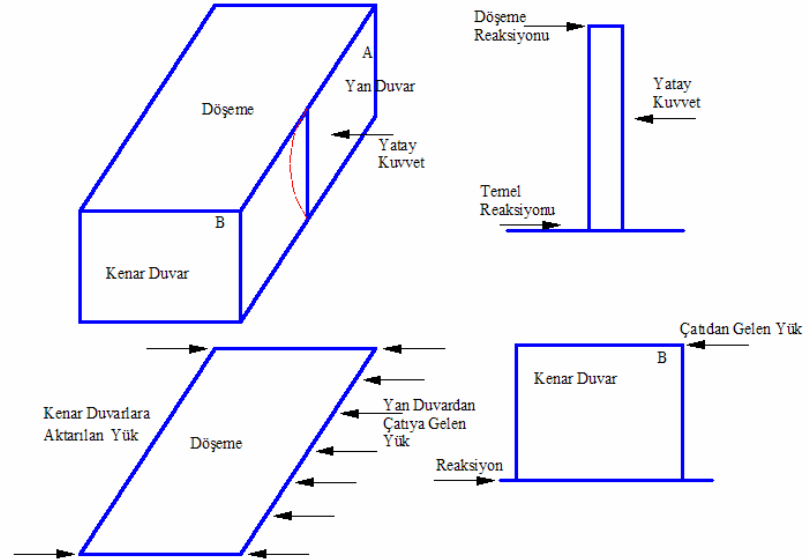
1.4.1.1. Yatay yükün duvarlara dağılımı

Yan duvara gelen yatay kuvvet altında duvarın kesiti, uçlarından çatıya ya da kat döşemesine ve zemine oturan bir kiriş gibi davranarak, üzerine gelen yükü bitişik döşemelere veya çatıya aktarır (Şekil 1.12). Diyafram olarak adlandırılan bu döşemeler yatay yükü, üzerlerine oturdukları kenar duvarlara düzlem içi kuvvet olacak şekilde iletirler. Bu yüklemeler altında kenar duvarlar yatay ve düşey yük

taşıyıcı yığma duvarlar olarak çalışır(Şekil 1.13). Bu durum çatı ve duvar arasında kuvvet aktarılmasını sağlayacak bir bağlantı olması halinde söz konusudur(Corradi,2003)



Şekil 1.12 Yatay yükün duvarlara dağılımı



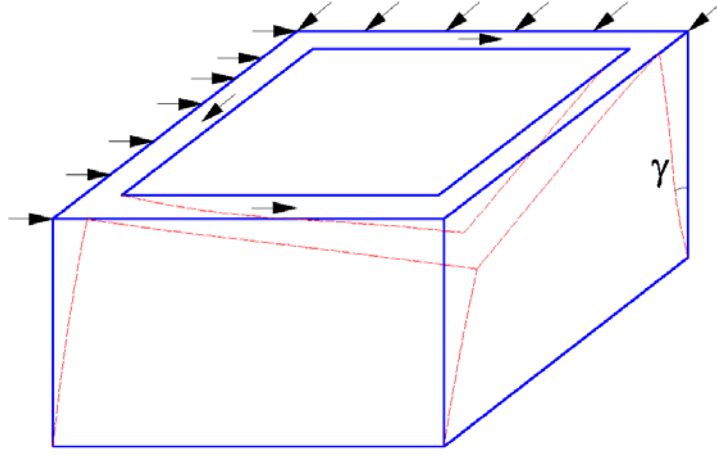
Şekil 1.13 Yığma yapılarda yatay kuvvetlerin dağılımı

Döşemeler tarafından her bir yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarına iletilen yatay yük miktarı üç etkene bağlıdır; bu etkenler diyaframların rijitliği ve duvarların plandaki yerleşimleri ve rölatif rijitlikleridir.

1.4.1.2. Yatay kuvvetler altında duvarlarda oluşan kırılma biçimleri

Çatıdan gelen deprem yükünün zemine aktarılması esnasında duvarda kesme gerilmeleri oluşur. Duvarın kesme dayanımı aşılsa, dolu duvarda 45 derecelik eğik çekme çatlakları meydana gelir. Duvardaki eksenel basıncın büyüklüğüne göre bu çatlakların açısı değişir. Büyük düşey basınç gerilmeleri varsa bu açı 45 dereceden daha büyük olur. Deprem iki yönlü hareket olduğundan diğer yönde de eğik çekme çatlakları oluşur. Eğik çekme çatlakları bir kere duvarı zayıflattıktan sonra duvar daha önce bir problem olmadan taşıyabildiği düşey yükleri de taşıyamamaktadır. Deprem sırasında düşey yüklerde % 20-30 kadar bir artış ve azalış olmaktadır. Bu deprem süresince devam eden dinamik yüklemenin bir özelliğidir. Böylece eğik çekme çatlaklarından sonra düşey basınç çatlakları da oluşmaktadır.

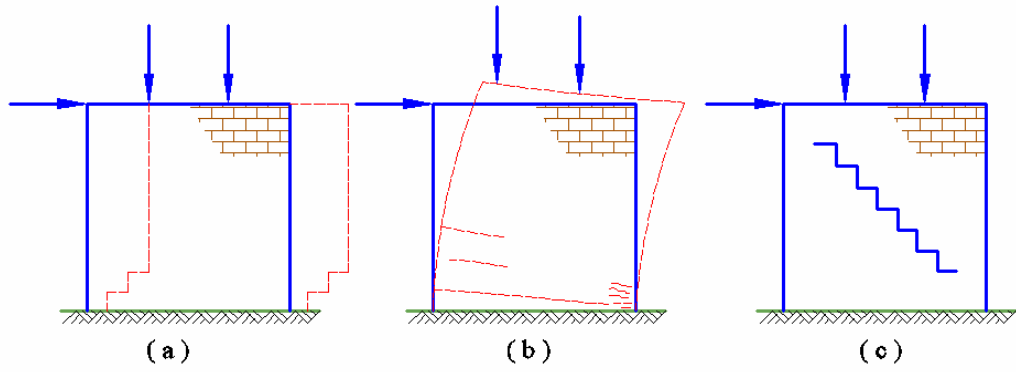
Yapılar her iki asal doğrultularında yatay kuvvetlerle aynı anda zorlandıklarından özellikle yapıların köşelerinde gerilme birikimleri ortaya çıkmaktadır (Şekil 1.14). Bu tip hasarı önlemek için yapıların köşelerine betonarme kolonlar yerleştirilebilir veya köşeler yuvarlatılabilir. Yığma yapı duvarları betonarme kat veya çatı döşemeleri ile bağlanmamışsa veya yeteri rijitliğe sahip olmayan döşeme ile bağlanmışsa hasarlar oluşabilir(Marzahn,1997).



Şekil 1.14 Yapı köşelerinin durumu

1.4.1.3. Yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarların göçme şekilleri

Yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarlarda göçme şekli üç farklı tipte olabilir. Şekil 1.15'te üç tip göçme şekli de görülmektedir.



Şekil 1.15 Yatay ve düşey yük taşıyıcı duvarlarda göçme şekilleri

1.4.1.3.1. Dönmeden yatay ötelenme göçmesi

Dönmeden yatay ötelenme göçmesi, duvarın tüm kısımlarının taban veya harç yüzeyi boyunca toptan yatay ötelenmesi ile olur. (Şekil 1.15a) Duvar bu göçme şekline, tabandaki ankrajların veya duvar içinde bulunan düşey donatının dübel etkisi yapması ile veya harç yüzeylerinde oluşan sürtünme kuvveti ile karşı koyar. Genellikle bu göçme şekli donatılı duvarlar için büyük bir tehlike olmamakla birlikte, donatısız yatay yük taşıyıcı duvarlarda ve buhar kesici, rutubet önleyici kullanılan duvarlarda, sürtünme kuvvetinin, dönmeden yatay ötelenme göçmesine engel olacak büyüklükte olup olmadığı kontrol edilmelidir(Demir,1992).

1.4.1.3.2. Eğilme göçmesi

Eğilme göçmesinde duvar düşey bir konsol gibi davranır. (Şekil 1.15b) Duvarın topuk bölgesindeki çekme donatılarının akması ya da uç bölgesindeki malzemenin ezilmesi bu tip göçme şeklinde duvarın taşıma kapasitesini belirleyen etkenlerdir. Duvarın içinde bulunan tüm düşey donatıların aktığı ve basınç bölgesinin, duvarın uç kısmında olacağı kabulü yapılarak, duvarın mukavemeti yeterli yaklaşıklıkta hesaplanabilir.

1.4.1.3.3. Kayma göçmesi

Yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarların kayma göçme şeklini anlayabilmek için öncelikle bu duvarların kayma ve basınç kuvvetleri etkisindeki davranışlarını incelemek gerekir.

Yığma duvarların kayma kuvvetlerine dayanımı, yığma yapı elemanı ve harç arasındaki bağ kuvvetlerine bağlıdır. Yığma yapı elemanı ve harç arasındaki aderansın mekanizması tamamen anlaşılamamış olmasına rağmen, aderansı

etkileyen, harç dayanımı gibi, birçok faktörün bulunduğu bilinmektedir. Bu faktörlerin içinde en önemlilerinden biri, yığma duvar elemanının su emme kapasitesidir. Yüksek su emme kapasitesine sahip yığma duvar elemanları, harcın içindeki suyu kapiler olarak çekeceğinden, harçtaki çimentonun prizini alabilmesi için yeterli miktarda su bulunmayacak ve yığma yapı elemanı ve harcı arasında birkaç milimetrelik kötü dayanımlı tabaka oluşacaktır. Bu tabaka yığma yapı elemanı ve derz arasındaki aderansın mukavemetini düşüreceğinden dolayı, yığma duvarın kayma dayanımını kötü yönde etkileyecektir. Çimento/kireç/kum harçlarının su tutma özelliği çimento/kum harçlarından daha yüksektir ve bu tür harçlardan yapılmış derzlerde bu etki daha az olmaktadır.

Yatay ve düşey yükler etkisi altında kalan yığma duvarlarda iki eksenli gerilme hali meydana gelir. Bu yükleme durumunda duvarlarda oluşan gerilmeler, genellikle, yatay ve düşey yüklerin duvar kesit alanına bölünerek hesaplanan, sırasıyla, ortalama kayma gerilmesi ve ortalama normal gerilme cinsinden ifade edilir. Duvarın kayma dayanımı Coulomb formülü kullanılarak hesaplanabilir.

$$T = T_0 + U \cdot G_0 \quad (1.7)$$

Yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarın taşıdığı kayma kuvveti,

$$T = \sigma \cdot A \quad (1.8)$$

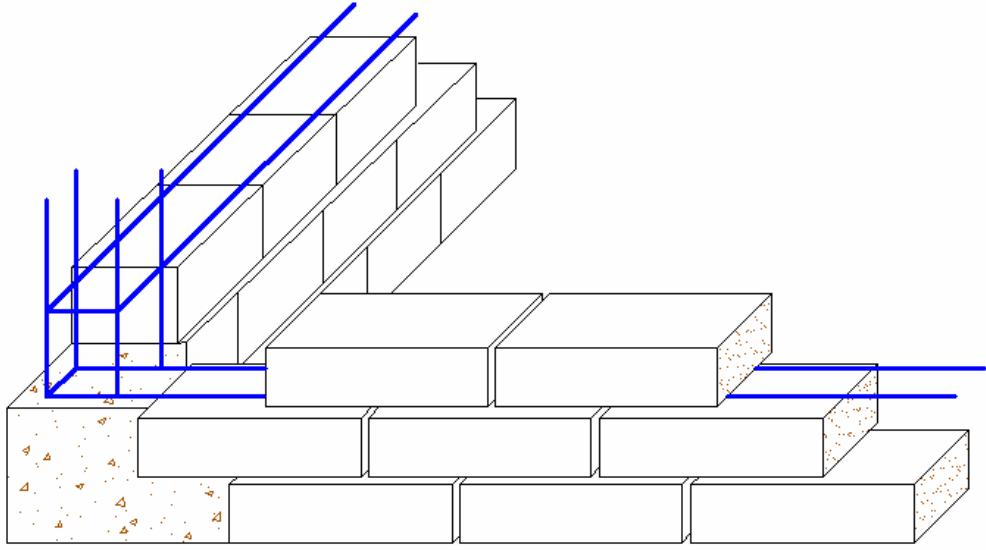
denklemleri ile hesaplanabilir. A, duvarın kesit alanıdır.

Yığma duvara etki eden düşey ve yatay yükler altında oluşan gerilmeler, duvar üzerinde kayma dayanımını aştığı zaman, duvar eksenini boyunca birbirini izleyen düşey ve yatay derzler boyunca oluşan diyagonal çatlaklarla duvar göçer. (Şekil 1.15c) Donatısız yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarların kayma mukavemeti, denklem (1.7)'de de görüldüğü gibi, sürtünmeyi artırıcı etkisi olan düşey eksenel yüke (G_0) önemli ölçüde bağlıdır. Başlıklı yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarlarda, duvarın kayma mukavemeti hesaplanırken, başlıkların alanı ihmal edilir(Stierwalt,2004).

1.4.1.4. Donatılı yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarlar

Yığma yapı elemanlarının demir ile birlikte kullanılması 1770'lere kadar gitmektedir. Bilinen ilk donatılı yığma yapılardan biri 1825'te yapılmış olan, Thames Nehri'nin altından geçen Blackwall Tüneli'dir. Modern anlamdaki donatılı yığma yapıların kullanımı ise bundan yaklaşık bir yüzyıl sonraya rastlar. Donatı kullanımının gevrek karakterdeki yığma yapıya bir miktar süneklik kazandırması, sismik olarak aktif bölgelerde donatılı yığma yapıların inşaa edilebilmesine olanak vermiş ve yığma yapı elemanlarının diğer yapı elemanlarına göre nispeten ucuz olması da donatılı yığma yapıları cazip kılmıştır. Böylece bu yapı türü, 1940'lardan itibaren Amerika Birleşik Devletleri, Yeni Zellanda ve Japonya gibi ülkelerde tercih edilmeye başlanmıştır ve yapısal davranışının daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla araştırmalar başlatılmış, çeşitli deney teknikleri geliştirilmiştir(Emeritus,2001).

Yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarlarda donatı kullanılması birçok avantaj sağlar. Daha önce de açıklandığı gibi, gevrek malzeme olan yığma yapı elemanlarının çekme mukavemetleri çok düşüktür ve bu özellik büyük miktarda çekme gerilmeleri oluşturan yatay yükler etkin olduğu hallerde uygulamaya kısıtlamalar getirir. Yığma duvarlarda donatı kullanılması, duvarın sünekliğini arttırdığı gibi göçme durumunda duvarın parçalanmasını önler, hasarın miktarını azaltıcı etki yaratır ve kayma göçmesini, dübel etkisi yaparak, engeller, fakat duvarın kayma taşıma kapasitesini önemli ölçüde etkilemez (Şekil 1.16).



Şekil 1.16 Basit donatılı yığma bina

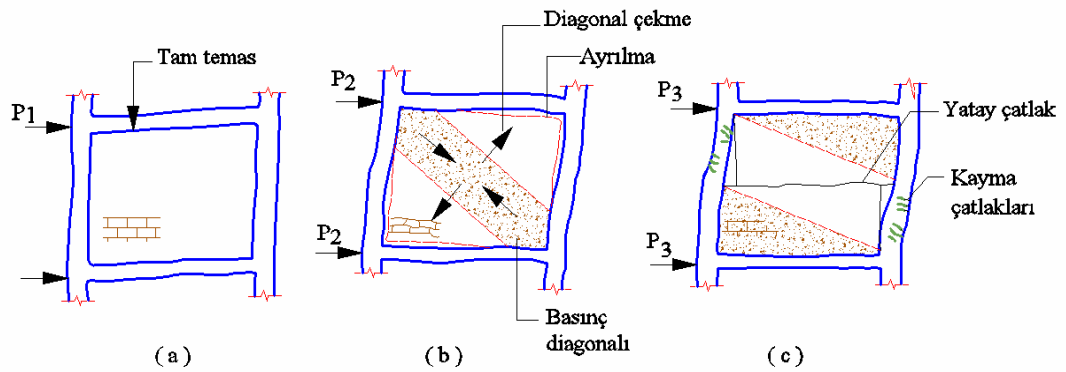
Donatılı yatay ve düşey yük taşıyıcı yığma duvarların kayma dayanımlarını etkileyen faktörler, duvarın yüksekliğinin enine oranı (h/l), donatının miktarı ve dağılımı ve yığma yapı elemanının malzeme özellikleridir. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, duvarın kayma dayanımı, duvarın yükseklik/en (h/l) oranındaki düşüş, düşey eksenel yükteki artış ve duvarın boşluklu blok tuğladan örülmüş olması halinde donatı yerleştirilmemiş boşlukların da harç veya beton ile doldurulması ile artmaktadır. Duvar yüksekliği boyunca düzenli yerleştirilmiş yatay donatılar, yatay yükler altında duvarda diyagonal çatlaklar oluşmasıyla çekme gerilmelerine maruz kalırlar ve böylece duvardaki kayma gerilmelerinin karşılanmasında önemli rol oynarlar. Düşey donatılar ise bu etkileri dübel davranışı ile karşılarlar.

1.4.1.5. Yığma dolgu duvarlar

Taşıyıcı sistemi betonarme veya çelik çerçevelerden oluşan birçok sistemde, bu çerçevelerin içine yığma dolgu duvarlar örülür. Yığma dolgu duvarlar, sistemin rijitliğini önemli ölçüde arttırmasına rağmen, taşıyıcı sistemin yatay yükler altında çözümü esnasında, sistemin kompozit davranışının tam olarak anlaşılamamış olması, yığma duvar ve çerçevenin birleşiminin iyi teşkil edilmemiş olma ihtimali ve yapının

kullanımı süresince bu duvarların kaldırılabilceği gibi sebeplerden dolayı, çoğu kez bu etki ihmal edilir. Daha önce de değinildiği gibi, birçok araştırmacı çerçevenin ve yığma dolgu duvarın beraber çalışmasını dikkate alan bir hesap yöntemi geliştirilmesi için çalışmalar yapmaktadır.

Birbirine tam olarak bağlı üretilmiş çerçeve ve yığma dolgu duvarlara yatay yük ilk etkidiğinde, dolgu duvar ve çerçeve arayüzünde tam temas vardır, dolgu duvar ve çerçeve kompozit bir davranış gösterir ve beraber şekil değiştirirler. Sistem, çıplak çerçeveye nazaran daha rijittir ve ilk çatlakların oluşması daha büyük yatay yükler altında olur. Bu aşamanın süresi, çerçeve ve yığma dolgu duvar arasındaki bağlantının kalitesine bağlıdır ve çerçeve ile yığma dolgu duvarı ara yüzeyinde çatlakların oluşmasıyla son bulur. (Şekil 1.17a)



Şekil 1.17 Yığma dolgu duvarların ve çerçevelerin yatay yük altında davranışları

Yatay yük arttıkça şekil değiştirmeler artar ve yığma duvara basınç kuvvetlerinin aktarıldığı iki köşenin civarı dışındaki çerçeve-duvar ara yüzeylerinde ayrılmalar başlar. (Şekil 1.17b) Bu aşamada, yığma dolgu duvar, çerçevenin içerisinde bir basınç diyagonalı gibi davranır. Oluşan basınç diyagonalinin efektif genişliği, çerçevenin ve dolgu duvarının rölatif rijitliklerine, dolgu duvarının yüksekliğinin enine oranına (h/l) ve yığma dolgu malzemesinin gerilme-şekil değiştirme özelliklerine bağlıdır. Yığma dolgu duvarında birbirini izleyen yatay ve düşey derzler boyunca diyagonal çatlaklar oluşmaya başlamasıyla rijitlik azalır.

Yatay yük artmaya devam ettikçe, dolgu duvarda ilk çatlaklara paralel yeni diyagonal çatlaklar oluşur ve bu durum yığma dolgu duvarın kayma kuvvetleri altında ve kolonların eğilme etkisinde göçmesine kadar sürer. Yatay yük etkisindeki yığma dolgu duvarlar, bu göçme şeklinden farklı olarak iki göçme şekliyle daha taşıma güçlerini kaybedebilirler. Bunlardan biri, dolgu duvarının bir derz yüzeyi boyunca dönmeden yatay ötelenmesi ile ortaya çıkar. (Şekil 1.17c) Bu yatay çatlak, dolgu duvarı iki parçaya böler ve efektif kolon yükseklikleri, yaklaşık olarak yarı değere düşer. Kolonların kayma ve eğilme kapasiteleri, göçme şeklini belirleyici etken olacaktır. Üçüncü göçme şekli ise basınç diyagonalinin uçlarındaki lokal ezilmeler ile oluşur. Deprem yükleri altında yatay yükler iki farklı yönden de etkileyebileceğinden, yığma dolgu duvarının çerçeveye ankrajlanması, kompozit davranışın sağlanması açısından iyi bir çözüm olabilmektedir. Yığma dolgu duvarın rijitliğinin, dayanımının ve şekil değiştirebilme özelliğinin iyileştirilmesi için duvar, yatay ve düşey donatılar yerleştirilerek, donatılı üretilebilir(Marfia,2001).

1.5. Yığma Yapılarda Hasar Biçimleri

Yığma yapıları meydana getiren hemen bütün duvarlar taşıyıcı olarak görev görürler. Yığma yapı duvarları daha önce de anlatıldığı üzere gevrek yapıdadırlar. Bunun yanında basınç ve çekme dayanımı düşük bir malzemedir, yani kırılmadan önce dayanabileceği elastik gerilmeler ve taşıyabileceği yük küçük mertebelerdedir. Bu yüzden temeldeki küçük oynamalardan ve az miktardaki deplasmanlardan bile etkilenirler ve bu oturma veya deplasman duvarın çatlamasından hemen anlaşılabilir.

1.5.1. Oturma çatlakları ve hasarı

Yığma yapılarda oturmalarından kaynaklanan çeşitli çatlaklar oluşabilmektedir. Oturmanın meydana geldiği bölge veya oturma miktarına bağlı olarak üst yapıdaki çatlak biçimi ve çatlak genişliği kendini gösterir. Oturma köşelerde meydana geliyorsa yapıdaki çatlak genişliği yukarılara doğru genişlemektedir. Şayet oturma

köşelere nazaran orta bölgelerde kendini gösterirse çatlak genişliği yukarıya doğru azalma gösterir. Buna bağlı olarak çatlaklar şayet oturmadan dolayı oluşuyorsa çatlağın meydana geldiği yer ve çatlağın biçimine bağlı olarak hangi bölgede oturma veya çökme meydana geldiği kolayca anlaşılabilmektedir.

Farklı oturmaların dışında temelde yapılan kademelerde üst yapıda çatlamlara neden olabilir. Farklı derinlik ve farklı kotlara oturan temellerde zeminin farklı sıkışması sonucu üst yapıda çatlaklar meydana gelebilecektir. Temel derinliği az ise temel altındaki zemin gevşek olur ve zamanla oturmalar derin zemine göre daha fazla meydana gelir. Bunun yanında, derin temellerin altındaki zemin tabakası daha sıkı olacağından zaman içerisinde daha az sıkışma yapacaktır. Bu yüzden farklı derinliklere oturan veya kademeli olarak yapılan temeller farklı oturmalar yapacaktır ve üst yapıda çatlaklar meydana getirmenin yanında temelde de bazı hasarlar ve ezilmeler meydana gelebilecektir(Ehsani,1997).

Yığma yapılarda hasara neden olan farklı oturmaların çeşitli nedenleri olabilir. Farklı oturmalar doğal olarak temel altındaki zeminin davranışından meydana gelmektedir. Yığma yapının bütün duvarları taşıyıcı olduğu için ve bütün duvarın altına temel sömeli yapıldığı için duvarlardaki gerilmeler az miktarda meydana gelmektedir. Bunun yanında duvar boyutu ile temel sömeli boyutu arasındaki fark da göz önüne alındığı vakit temel altındaki zemine aktarılan yükün çok fazla olmadığı ve gerilmelerin oldukça düşük seviyelerde olduğu görülür. Bu değerlendirmenin ardından şayet temel çok sık yapılmamış ise yapının kendi ağırlığından dolayı zeminin oturma yapmayacağı veya bu ihtimalin az olduğu anlaşılır. Öyle ise oturma nedenlerini temel altındaki zeminde meydana gelen değişimlerde aramak gerekmektedir. Temel altındaki zemin killi zemin ise yapıdan veya kanalizasyondan kaynaklanan su kaçakları ya da zemin suyu temel altındaki killi zemini boşaltabilir. Bu durum da oturma hasarlarına yol açabilmektedir. Fazla miktardaki su ise killi zeminin kohezyonunu azaltmakta ve bu yüzden oturmalar oluşabilmektedir. Bunun yanında zemin plastisite indisi yüksek kilden meydana geliyor ise kil içindeki suyun basınçtan dolayı atılması çok uzun zaman alabilmektedir ve oturmalar uzun süre içerisinde meydana gelmektedir. Bütün bunların yanında zemini etkileyen su kesildiği vakit kildeki kurumadan ve büzülmeden dolayı oturmalar gözlenebilir.

Kurak zamanlarda oturma had safhaya ulaşmaktadır. Yağışlı zamanlarda ise su alan kil tekrar şişme eğilimi gösterir. Bu yüzden yapıdaki çatlaklar zaman içerisinde açılıp kapanma yapabilmektedir(Ehsani,1997).

1.5.2. Ağaçlardan kaynaklanan hasarlar

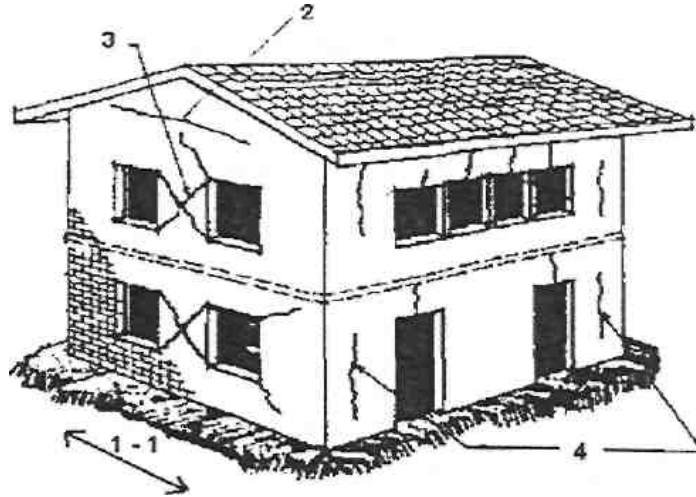
Bazı cins ağaçlar zeminden fazla miktarda su çekebilirler. Özellikle kurak mevsimlerde ağaç kökleri zeminden su çekerek zeminin sıkışmasına yol açabilirler. Bu sıkışma yapıda oturmaları neden olmaktadır. Özellikle zeminin sıkışma potansiyeli yüksek ise bu etkiler tehlikeli boyutlara ulaşabilmektedir.

Ağaçlar kesildiği vakit ise zemindeki su miktarı artacağından zeminde şişmeler meydana gelebilmektedir. Bu şişmeler temele basınç etkisinde bulunabilmektedir. Şişen zemin yukarıya doğru bir itkide bulunacaktır. Buna tepki olarak ise altta kalan şişmeyen zeminle temel duvarı arasında sürtünme etkileri meydana gelmektedir. Bu sürtünmenin azaltılabilmesi için temel duvarı ile zemin arasına kum yerleştirilebilir.

Burada kritik olan durum ağaç yüksekliği ile ağacın yapıya olan mesafesidir. Ağaç yüksekliği ne kadar fazla olur ise kökleri de o kadar geniş alana yayılacağı için daha geniş ve daha derin bir zemini etkiler. Eğer ağacın yapıya olan uzaklığı ağaç yüksekliğinden fazla ise bir tehlike yoktur. Ancak ağacın yapıya olan mesafesi yüksekliğinden az ve yüksekliğin yarısından fazla ise ağacın cinsine bağlı olarak derin temel gerekebilir. Ağaç ile yapı arasındaki mesafe ağaç yüksekliğinin yarısından daha az ise derin temel yapılması gerekmektedir. Eğer ağaç henüz genç ise ve büyümesi sürüyor ise temel hasarı beklenmelidir. Ağaçlardan dolayı temel hasarının önlenmesi için derin temel yapılarak şişme etkisinin altına inilmeli ve temel duvarı ile zemin arasına kum yerleştirilerek sürtünme azaltılmalıdır(Hendry,1990).

1.5.3. Deprem Hasarı

Yığma yapılar depreme karşı tepkilerini deprem kuvvetinin olduğu yöndeki paralel duvarlar sayesinde karşılarlar. Şöyle ki deprem kuvvetine dik yöndeki duvarlar temelden ve üst döşemeden mesnetli bir kiriş gibi davranarak kendisine gelen kuvvetin bir kısmını temele bir kısmını ise döşemeye aktarır. Üst döşeme ise bu duvarlardan gelen kuvvetleri ve kendi kuvvetini yandaki duvarlara yani depreme paralel yöndeki duvarlara aktarırlar. Döşeme yan duvarlara mesnetli kiriş gibi davranır. Depreme paralel yöndeki bu duvarlar ise döşemeden gelen kuvvetler ile temel reaksiyonu etkisi altında kesme kuvvetlerine maruz kalmaktadır. Bu yüzden dik duvarlarda eğik çekme çatlakları oluşmaktadır.

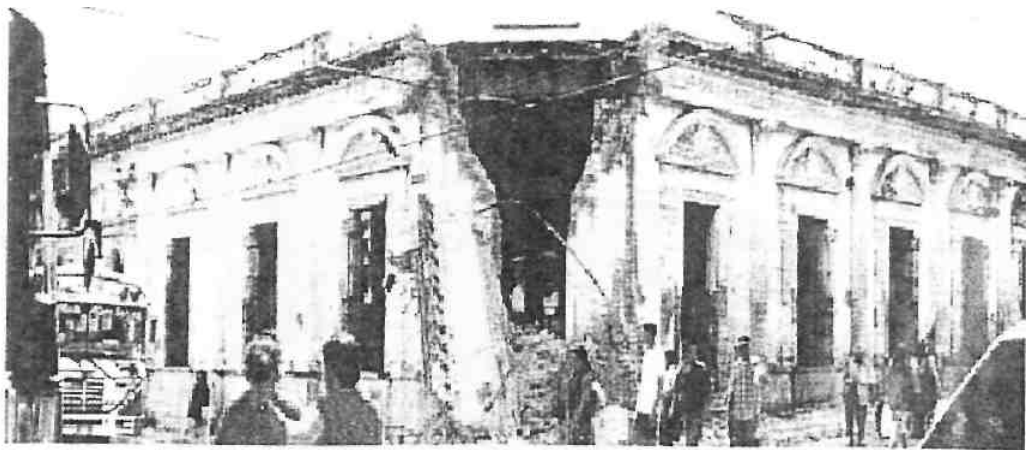


Şekil 1.18 Yatay yük altında yığma binada meydana gelen hasarlar

- 1- Deprem yönü
- 2- Kalkan duvarında yatay çatlak
- 3- Pencere boşlukları arasındaki dolu duvar parçasında diyagonal çatlaklar
- 4- Duvarda düşey çatlaklar

Eğik çekme çatlakları 45 derece eğimlerle oluşurlar. Ancak bu çatlakların eğimi ve yeri duvardaki boşluk miktarına ve boşluk yerine göre değişir. Bunun yanında duvardaki düşey gerilmeler çok fazla ise bu çatlak eğimleri 45 dereceden fazla meydana gelir. Yapı cephelerinde büyük boşluklar varsa kalan duvar parçalarında yüksek düşey gerilmeler meydana geleceğinden yine buralarda 45 dereceden büyük eğimli çatlaklar oluşur. Deprem kuvvetlerinin tersinir olmasından dolayı bu çatlaklara dik yönde de çatlaklar meydana gelerek X şekline haiz duvar çatlakları görülür(Şekil 1.18). Bir tuğla duvarda harç dayanımı tuğla dayanımından fazla ise eğik çekme çatlakları tuğla duvarı keserek meydana gelir. Tuğla dayanımı harç dayanımından fazla ise eğik çekme çatlakları derzlerden geçer(Juhasova,2002).

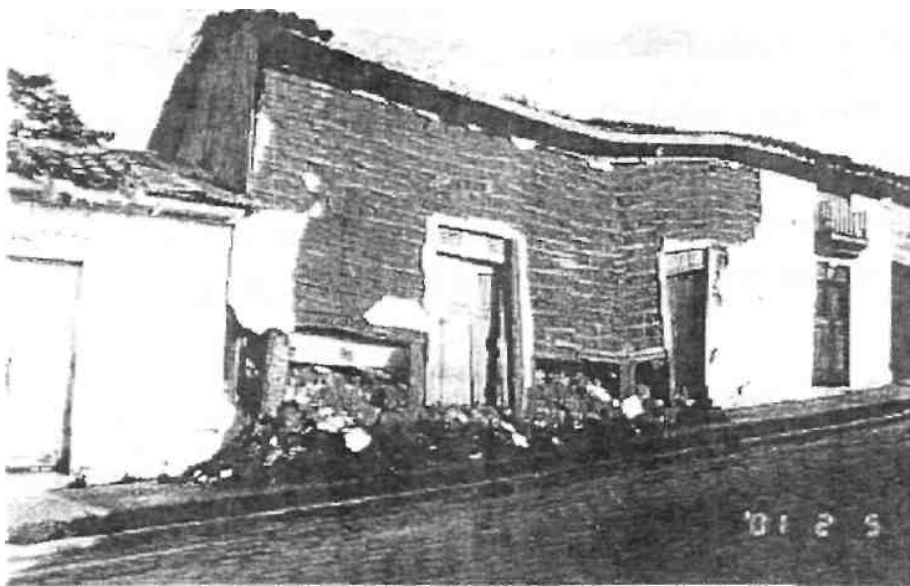
Deprem merkezine yakın yerlerde yatay yükün yanında düşey yüklerde önemli mertebelere ulaşabilir. İşte bu gibi yerlerde düşey kuvvetler büyük olacağından yığma yapılarda düşey boşluklar arasındaki bölümlerde kesme çatlakları oluşabilir. Deprem kuvvetine dik yöndeki duvarların döşeme ile temele mesnetli olarak çalıştığını kabul edersek, bu duvarlar üst taraflarından döşemeye yeteri kadar rijit olarak bağlanmamış ise veya duvarlar üst başlarından yeteri kadar rijit bir döşeme plağı, çatı makası veya hatıl ile birbirlerine bağlanmamış iseler kendi düzlemlerine dik yönde zarar görebilirler.



Şekil 1.19 Nueva San Salvador'da depremde hasar görmüş yığma tarihi yapı.

Bu durumda yukarıda anlatılan davranış geçerli değildir. Duvarlar üst başlarından yeterli biçimde bağlanmamış iseler bahçe duvarı gibi serbest durmaktadırlar. Cami, okul gibi yüksek duvarlı veya büyük hacimli alanları çeviren duvarlar mutlaka üst başlarından rijit bir plakla çevrelenmelidirler. Aynı durum çok yüksek duvarlar içinde geçerlidir. Bu gibi duvarlar kendilerine dik yönde gelen deprem kuvveti altında üst başlarından hasar görürler. Duvar üstleri göçebilir veya birbirlerinden ayrılabilirler (Şekil 1.19).

Yığma yapılarda meydana gelen bir diğer hasar biçimi de yapı köşelerinde meydana gelen hasarlardır. Bilindiği gibi deprem yapıya her iki asal ekseninde etki etmektedir. İki yönlü kuvvet oluşmasından ötürü yapı köşelerinde duvarlar birbirlerini düzlemleri dışına itmeye çalışırlar (Şekil 1.20). Köşede duvarlar birbirine iyi bağlanmamış ise ya da hatıl veya tavan döşemesi yoksa bu hasarlar oluşabilir. Yapı köşelerinde oluşan bu hasarlar duvarların köşede yeterli bir örgü düzeni ile bağlanmamış olması, yüksek ve uzun duvarların yetersiz rijitlikte bir çatı sistemi ile bağlanmış olması veya kesişen duvarlara depremde gelen büyük zorlamalar nedeni ile oluşabilir. Bu nedenlerden dolayı oluşan çatlaklar ileri aşamalarda bütün duvara yayılmakta ve duvar düşey yükleri de taşıyamaz hale gelmektedir(Begimgil,1991).



Şekil 1.20 San Salvador'da hasar görmüş yığma yapı

Yığma yapı duvarlarında düşey yüklerden dolayı oluşan çatlaklar düşey yönde meydana gelmekte ve duvar düzlemine dik yönde genişlemektedir. Tuğla ve taş yığma duvarlarda düşey basınçtan dolayı şişmeler meydana gelmektedir. Herhangi bir yapı cephesinde boşlukların çok büyük olması veya don nedeniyle basınç dayanımı azalmış tuğla duvarlarda ezilmeler meydana gelebilmektedir.

Temelleri sağlam ve yeterli boyutlarda olan, işçiliği iyi olan bir yığma yapıda çatlak genişliği 1 mm'yi geçemez. Şayet bir yığma yapıda çatlak genişliği 3 mm'yi geçerse bazı önlemlerin alınması gerekebilir.

1.5.3.1. Yığma yapılarda deprem hasar düzeyleri

Taş, tuğla, briket yığma yapıların hasar düzeyleri beş aşamalı bir ölçek ile belirlenebilir. İncelenen yapı betonarme plak kat ve çatı döşemeleri olan, duvarları taşıyıcı olan yığma yapıdır. Bir diğer deyişle kutu davranışı gösterecek olan yığma yapıdır (Bayülke, 1999).

1.5.3.1.1. Hasarsız veya az hasarlı yapılar

Bu hasar düzeyinde ya hiç hasar olmamıştır ya da kılcal düzeyde (1 mm' den daha ince) çatlaklar vardır. Bu çatlaklar sıva çatlakları şeklinde olup daha derine inemezler, yüzeylerde sınırlı kalırlar. Bu aşamadaki bir yapıya herhangi bir şekilde onarım veya güçlendirme gerekmez(Ersoy,1999).

1.5.3.1.2. Az hasarlı yapılar

Bu hasar düzeyinde, yığma yapılarda genellikle görülen X şeklindeki çatlaklar görülür. Çatlak genişliği genel olarak 1.0 ile 10.0 mm arasında değişebilir ve büyük ihtimal ile çatlak duvara kadar uzanmaktadır. Duvardaki kesme gerilmesi taşıma

limitine kadar ulaşmıştır. Duvarın elastik eğri altında taşıyabileceği kesme kuvveti az miktarda aşılmıştır.

1.5.3.1.3. Orta hasarlı yığma yapılar

Bu hasar biçiminde yine bir Önceki grupta olduğu gibi X şeklinde çatlaklar gözlemlenebilir. Çatlak genişliği daha fazla olacaktır, 10.0 - 25.0 mm gibi değerlere ulaşabilir. Duvarın taşıyabileceği maksimum kesme kuvveti değerlerinde önemli azalmalar gözlemlenir. Ancak duvar çok fazla deforme olmuş değildir. Duvar düzlemi dışına doğru şişme veya şakulden uzaklaşma gibi bir değişim yoktur. Bir önceki hasar düzeyine nazaran güçlendirme isteyen, ayrıntılar gerektiren düzeyde hasar biçimidir(Ersoy,1999).

1.5.3.1.4. Ağır hasarlı yığma yapılar

Bu düzeyde hasar görmüş bir yığma yapıda çatlaklar 25 mm' yi geçmektedir ve bunun yanında şu değişimler görülür; duvarlarda düşeyden uzaklaşma, köşelerde duvarın ayrışması, duvarlarda düşey yüklerden dolayı şişme ve kısmen yıkılmış duvarlar. Düşey yüklerden dolayı şişme yapmış bir duvar, kesme kuvvetlerinin, oluşturduğu çatlakların etkisi ile zayıflamış ve parçalanmış duvarların düşey yükleri de taşıyamaz duruma geldiğini gösterir. Böyle bir hasar düzeyinde yapının zemin katının şakulden uzaklaşma miktarı 1/50' den fazladır. Bu hasar sınıfına giren yığma yapılardan onarımı mümkün olanlar vardır. Özellikle duvarda yıkılma, şişme ve yataydan uzaklaşma olayının seyrek görüldüğü durumlarda onarım ve güçlendirmeye gidilebilir. Bunun yanında döşemede de yukarıda saydığımız duvarlarda yıkılma, şişme veya şakulden uzaklaşma gibi nedenlerle hasarlar meydana gelmemiş olmalıdır. Bu nedenlerden dolayı meydana gelebilecek aşın deformasyonlardan döşemelerde etkilenebilirler. Bu hasar düzeyine ulaşmış yapılarda onarım ve güçlendirme işlemi yapılırsa dahi bütün bunlardan sonra yapının kullanım biçimi değiştirilmelidir. Örneğin bu derece hasara uğramış bir okulun onarım ve

güçlendirme işleminden sonra konut olarak kullanılması daha uygun olacaktır(Hendry,2001).

1.5.3.1.5. Yıkılmış yığma yapılar

Bu gruptaki yığma yapıların taşıyıcı duvarlarının tamamı veya büyük bölümü yıkılmıştır. Döşemeler ise mesnetlendikleri duvarın yıkılması sonucunda birbiri üstüne yıkılmış veya önemli çatlaklar meydana gelmiştir.-Bu düzeyde hasar görmüş bir yığma yapının onarılması mümkün değildir.

1.5.4. Kırsal yapıların hasar biçimleri

Kırsal yapılar derken; duvarları moloz taştan yapılmış, harç olarak çamur kullanılmış ve çatı döşemesi olarak ise topraktan müteşekkil yapılar kastedilmektedir. Islak halde iken bir miktar yapıştırma özelliğine sahip olan çamurların kuruduktan sonra hiçbir yapıştırıcılık özelliği kalmaz. Çamurun kuruduktan sonraki büzülmesi ise taşlar arasındaki boşluğu artırmaktadır. Çatı kirişlerinin bastığı duvarlarda basınç daha fazla olduğundan bu duvarlarda sürtünme gücü daha fazla oluşur. Bu yüzden iç duvarların kesmeye karşı biraz daha dayanıklı olduğu söylenebilir. Kalın duvarların iç ve dış yüzlerine konulan birbirinden bağımsız taşlar zamanla kolayca duvardan ayrılmakta ve duvar yıkılmaktadır. Özellikle köşelerde duvar bağlantıları iyi olmadığından çatlaklar oluşmaktadır. Damı teşkil eden elemanlar ise tomruk (biçilmemiş kütük), yassı tahtalar, yapraklı dal veya çalı, taş ve tahta parçaları ile topraktır. Evvela tomruklar duvarlara oturtulmakta ve bunun üzerine kaplama olarak tahta serilmektedir. Bununda üzerine yapraklı dallar veya çalı örtülmekte en son olarak ta bol miktarda toprak ile sıkıştırılmaktadır.

Çatıdan su akmasını engellemek için her sene toprak dökülerek sıkıştırılmaktadır. Ortalarda oluşan sehimden dolayı su birikintisi meydana gelmekte bu yüzden ortalara daha fazla toprak dökülerek yuvak denilen ağır taşlarla sıkıştırılmaktadır. Bu sürekli olarak ağırlığının artmasına sebep olmaktadır. Böyle bir

damda toprak kalınlığı neredeyse 50 cm' ye ulaşmaktadır. Çatı ağırlığı ise 750-1000 kg/m² 'yi bulmaktadır. 12 cm kalınlığındaki betonarme döşeme ise 300 kg/m² civarında bir ağırlığa sahiptir(Marfia,2001).

Çatı kirişlerinin duvara oturduğu yerler böyle bir ağırlık için oldukça kısa kalmaktadır. Zamanla kirişler su ve nem nedeniyle çürümekte veya böcekler tarafından yenilmektedir. Bu sebeplerden zaman içinde çatı ile duvar bağlantısı oldukça zayıflamaktadır. Çok büyük mertebelere ulaşan dam ağırlığı ve kirişler oldukça zayıf hale düşmektedir. Bu yüzden dam ağırlığının kirişleri kenarlardan olduğu gibi keserek tümüyle yapı içine çöktüğü çokça görülmektedir (Şekil 1.21).



Şekil 1.21 Las Colinas'da deprem sırasında yıkılmış toprak damlı yığma yapı

1.6. Yığma Yapılarda Onarım Ve Güçlendirme

Genel olarak bir yapının hasarının giderilmesinde iki ana hedef olabilir. Bunlardan birincisi yapının veya elemanlarının hasardan önceki dayanımının yeniden kazandırılmasıdır. İkincisi ise yapının dayanımını hasarlı hale gelmeden önceki dayanımından daha ileri düzeye taşımaktır. Bunlardan birincisi onarım ikincisi ise güçlendirme olarak nitelendirilmektedir.

Onarım durumunda, yapının düşey veya yatay yük taşıma kapasitesi hasardan önceki hali ile eşdeğer hale getirilir. Böyle bir hasar durumunda yapı veya yapı elemanları taşıma gücünün azalması nedeniyle düşey yükleri taşımadaki emniyeti kalmamıştır. Yapının taşıma gücünün eskisinden daha dayanıklı bir hale getirilmesi aynı dayanım düzeyine getirilmesinden daha pahalıdır. Şayet yapının hasardan önce düşey yükleri taşımada bir sorunu yoksa ve bunun yanında yapıda hasar meydana getiren deprem sıklıkla (3-5 yıl gibi arayla) meydana gelmiyor ve yapının kalan ekonomik ömrü içerisinde aynı şiddette bir deprem meydana gelme olasılığı çok az ise yapı daha önceki dayanım düzeyine getirilebilir. Bu deprem 50 yılda bir meydana gelebilecek büyüklükte ise ve zaten yapı 3-5 yıl sonra tümüyle yıkılıp yeniden inşa edilecek ise bu yapının 50 yılda bir meydana gelebilecek depreme göre onarılmasının ekonomik açıdan bir anlamı yoktur(Guinea,2000).

Güçlendirme ise, yapının dayanım düzeyinin depremden önceki dayanım düzeyinden daha yüksek bir hale getirilmesidir. Yapıda hasar meydana getiren depremin sıklıkla karşılaşımla olasılığı yüksek ise yapı daha öncekine nazaran yüksek düzeyde bir dayanıma sahip olmalıdır. Böyle bir deprem altında yapının tekrar hasara uğrayıp onarılmasından ise yapı önceki dayanımından daha yüksek düzeyde bir dayanıma kavuşturulmalıdır. Normal yükler altında yapı aşırı sehim, deformasyon veya çatlama yapıyor ise bu yapının yükleri taşıırken zorlandığını gösterir. Böyle bir durumda bu etkiyi meydana getiren yük azaltılmalı veya yapı elemanının dayanım düzeyi artırılmalıdır ki bu güçlendirme anlamına gelmektedir.

1.6.1. Onarım ve güçlendirme ilkeleri

Hasarın nedenine bağlı olarak onarım ve güçlendirme ilkesi belirlenebilir. Bir yapının onarım veya güçlendirmesinde çeşitli amaçlar olabilmektedir, bu amaçlar; hasarın nedenlerini giderecek önlemlerin alınması, hasardan dolayı meydana gelen dayanım kayıplarının yeniden kazandırılması veya bir daha hasar meydana gelmemesi için gerekli güçlendirme işinin yapılması. Onarım ve güçlendirmede çeşitli amaçlara göre çeşitli ilkeler benimsenmesinin yanında hemen hepsinde kullanılan ortak önlemler vardır.

Bunlardan birincisi yapı ağırlığının azaltılmasıdır ki bu birkaç açıdan fayda sağlamaktadır. Şayet bir yapıda çatlama var ise bu üzerindeki yüklerden dolayı dayanım sınırına yaklaşmasından kaynaklanmaktadır. Yani eleman dayanımına göre üzerindeki yük gerektiğinden fazla demektir. Bu durumda yapı yükünün azaltılması faydalı olacaktır. Bunun yanında depremde yapıya gelen dinamik kuvvetler yapının ağırlığı ile artacağından yapı yükünün azaltılması depremde daha fazla kuvvete maruz kalmasını engelleyecektir. Yapıyı hafifletmek için çeşitli yollara başvurulabilir. Bunlardan ilk akla gelenleri tuğla bölme duvarların değiştirilerek yerine daha hafif gazbeton, alçı gibi malzemelerin kullanılması, yapı üst katlarının yıkılması, yapı içindeki kalın sıvaların veya taş duvarların kaldırılması, çatı yalıtımında daha hafif malzeme kullanılması veya merdivenlerin direkt olarak zemine oturtulması gibi bazı önlemlerdir. Yapının sünekliğinin artırılması önemli bir etkidir. Yapı ne kadar sünek olursa o derece enerji yutma kapasitesine sahip olmaktadır. Sünek olmanın yanında betonarme yapılarda kiriş kolon birleşimlerinde çatlamlar meydana gelerek mafsallı hale dönüşür ve deprem enerjisini tüketmeye çalışırlar. Tabii bununla beraber birleşim taşıma gücünü kaybetmemelidir. Yapıların onarım ve güçlendirilmesinde genellikle sistem daha rijit hale getirilmeye çalışılır, bu ise yapının süneklikten uzaklaşması anlamına gelir. Rijitliği yüksek elemanların sünekliği az olur (Bayülke, 1999). Donatı miktarının artması da yine sünekliğin azalması demektir. Onarım ve güçlendirme durumlarında yapının süneklik kazanıp kazanmadığını belirlemek kolay değildir. Genellikle onarım ve güçlendirme olayları sistemin sünekliğini azaltmaktadır.

Yapı asal titreşim periyodu ile zemin hâkim periyodu birbirine çok yakın ise oluşan rezonanstan dolayı yapı büyük hasarlar görebilir. Bu durumda yapının dinamik özelliklerinin değiştirilmesi sağlanarak oturduğu zemine uygun hale getirilmelidir. Tabii bunun için zeminin dinamik özelliklerinin bilinmesine ihtiyaç vardır. Bunlar bilindiği takdirde yapı daha esnek ya da daha rijit hale getirilerek yapı periyodunun zemin hâkim periyodundan uzaklaşması sağlanmalıdır. Ancak yığma yapılar ağır ve çok rijit olmalarından dolayı ve taşıyıcı sistemi olan duvarların rijitliği ile fazla oynanamamasından dolayı fazla şansa sahip değildirler. Yığma yapılar çok rijit yapılar olduğundan doğal titreşim periyotları oldukça kısadır ve bu özelliği

fazlaca değiştirilemez. Bu yüzden yığma yapıların yapımında zemin hâkim periyotunun daha uzun olduğu bölgeler seçilmelidir. Böylece periyotların birbirine yaklaşması ve yapının rezonansa girmesi engellenmiş olur(Celep,2001).

Yığma yapılarda taşıyıcı sitemi meydana getiren tuğla duvarlar gevrek bir yapıya sahiptirler. Yığma yapılar oldukça ağır ve rijit olduğundan depremde büyük yanal kuvvetlere maruz kalırlar. Bu dinamik kuvvet duvarlarda oldukça büyük kesme gerilmeleri meydana getirir. Bunun yanında yapı planındaki burulmadan dolayı ek olarak kayma gerilmelerinin gelmesi olabildiğince engellenmelidir. Planda taşıyıcı sistemi meydana getiren duvarlar olabildiğince yapıda burulma oluşturmayacak şekilde yerleştirilmelidirler.

Yapıda meydana gelen hasarlar mevcut yapının depremde gelen kuvvetlere karşı yetersiz dayanıma sahip olduğunu gösterir. Yani yapının taşıma gücünün yetersizliği kanıtlanmış olur. Bu yüzden özellikle yatay kuvvetlere karşı yapının taşıma gücünün artırılması gerekir. Zaten yetersiz olan taşıma gücü depremde meydana gelen hasar ile daha da yetersiz bir hale gelmiştir. Bu esnada düşey yükler hala devam etmektedirler ancak depremde meydana gelen hasardan dolayı yapı aynı zamanda düşey yüklere karşı taşıma güvenliğini de kaybetmiş olur. Özellikle kalıcı yatay ötelenmeden dolayı taşıyıcı duvarlarda ikinci mertebe etkiler önem kazanmaktadır. Yani yapı düşey yükleri daha öncekine nazaran çok daha küçük bir güvenlikle taşıyabilmektedir. Taşıma gücünün artırılması yapıya yatay ve düşey yükleri karşılamak üzere yeni elemanların eklenmesi veya mevcut elemanların en kesitlerinin büyütülmesi ile sağlanabilir.

Yapıların onarım ve güçlendirilmesinde önemli bir diğer nokta ise mevcut olanakların göz önüne alınmasıdır. Yapının bulunduğu yerdeki mevcut olanaklar ile yeterince dayanıma sahip bir yapı yapılamamış ise onarım ve güçlendirmede kullanılması gereken daha üst düzeyde bir işçilik ve malzemenin nasıl elde edilebileceği ciddi anlamda düşünlmeli ve karara bağlanmalıdır. Bunun yanında onarım ve güçlendirme projeleri istenilen amaca ulaşmayı sağlayacak şekilde en ince ayrıntılarına kadar ödün verilmeden kontrol edilmeli ve yaptırılmalıdır (Bayülke,1999).

1.6.1.1. Duvarların güçlendirilmesi

Güçlendirme çalışmaları sırasında dikkat edilmesi gereken başlıca hususlar:

- Yapının yatay ve düşey yüklere karşı dayanımının artırılması
- Yapının rijitlik ve kütle merkezlerini çakışması
- Yapının taşıyıcı sistem güvenliği ve performansının artırılmasıdır.

Günümüzde sıkça kullanılan güçlendirme metotları şu şekilde sıralanabilir.

- Çimento enjeksiyonu
- Betonarme mantolama (bantlama)
- Gergi demirleri ile güçlendirme
- Betonarme hatıllarla güçlendirme
- Ahşap dikme ve çaprazlarla güçlendirme

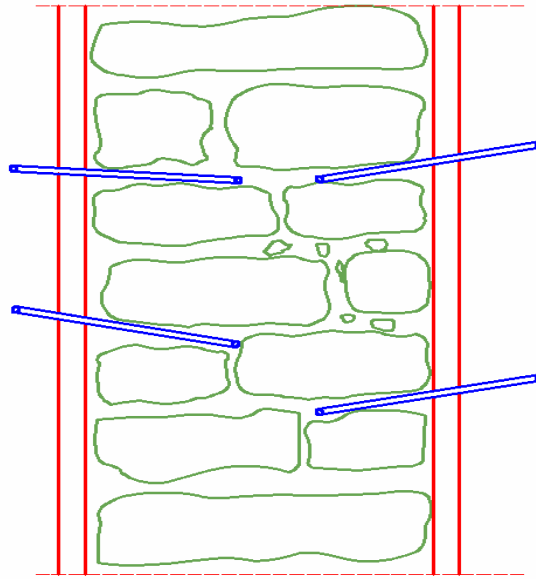
Bu yöntemlere ek. olarak günümüzde polimer grid (ızgara), epoksi bağlayıcılı FRP (fibrik olarak güçlendirilmiş polimer) plakalar, CFCM (Carbon Fiber Cement Matrix) sistem ile güçlendirme gibi yeni yöntemler üzerinde araştırmalar yapılmaktadır(Celep,2001).

1.6.1.2. Çimento enjeksiyonu

Çimento enjeksiyonu, moloz taş duvarlarda düşük basınç altında uygulanır. Bunun için duvarın içine kadar uzanan borular yerleştirilir. Duvarın iç ve dış yüzeyi 2 - 3 cm kalınlığında dış sıva ile kaplanır. Daha sonra alttaki deliklerden başlayarak düşük basınç altında çimento şerbeti enjeksiyonu yapılır. Herhangi bir borudan çimento pompalama, yandaki borulardan çimento şerbeti akmaya başlayıncaya kadar sürdürülür. Çimento şerbeti içirilmiş delikler kapatılır. Bu işlem her bir sıradaki delikler doluncaya kadar sürdürülür. Daha sonra aynı işlemler bir üst sıradaki enjeksiyon deliklerine uygulanır. Delikler arasında 30 – 40 cm kadar aralık olabilir.

Bu deliklerin duvardaki taş ya da tuğla ve benzeri malzeme arasındaki derz durumlarına göre yerleştirilmesi gerekir(Şekil 1.22).

Çimento enjeksiyonu yöntemi ile çok zayıf ve düşük dirençli moloz taş duvarların direncinin yükseltildiği ve daha sağlam bir duvar oluşturulduğu gözlenmiştir. Özellikle kırsal yörelerde harç olarak kullanılan çamur zamanla dökülmektedir. Böyle, taşları arası boşluklar olan duvarlar çimento enjeksiyonu ile güçlendirilebilirler(Sadatmanesh,1997).



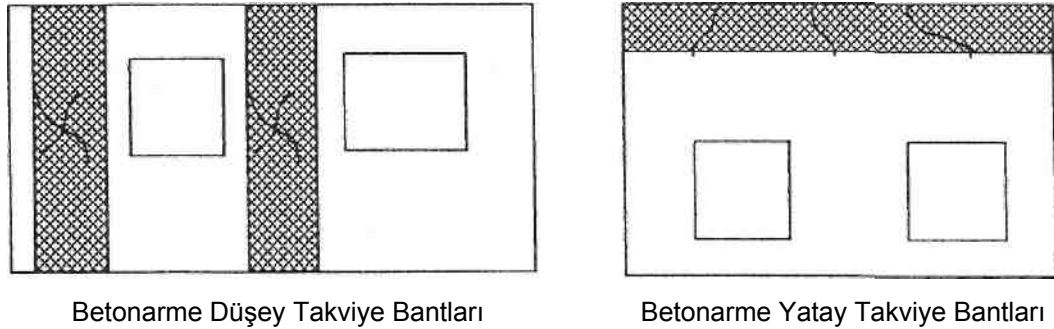
Şekil 1.22 Çimento enjeksiyonu ile taş duvarın güçlendirilmesi

Çimento enjeksiyonunda kullanılan çimento standardı TS206-1'e göre %95'i 200 ile 325 nolu eleklerden geçmelidir. Bu koşula göre çimento taneciklerinin 0.074 mm'den daha büyük çapa sahip olmaması gerekir.

Çimento şerbetinin yapımında ilk dayanımı yüksek portland çimentosu (IPÇ) ve genleşen çimento kullanımı onarımı hızlandırır. Genleşen çimento, çatlakların içine giren şerbetin genleşip bütün boşlukları doldurmasını sağlar. Genleşen çimento içine sülfoalüminat konulmuş bir çimentodur.

1.6.1.3. Betonarme mantolama

Bu yöntem sıkça kullanılan bir yöntemdir. Duvarın iç ve dış yüzü hasır çelikli betonarme bantlar ile kaplanır. Bu işlem şu şekilde yapılır: Önce duvarın iç ve dış yüzeyine hasır çelik yerleştirilir. İçte ve dıştaki bu hasır çelikler birbirlerine duvarda belirli aralıklarda açılan deliklerle birbirlerine bağlanır. Daha sonra donatı hasırının üzerine yüksek basınçlı çimento kum harcı püskürtülür. Bu işleme duvar üzerinde yaklaşık 5 cm'lik bir beton bant oluşuncaya kadar devam edilir. Beton püskürtülecek yüzeyin temiz olması önemlidir. Beton ile yığma duvarın birlikte çalışmasını sağlamak için, duvar yüzeyindeki küçük parçacıklar temizlenmelidir. Bu bağlamda duvara beton püskürtmeden önce yüksek basınçlı su püskürtülür. Böylelikle derzlerde harap olmuş olan harç dökülür ve beton püskürtüldüğü sırada, bu boşluklar dolarak kompozit bir çalışma söz konusu olur. Bu güçlendirme işlemi Şekil 1.23. de görülmektedir(Benmakrone,2000).

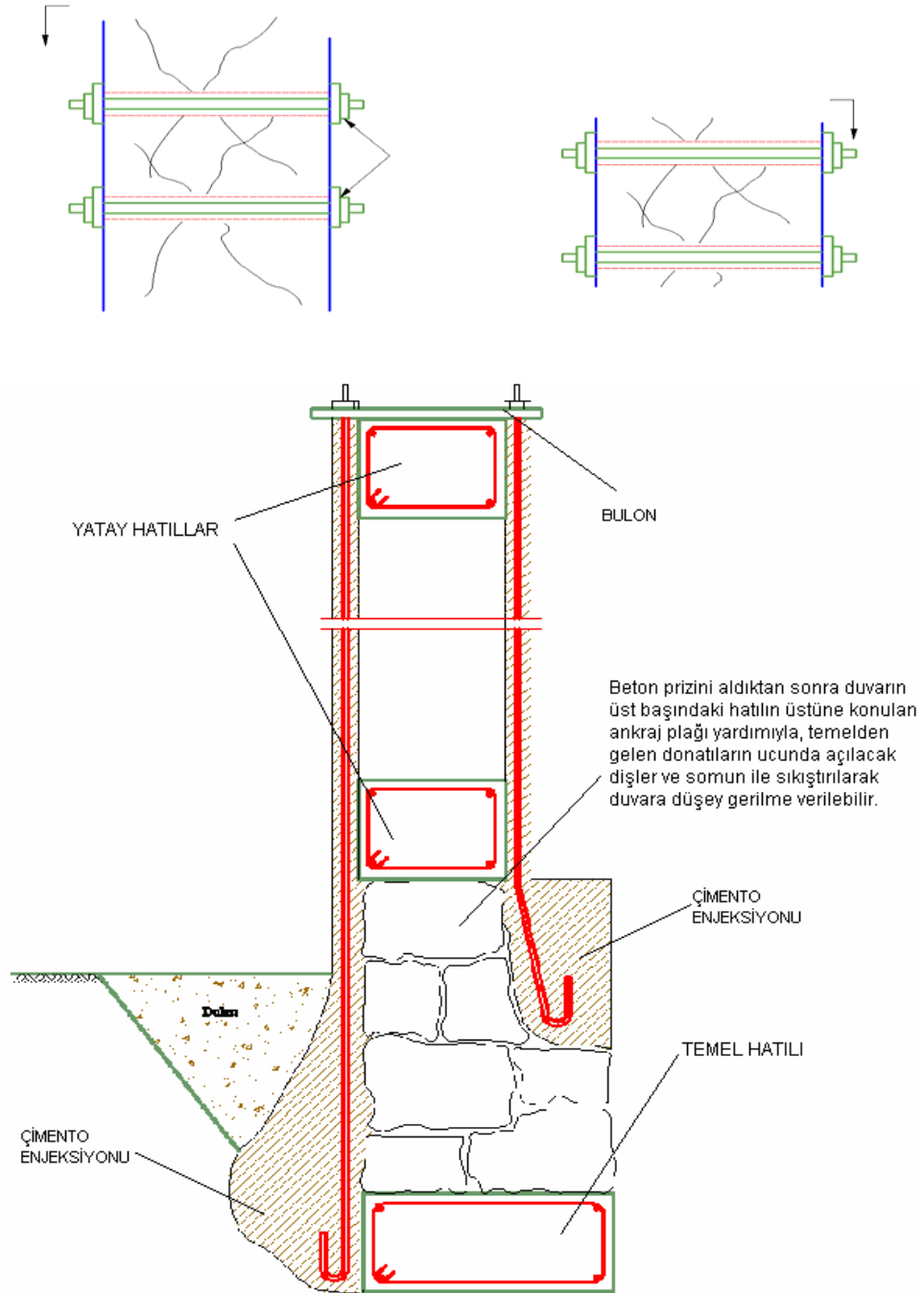


Şekil 1.23 Düşey ve yatayda betonarme takviye bantları ile çatlak onarımı

1.6.1.4. Gergi demirleri ile güçlendirme

Yığma yapılarda duvarları yatayda ve/veya düşeyde gergi demirleri ile güçlendirmek mümkündür. Bu yöntem pek kullanılan bir yöntem olmasa bile, yapılan bazı araştırmalar bu tarz gergilerin duvarın direncini arttırdığı ve dağılmasını engellediğini göstermiştir. Yapılmış deneylerde gergi demirlerinin en etkin

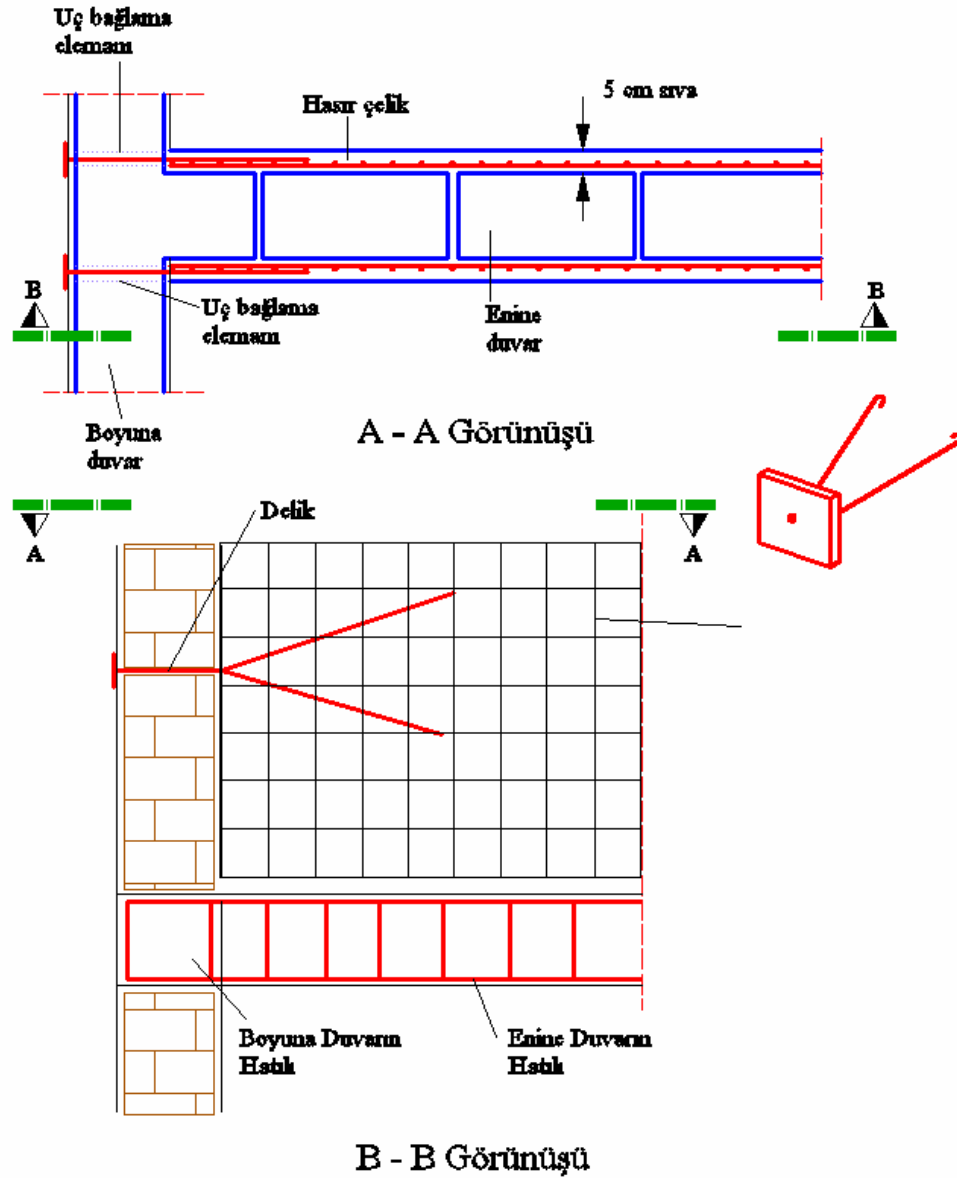
yerleştirileceği yerin duvar yüksekliğinin 1/3 aralıklara bölünerek konulması olduğudur. Böylece duvarda oluşacak eğik çekme çatlakları bir kaç adet gergi demiri tarafından kesilerek daha yüksek bir güçlendirme sağlanır(Bayülke,1990). Duvarlarda uygulanan gergi demirleri ile ilgili ayrıntılı şekiller Şekil 1.24’de verilmiştir.



Şekil 1.24 Gergi demirleri ile boşluklar arası duvar parçası güçlendirme

1.6.1.5. Betonarme hatılarla güçlendirme

Yığma yapılarda duvarları takviye etmenin bir yolu da inşa edilecek betonarme hatılardır. Hiç düşey hatıl konulmamış uzun duvarlarda, rijitliği zayıf görülen duvarlarda tek veya çift taraflı olarak betonarme hatıllarla takviye etmek mümkündür.

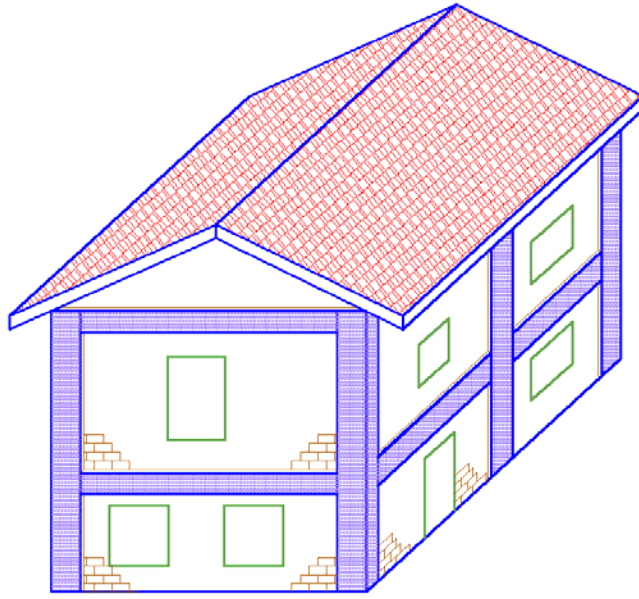


Şekil 1.25 Tek ve çift taraflı düşey hatıllarla duvar güçlendirme

Yığma yapıların güçlendirilmesinde uygulanan diğer bir teknikte taşıyıcı duvarlara yerleştirilen yatay betonarme bağ kirişleridir. Yönetmeliklerde yeni yapılan yığma yapılarda döşeme ve çatı hizasında yatay hatıllar teşkil edilmesi istenmektedir. Mevcut bir yığma yapıda özellikle kat hizasında yatay hatıl teşkil etmek pek kolay değildir. Çatıda hatıl teşkil etmek daha kolaydır. Çatı kaldırılır, yatay hatıllar teşkil edilir ve sonra tekrar yerine konur. Kat hizasında yatay hatıl teşkil etmek için önce hatılın yapılacağı bölgede bir kısım duvar parçası çıkarılır üstte kalan duvar desteklenir, açılan kısma donatı yerleştirilir, beton dökülür ve bu işlem geri kalan kısımlarda tekrarlanır. Yatay hatıl teşkil edilirken üst taraftaki duvarın desteklenmesi açılan boşluğa kalıcı destekler yerleştirmeye mümkün olabilir(Valuzzi,2005). Yığma yapılarda uygulanan yatay ve düşey hatıllarla güçlendirme şekli Şekil 1.25’de verilmiştir.

Yine yönetmeliklerde yeni yapılacak yığma yapılar için betonarme düşey hatıllar teşkil edilmesi istenmiştir. Hatta bu hatılların yatay hatıllarla birlikte bir çerçeve oluşturması istenmiştir. Özellikle taşıyıcı duvarların kesişim bölgesine yapılması gereken bu hatılları, mevcut bir yapıda teşkil etmek pek kolay değildir. Düşey betonarme hatılın genişlikleri duvar genişliklerine eşit olmalıdır. Kolonun teşkil edileceği köşede kolon boyutunca duvar parçası yıkılır. Açığa çıkan duvar yüzeylerinin pürüzlü olması, betonla yığma duvarın birlikte çalışmasını sağlamak açısından önemlidir(Paulay,1992).

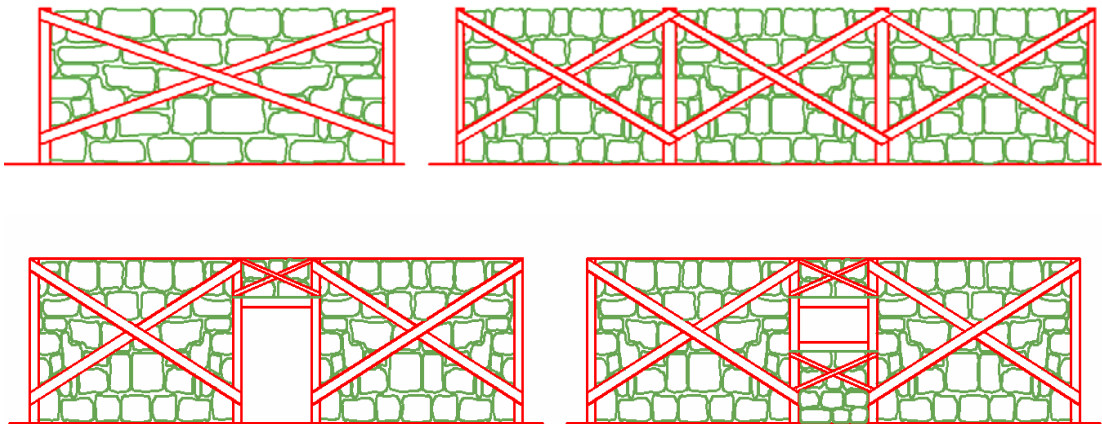
Bir iki katlı yığma yapıları yatayda ve düşeyde betonarme hatılardan oluşan bir çerçeve içine alıp özellikle depremde gelen yatay etkileri karşılamak mümkün olabilir(Şekil 1.26).



Şekil 1.26 İki katlı bir yığma yapının betonarme çerçeve içine alınması

1.6.1.6. Ahşap dikme ve çaprazlarla güçlendirme

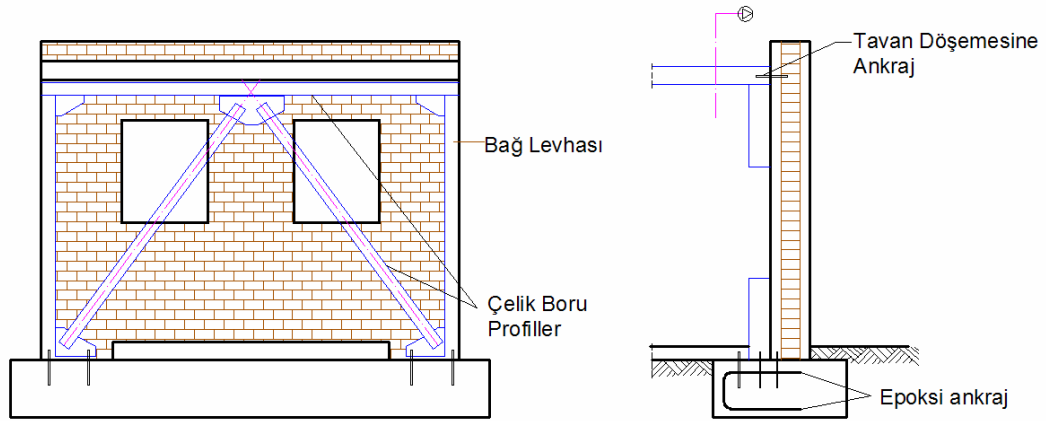
Kırsal yörelerde çok rastlanan tek katlı yığma yapılar, ahşap dikme ve çaprazlarla güçlendirilebilir. Deprem sırasında gerilmelerin toplandığı kapı pencere boşlukları ahşap çerçeveler ile güçlendirilebilir(Şekil 1.27)(Wenzel,1990).



Şekil 1.27 Ahşap çaprazlarla güçlendirme

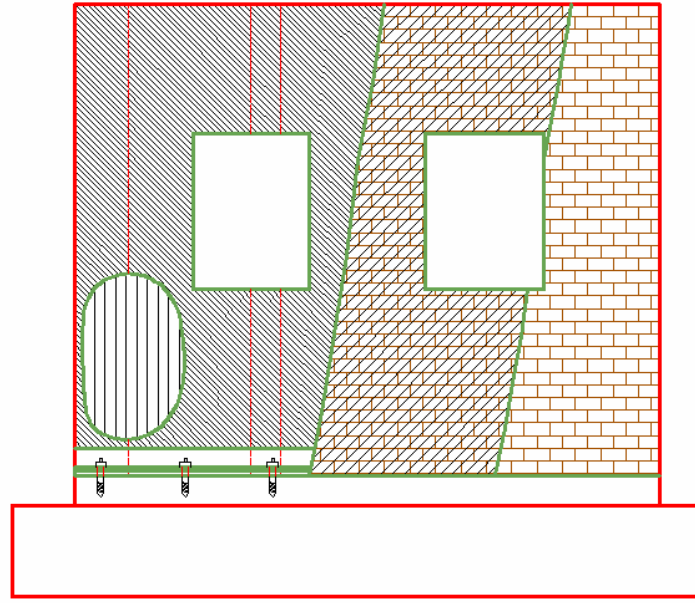
1.6.1.7. Yığma yapıların güçlendirilmesi ile ilgili diğer teknikler

Özellikle betonarme yapıların takviyesinde sık kullanılan çelik profiller, yığma yapıların takviyesinde nadirde olsa kullanılmaktadır. Amaç çelik profillerden oluşan bir çaprazlama ile yatay yükleri karşılamaktır(Şekil 1.28).



Şekil 1.28 Pencere boşlukları açılmış yığma bir duvarın çelik çaprazlarla takviyesi

Yukarıda anlatılan geleneksel güçlendirme metotlarının, özellikle tarihi yapılarda uygulama zorluklarından dolayı araştırmacılar yığma yapıları güçlendirmede daha farklı teknikler aramaya başladılar. Bu yeni tekniklerin temelinde FRP (Fiber Reinforced Polymer) kompozitler yatmaktadır. Bu kompozitler, genelde birbirlerine bir polimerik matris (epoksi, polyester) ile bağlanan karbon, cam veya aramid liflerinden oluşmaktadır. Bu metot projeciye büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Liflerin doğrultusunda yüksek mukavemet, rijitlik, hafif malzeme, boyut sınırı olmadan laminatlar, lif ve tendonlar halinde uygulamaya sunum gibi özellikler projeciye sağlanan kolaylıklar. Şekil 1.29’de ise epoksi bağlayıcılı FRP dokunun bir duvar yüzeyine uygulanma adımları gösterilmiştir(Ehsani,1997).



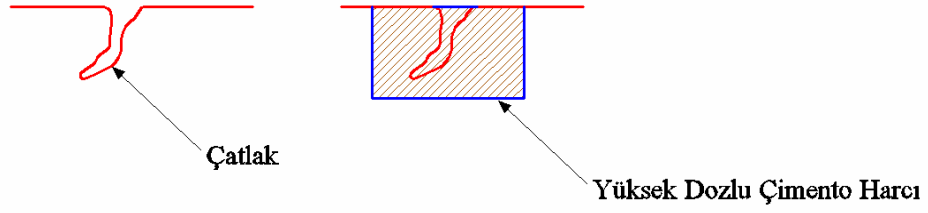
Adım 3	Adım2	Adım 1
FRP doku epoksılı yüzeye uygulanır ve üzeri tekrar epoksi ile kaplanır	Temiz duvar yüzeyi epoksi ile kaplanır	Duvar yüzeyi küçük parçalardan temizlenir

Şekil 1.29 FRP kompozit uygulaması

1.7. Çatlakların Onarılması

1.7.1. Derine inmeyen küçük çatlaklar

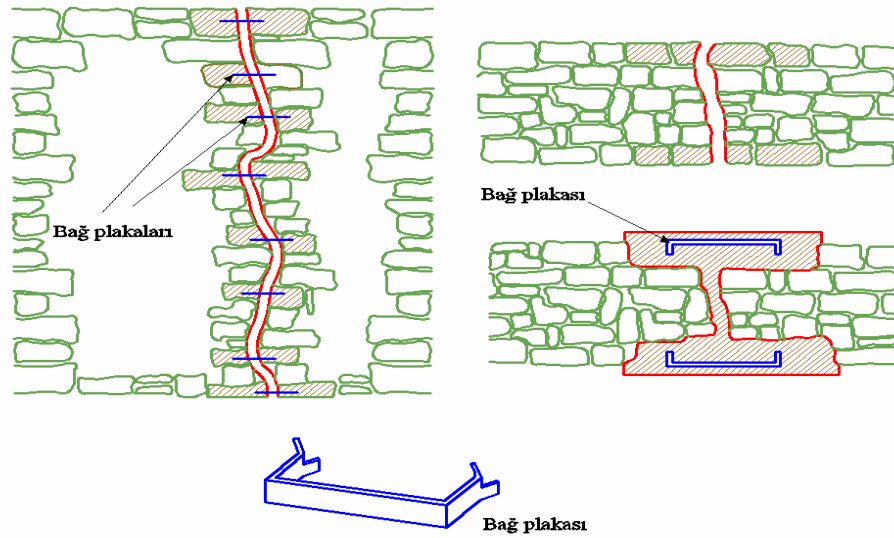
Duvarda derine inmeyen küçük çatlaklar olduğu zaman, çatlak çevresinde 5–10 cm'lik bir bölüm sökülerek yeniden yüksek dozlu çimento harcı ile doldurularak onarılabilir(Şekil 1.30).



Şekil 1.30 Küçük çatlakların çimento harcı ile doldurulması

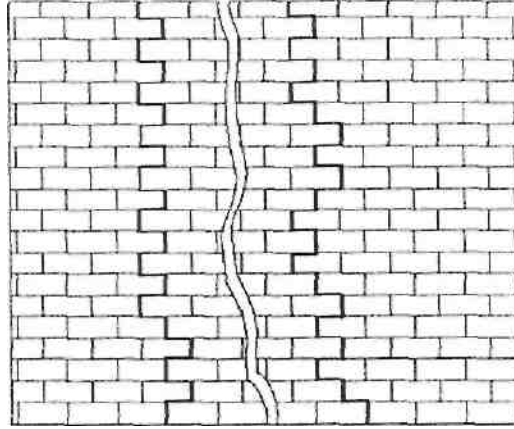
1.7.2. Düşey doğrultuda sürekli çatlaklar

Tuğla, taş yığma yapılarda duvarların her iki yüzünde de sürekli olan küçük çatlaklar Şekil 1.31’de gösterildiği gibi onarılabilir. Taş duvarda çatlakların çevresindeki yaklaşık 50 – 60 cm' lik bir bölgede sıvalar sökülür, çatlağın iki yanında yer alan taşlardan bazıları çıkarılır, buralara özel hazırlanmış bağ plakaları konulur, bu plakalar çatlağın iki yanını tutan dikişler olarak nitelenebilir. Duvardan boşaltılan bölümler yüksek dozlu çimento harcı ile doldurulur(Nanni,1999).



Şekil 1.31 Düşey doğrultuda sürekli çatlakların onarılması

Eğer çatlak tuğla duvarda ise, çatlağın her iki yanında yar alan en az bir tuğla boyundaki bölüm sökülür, burası yeniden yüksek dayanımlı harç ile örülebilir. Bu işlemin yapılabilmesi için çatlağın düşey ve düşeye çok yakın bir doğrultuda olması gerekir(Şekil 1.32).



Şekil 1.32 Düşey doğrultuda sürekli çatlak oluşumu gözlenen tuğla duvarın onarımı

Bu yöntemlerin yanı sıra güçlendirme kapsamında ifade edilecek olan çatlak bulunan duvarda çift taraflı betonarme mantolama ile yapılacak olan bir onarım da söz konusu olabilir. Yerel bir onarım yapmak yerine bazen bir duvarın yıkılıp tekrar yerine yenisinin yapılması uygun olmaktadır(Nanni,1999).

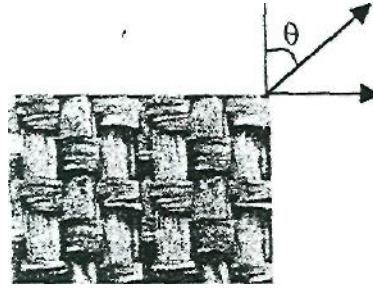
1.8. FRP' ler

FRP (Fiber Reinforced Polimers), Fiber Takviyeli Polimerler manasına gelir. Daha önce bahsi geçen lifli kompozitler grubuna girer. Yapı uygulamalarında en sık kullanılan fiber kompozit formu "laminat" olarak adlandırılır. Laminatlar, ince fiber katmanlarının reçine ile birlikte üstüste tabakalanarak arzu edilen kalınlığa kadar bu işin tekrarı suretiyle imal edilir. Her tabaka farklı doğrultuda dizilerek farklı fiziksel ve mekanik özellikler elde edilebilir.

Kompozitlerin performansları üretilme gayesine göre değişir. (Yüklem şekilleri ve fiberin birlikte çalıştığı malzeme ile arasındaki etkileşim gibi). Fiber kompozitlerin çalışmasını etkileyen ana faktörler şunlardır:

- Fiber doğrultusu
- Uzunluk
- Şekli ve fiberlerin kompozisyonu.
- Reçinelerin mekanik özellikleri.
- Reçineler ve fiber arasındaki aderans ve yapışma kuvveti.

Tek yönlü fiberler "anizotropik"tir. Fiberler maksimum dayanımlarını uzunlamasına gösterirler. Çift doğrultulu düzlem şeklindeki fiberler her açıda farklı mukavemet gösterirler(Özkul,2000). Çift yönlü dokunmuş FRP, Şekil 1.33 'de gösterilmiştir.



Şekil 1.33 Çift yönlü dokunmuş fiberler

3 boyutlu olarak dizilen fiberler İzotropik'tir. Fakat tek yönlü olanlara göre dayanımı düşüktür. Fiberler yalın halleriyle, içinde bulunduğu kompozit matrise kıyasla daha fazla yük taşırlar. Çünkü matrise etkiyen gerilmeler, tekrar fiberin matrisle olan etkileşimine bağlı olarak dağıtılır. Gerilmeler matris (kompozit grup) içerisinde ne kadar iyi dağıtılsa da, mukavemetin verimi kompozit grubun tabiatına ve yapışma gücüne bağlıdır. FRP'ler yapılacak uygulamaların durumuna göre kimyasal ve fiziksel işlemlere tabi tutulurlar. Aderans arttırıcı yardımcı malzemeler, hem fiberle (kendisinin oluşturmuş olduğu) FRP, hem de FRP ile güçlendirilecek yapı arasında kullanılabilirler.

Bu tür kompozitler her ne kadar fiber takviyeli polimer matrisler olarak adlandırılrsa da bu tanım yapısal uygulamalarda daha da genişletilmelidir. İnşaat uygulamalarında, betonun FRP ile güçlendirilmesi veya FRP taşıyıcı elemanlar gibi, en azından malzemeyi oluşturan elemanlardan biri sürekli (boyu boyunca devam eden) mukavemete sahip olmalıdır. Genellikle, bizi ilgilendiren FRP'lerdeki, sürekli fiberin yalın haldeki sertliği ve sağlamlığı, oluşturduğu kompozit matrisinkinden daha da fazla olmalıdır. Eğer fiberler sürekli (kesintisiz) değilse güçlendirme görevinin ancak %10'u veya biraz fazlasını ifa edebilir.

Kısaca FRP'ler, güncel formlara uyabilen çeşitli boyutlarda ve şekillerde imal edilebilen, uzay bilimleri, otomotiv sektörü ve spor gibi orijinal ve pahalı sektörlerde yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. 1940'lardan beri 50 – 60 yıllık servis tecrübesiyle inşaat sektörü için uygulanmaya hazır bir teknolojiye sahip olan, bazı yerlerde çeliğin yerini rahatlıkla doldurabilecek, düşük ağırlıkta, yüksek rijitlik ve mukavemette, çevrenin zararlı etkilerine dayanıklı ve de pahalı malzemelerdir(Myers,2001).

1.8.1. FRP' yi oluşturan malzemeler

FRP'ler, yüksek mukavemetli fiberler, plastik esaslı bağlayıcı reçine matrisi ve çeşitli katkı maddelerinin bir araya gelmesinden oluşur.

1.8.1.1. Fiberler

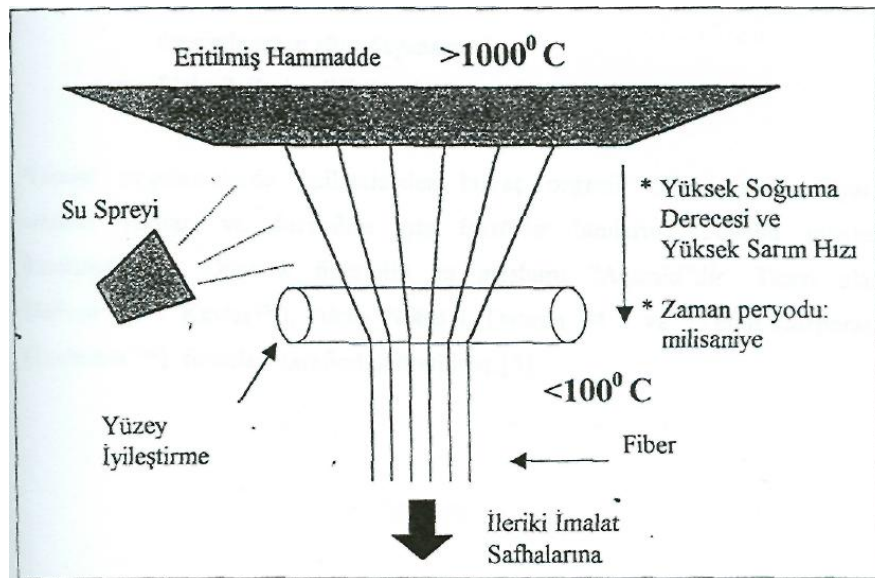
Malzemelerdeki ayrışma ve kılcal çatlaklar, malzemenin gerçek dayanımını oldukça düşürür. Bir elementi oluşturan atomlar bünyelerindeki iyi özelliklerini bir araya geldiklerinde çeşitli sebeplerle %100 gösteremezler. Malzeme ne kadar inceltirirse aslına o kadar yaklaşmış demektir.

Fiberler, kusursuz bir mikro yapıya sahip yük taşıma elemanlarıdır. Mesela, "Grafit" karbon asıllı bir malzemedir, kurşun kalemlerde, pillerde kullanılır. Bu

halleriyle ne kadar zayıf olduğu bilinmektedir. Grafitten üretilen fiberlerin çekme mukavemeti çelikten çok daha fazladır. Fiberlerin üretim mantığından biri budur. Çelik halatlar ince çelik liflerden oluşur. Eğer aynı kalınlıkta demir bir kütle halat olarak kullanılsa idi çok daha dayanıksız olacaktır. Ayrıca, liflerden biri veya birkaçı kopsa diğerlerine sirayet edemez ama aynı kalınlıkta tek parça bir çeliğin bir tarafında küçük bir çatlak başlasa tüm kesiti kaplar.

Bazı fiberler, seramiklerden üretilir. Seramikler kullandığımız şekliyle en dayanıksız malzemeler gibi görülebilir (Camlar, Porselenler) bunun sebebi içinde kılcal çatlakların oldukça fazla olmasıdır, fakat yapısı itibarıyla en az diskolasyona sahip malzemelerdir. Lif haline dönüştürüldüğünde ise neredeyse hiç çatlaksız bir hal alır. Metallerden daha dayanıklı olur. Aynı zamanda seramikler, ısı, korozyon ve asitlere de dayanıklı, uzun ömürlü malzemelerdir.

Yüksek sıcaklıklarda eritilen cam, karbon ve aramid gibi malzemeler, ince (kılcal) delikli bir tanktan aşağı süzülerek akıtılırlar, bu esnada üzerlerine su püskürtülerek aniden soğutulur ve devamlı dönen makaralarla hızla çekilerek sündürülürler, bu gerdirme işlemiyle mikron seviyesinde kalınlıkta fiberler meydana gelir(Şekil 1.34). Bu fiberlerin reçinelerle iyi bir aderans sağlaması için üzerlerine yüzey iyileştirici (Silane gibi) malzemeler kaplanır(İlki,2000).



Şekil 1.34 Fiber üretim aşamaları

İnşaat Mühendisliği'nin "Kompozit Takviyeli Beton" içerikli uygulamalarında kullanılan başlıca fiberler şunlardır: Cam, Karbon, Aramid ve PVA (Polyvinil Alkol). Fiberlerin tek başına kullanım alanları, ısı yalıtımı gibi uygulamalarla sınırlıdır(Nanni,1999).

1.8.1.1.1. Aramid Fiberler

- Değişik ısılarda bile dayanımının %80'inden fazlasını muhafaza eder.
- Rutubet, gerilme dayanımı özelliklerini ancak %5 nispetinde azaltabilir.
- Non-lineer'dir.
- Gerilmeler sonucu uzayabilir.
- Kimyasal etkilere karşı direnci iyidir. (güçlü asit ve bazlara karşı)
- Ultraviyole ışınlarından etkilenir.
- -200° C 'den +200° C ye kadar ısı altında kullanılabilir. (150° C üzerinde uzun süre dayanamaz)
- Elektrik iletkenliği düşüktür.

Yapısal uygulamalarda kullanılabilen birkaç organik fiber vardır. Fiyatı, sıcaklık şartları ve durabilite gibi faktörler bunların kullanım sahalarını kısıtlamaktadır. Organik fiberlerin en meşhuru "Aramid"dir. Ticari olarak DuPont (Kevlar™), Akzo Nobel (Twaron ™) ve Teijin Corporation (Technora™) firmaları tarafından üretilirler(Yang,2001). Aramid fiberlerin teknik özellikleri Çizelge 1.11., tipik mühendislik özellikleri Çizelge 1.12' de verilmiştir.

Çizelge 1.11 Aramid fiberlerin teknik özellikleri

	Minimum	Maksimum
Elastisite Modülü	62 GPa	142 Gpa
Çekme Mukavemeti	3150 MPa	5000 MPa
Kopma Uzaması	% 1.5	% 4.4

Çizelge 1.12 Aramid fiberlerin tipik özellikleri

Fiber	Tipik Çap	Özgül Ağırlık	Elastisite Modülü	Çekme Mukavemeti	Kopma Uzaması	Termal Genişleme	Poisson Oranı
	(micron)		(Gpa)	(Gpa)	(%)	Kats. 10 -6/C°	
Kovlar™	11.9	1.45	131	3.62	2.8	-2.0 (uzama)	0.35
49d						-59 (genişleme)	
Tvvaron™	12.0	1.45	127	3.6	2.5	-2.0 (uzama)	0.35
1055°						-59 (genişleme)	
Technora rM	12.0	1.39	74	3.5	4.6	-3.0 (uzama)	0.35

1.8.1.1.2. Karbon Fiberler

- Yüksek mukavemet ve rijitlik,
- Düşük birim boy uzaması,
- Düşük darbe direncine sahiptir.
- Titreşimli yüklerden fazla etkilenmez.
- Rutubet ve kimyasallara karşı direnci mükemmeldir.
- Galvanik korozyondan etkilenir.
- 2000 C sıcaklığa kadar dayanıklıdır.
- Isı ve elektriği iyi derecede iletir.

Karbonfiberlerin üretildiği 3 kaynak vardır : Zift, Bir petrol rafinesi ürünü olan: PAN (poliakrilonitril) ve Rayon. Karbonfiberlerin özellikleri moleküler yapısı ve kusurlardan annma derecesiyle kontrol edilir. Karbonfiberin oluşumu 1000° C (1830 F) sıcaklık gerektirir. Bu ısıda, sentetik liflerin çoğu erir ve buharlaşır. Akrilik ise böyle değildir, onun moleküler yapısı yüksek ısıdaki karbonizasyon esnasında değişmez. Karbonfiberler, reçineyi üzerlerinde çok zor tutarlar. Bazı reçine matrisleri için fiber yüzeyinde aktif kimyasal maddeler yardımıyla iyileştirme metotları geliştirilmiştir(Yang, 2001).

Karbon fiberlerin yüzeyi, aşınmayı önlemek, kolay kavranabilmek ve epoksi matrisiyle uygun bir ara yüzey oluşturabilmek için epoksi türü kaplama malzemeleriyle iyileştirilmektedir. Karbon fiberlerin teknik özellikleri Çizelge 1.13, tipik mühendislik özellikleri Çizelge 1.14’ de verilmiştir.

Çizelge 1.13 Karbon fiberlerin teknik özellikleri

	Minimum	Maksimum
Elastisite Modülü	290 GPa	400 Gpa
Çekme Mukavemeti	2400 MPa	5700 MPa
Kopma Uzaması	%0,3	%1.8

Çizelge 1.14 Karbon fiberlerin tipik özellikleri

Fiber	Tipik Çap (micron)	Özgül Ağırlık	Elastisite Modülü (Gpa)	Çekme Mukavemet (Gpa)	Kopma Uzaması (%)	Termal Genişlik Katsayısı	Poisson Oranı
PAN-Carbon							
T-300 a	7	1.76	231	3.65	1.4	-0.1-0.5 (uzama) 7-12	0.2
ASb	7	1.77	220	3.1	1.2	-0.5 -1.2 (uzama) 7-12	
t-40a	6	1.81	276	5.65	2.0		
HSB b	7	1.85	344.5	2.34	0.58		
Fortafil 3 TM	7	1.80	227	3.80	1.7	-0.1	
Fortafil 5 TM	7	1.80	345	2.76	0.8		1
PITCH-							
P-555 a	10	2.0	380	1.90	0.5	-0.9 (uzama)	1 1
P-100 a	10	2.16	758	2.41	0.32	-1.6 (uzama)	

a Amoco; b Hercules; cAkzo-Nobel/ Fortafil Fiberleri

1.8.1.1.3. Glass Fiberler (Cam Elyaf)

- Temin edilebilir. Birkaç tipi vardır: E-, S-, C-, ve AR-glass
- Her bir fiber, aşınmayı en aza indirmek ve epoksiyle rahat bütünleşebilmek için yüzey iyileştirme malzemeleriyle kaplanır,
- Fiyatı düşüktür.
- Elastisite modülü düşüktür.
- Yüksek mukavemetlidir.
- Sürekli ve tekrarlı yüklere karşı dayanımı nispeten düşüktür,
- Yumuşama noktası 800–1000°C'dir
- Alkalilere duyarlıdır.
- Neme karşı direnci düşüktür.
- İzolasyon özellikleri yüksektir.

Cam elyaflar bir çok inşaat mühendisliği uygulamalarında ekonomikliği ve özellikli mukavemet özellikleri sebebiyle hâkim fiber sınıfıdır. Cam elyaflar ticari olarak E-glass formülasyonu ile elektrik sektöründe kullanılmaktadır. Kompozit güçlendirme gayesiyle en geniş alanda kullanılan genel maksatlı form: Yüksek dayanımlı S-2 glass ve ECR glass (E-glass'ın asitlere dayanıklı hale getirilmiş şeklidir. Diğer fiberglass çeşitleri AR ve R2'dir.

Fiberglassların yüzeyleri fazlaca aktiftir. El değdiğinde çok kolay bozulur. Fiber üretim işleminden hemen sonra koruyucu bir film tabakası ile kaplanır. Yapışkan çözeltiler, hem film tabakası hem de aderans artırıcı olarak görev yaparlar. Fiberglasslar kırılmaya kadar elastiktirler ve kuru ortamda çok az bir sünme gösterirler. Genelde tek yönlü E-glass'ın elastiklik modülünün 73 Gpa olduğunda bileşilir. Maksimum kırılma birim boy değişimi %2.5-%3.5 seviyesindedir. Liflerin gerilme-boy değişimi karakteristikleri tam olarak incelenmiştir(Yang,2001).

Fiberglasslar ani statik kuvvetlerin etkisindeki sabit yükler altında devamlı tutulduğunda, bir müddet sonra bazı noktalarda hasar görür. Buna sünme kırılması

denir. Yoğun su buharı ihtiva eden atmosferik şartlar çok zararlıdır. Bazı bilim adamlarınca, Fiberglasların yüzeyinde mikroskopla görülemeyecek küçük boşluklar bulunduğu ve bu sebeple bazı bölgelerde gerilme yoğunlaşmasının olduğu teorisi ortaya atılmıştır. Nemli havalarda zayıf asidik karbondioksit bulunur. Bu şekilde maruz olan korozyon etkisi fiber liflerinin boşluklu bölgelerindeki gerilmeleri kırılma oluşuncaya kadar değiştirebilir. İlave olarak, yüksek PH şartları çürümeye ve zamana bağlı olarak kopmaya sebep olabilirler. Glass fiberlerin teknik özellikleri Çizelge 1.15., tipik mühendislik özellikleri Çizelge 1.16’ da verilmiştir.

Çizelge 1.15 Glass fiberlerin teknik özellikleri

	Minimum	Maksimum
Elastisite Modülü	72 GPa	78 Gpa
Çekme Mukavemeti	3300- MPa	4500MPa
Kopma Uzaması	%4.8	%5.0

E-Glass: Kimyasal kompozisyonu onaylanmış, genel maksatlı profil ürünleri ve tüm elektrik uygulamalarında kullanılan kalsiyum-alümino-silikat camların bir grubudur. Piyasadaki fiberglass ürünlerinin yaklaşık %80-%90'ı E-Glass'dır. Bu formülasyon birçok aside karşı güçlü bir direnç sağlar(Kasumata,1997).

S-Glass:Yüksek ısılara ve kuvvetlere dayanıklı bir kalsiyum alumina-silikat cam grubudur. S-Glass ve S2-Glass aynı kompozisyona sahiptir fakat yüzey cilaları farklıdır.S-Glass güçlendirme için en pahalı cam elyaf çeşididir ve özel kalite kontrol testleri altında ve daha çok askeri sahada denemeleri yapılmaktadır(Kasumata,1997).

Çizelge 1.16 Glass fiberlerin tipik özellikleri

Fiber	Tipik Çap (micron)	Özgül Ağırlık	Elastisite Modülü (Gpa)	Çekme Mukavemeti (Gpa)	Kopma Uzaması (%)	Termal Genişleme Katsayısı	Poisson Oranı
E-Glass	10	2.54	72.4	3.45	4.8	5.0	3.2
S-Glass	10	2.49	86.9	4.30	5.0	2.9	3.22

1.8.1.1.4. PVA Fiberler

- Fiyatı ucuzdur.
- Rijitliği düşüktür.
- Asit, alkali ve tuz gibi kimyasallara dayanıklıdır.
- Su emme miktarı oldukça fazladır.

PVA Fiberler polivinil asetat'ın sabunlaştırılması sonucu üretilir. Japonya'da Kuraray Co. "Vinyon" genel ismiyle bilinen PVA fiberler için endüstriyel bir üretim yöntemi tesis etmiştir(Sadatmanesh,1997). Glass fiberlerin teknik özellikleri Çizelge 1.17, tipik mühendislik özellikleri Çizelge 1.18' de verilmiştir.

Çizelge 1.17 PVA fiberlerin teknik özellikleri

	Minimum	Maksimum
Elastisite Modülü	8 GPa	28 Gpa
Çekme Mukavemeti	870 MPa	1350 MPa
Kopma Uzaması	%9	%17

Çizelge 1.18 PVA fiberlerin tipik özellikleri

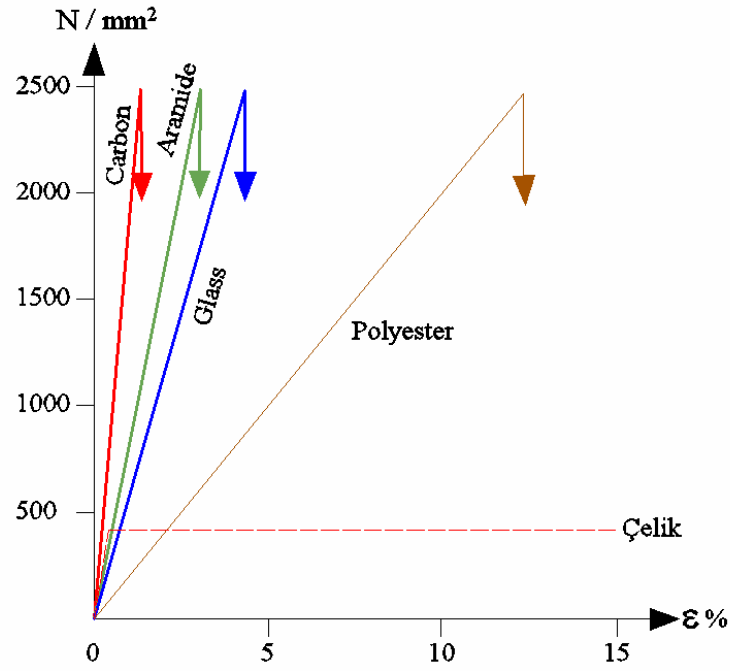
Fiber	Tipik Çap (micron)	Özgül Ağırlık	Elastisite Modülü (Gpa)	Çekme Mukavemet (Gpa)	Kopma Uzaması (%)	Termal Genişleme Katsayısı	Poisson Oranı
PVA(Yüksek Dirençli)	14	1.3	59.9	2.3	5.0	Yok	Yok

Güçlendirme projeleri düşünülürken genellikle çelik esaslı ürünlerle güçlendirme ile kıyaslanan fiberlerin çeliğin mekanik özellikleri ile karşılaştırması Çizelge 1.19 da, fiberler ve çeliğin gerilme dayanımları ile ilgili karar vermemize yardımcı olacak deney sonuçları Şekil 1.35’de verilmiştir.

Çizelge 1.19 Çeşitli fiberlerle, çeliğin özelliklerinin kıyaslanması

Çelik	Fiber			Ön Germe Çeliği
Özellikler	Aramid	Karbon	E-Glass	
Çekme Dayanımı	+	++	+	+
Uzun Dönem Dayanımı	0	+	0	+
Ani Yüke Dayanımı	++	+	-	+
Farklı Doğrultuda Dayanımı	-	0	-	+
Durabilite:				
Alkalilere Karşı (Beton gibi)	0	+	-	++
Etkili Asidik Şartlara Karşı	+	++	+	-
Karbonatlaşmış Betona Karşı	++	++	++	-
Ağırlık	++	++	+	-

(-) Zayıf, (+) iyi, (++) Mükemmel, (0) Etkisiz.



Şekil 1.35 Fiberler ve çeliğin gerilme dayanımları

1.8.2. Reçineler

Reçineler daha önce de bahsi geçtiği üzere, plastik veya polimerlerle aynı manaya gelmektedir. Ama burada daha çok FRP ile alakalı olan çeşitleri ve özelliklerinden bahsedilecektir. Reçine matrisinin üç ana görevi vardır:

- Fiberleri birbirine bağlar.
- Fiberler arasında yük transferini sağlar.
- Fiberleri çevrenin zararlı etkilerinden ve mekanik hasarlardan korur.

Reçineler, genellikle FRP kompozitin dayanabileceği sıcaklık limitini ve çevresel direncini belirler. FRP bir insan vücuduna benzetilirse fiberler iskelet, reçine matrisi ise et ve deri görevindedir. FRP'de asıl taşıyıcı fiberlerdir, ama reçinenin önemi hiçbir zaman göz ardı edilmemelidir.

Katı halde iken, polimer molekülleri rastgele diziliyseler, amorf (düzensiz) olarak adlandırılırlar. Eğer moleküller rastgele veya sıralı bir düzende kombinasyon oluşturuyorlarsa yarı kristal olarak adlandırılırlar. Ayrıca polimerlerin bazı bölümleri düzensiz hareketli bir halde de olabilirler. Isı arttıkça düzensiz hareket artar. Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, ısı ve yükleme oranına sıkı şekilde bağlıdır. Camlaşma sıcaklığında (T_g) polimerik malzemeler sert ve gevrek katı halden, yumuşak-sert bir katı hale dönüşürler. Polimer matrisin çekme modülü sıcaklık arttıkça düşer(Sadatmanesh,1997).

Reçineler iki ana gruba ayrılır:

I. Termoplastikler

II. Termosetler

1.8.2.1. Termoplastikler

Termoplastikler, doğrusal bağlı molekül yapılarında değişme olmaksızın, belli bir sıcaklık derecesinden sonra yumuşama göstererek, soğuduktan sonra bulundukları şekli koruyan ve tekrar sıcakla değişme özelliğine sahip plastik türleridir.

1.8.2.2. Termosetler

Termosetler, genellikle çapraz bağlı molekül yapılarında meydana gelen polimerleşme sonucu, yumuşama sırasında ilk formlarını koruyarak belli bir sıcaklık derecesinden sonra erimeksizin karbonlaşmaya uğrayan ve ısı karşısında artık değişme göstermeyen plastik türleridir. Termoset matris polimerleri, düşük vizikositeli ve düşük moleküler ağırlıklı sıvılardır. Çeşitli sertleştiricilerle katı hale getirilir(Lee,2000).

Termosetlerin bazı avantajları:

- Nem alma ve kullanıncaya kadar kuruması önlendiği takdirde sınırsız raf ömrüne sahiptir.
- Priz alma (Kalıp alma) süresi hızlıdır.

- İkinci kez şekil verilebilir.
- Kullanımı kolay ve yıpranma toleransına sahiptir. Piyasada kullanılan tüm reçinelerin %80'i termosetlerdir.

Termosetlerin yaygın kullanılan iki tipi vardır:

- Doyurulmamış Polyesterler (Vinylesterler gibi)
- Epoksiler

1.8.2.2.1. Doymamış polyester reçineler (UP)

Bunlar, kompozit yapı elemanların üretiminde en yaygın kullanılan reçinelerdir. Piyasadaki kompozit ürünlerin %80-%85'ini oluştururlar. Doymamış polyester reçinelerin ticari olarak birkaç genel tipi vardır(Demers,1999):

- I. Ortophtalic Polyester
- II. Isophtalic Polyester (İzoPolyester)
- III. Vinyl Ester (VE)

1.8.2.2.2. Epoksi reçineler

Bu reçineler, havacılık, uzay, savunma ve son dönemlerde beton için (tamir, güçlendirme vb.) üretilen ilk nesil FRP ürünlerin çoğunda olduğu gibi, ileri teknolojilerde kullanılır. Epoksilerin değişik akışkanlıklarda ve çok sayıda kür yardımcısı veya sertleştiriciyle beraber temini mümkündür. Epoksinin tabiatı, kısmen kür edilerek veya genel olarak "prepreg" ismiyle adlandırılan ileri kür sistemleriyle kullanılmasına imkân tanır. Eğer "prepreg" takviye fiberlerini de ihtiva ediyorsa, meydana gelen yapış yapış haldeki lamine, bir kalıba yerleştirilerek oda sıcaklığında

sertleşmesi beklenir (Ghobarah,2004). Epoksi Reçinelerin tipik mühendislik özellikleri Çizelge 1.20’de verilmiştir.

Çizelge 1.20 Tam priz almış (küflenmiş) reçinelerin fiziksel özellikleri

Özellik	7241 İzopolyester	980-35 Vinyl Ester	D-1618 Viayl Ester	D-1222 Vinyl Ester
Barcol Sertliği	50	45	45.	40
Çekme dayanımı (MPa)	78.6	87.6	89.6	79.3
Elastiklik Modülü (MPa)	3309	3309	3171	3241
Çekme Uzaması(%)	2.9	4.2	5.2	3.9
Eğilme Dayanımı (MPa)	125.5	149.6	149.6	113.7
Eğilme modülü (MPa)	3447	3379	3379	3654
Distorsiyon Isısı Drc. (°C)	109	133	119	141

1.8.3. Katkı malzemeleri

Dolgu ve katkı malzemeleri, kompozitin özelliklerini etkilemeden, polimer reçine'nin miktarını azaltmak için kullanılır. Katkılar, termoset veya termoplastik reçinelere, maliyeti düşürmek, büzülmeyi kontrol etmek, mekanik özellikleri geliştirmek ve yanmayı geciktirmek amacıyla eklenebilir. Yapısal uygulamalarda katkılar, tercihan yük transferini geliştirmek ve lif olmayan bölgelerdeki çatlamayı azaltmak için kullanılır. Kıl, kalsiyum karbonat ve öğütülmüş cam lifleri, uygulamaların gerektirdiği şekilde, katkı olarak sık sık kullanılır. Karbonat katkılı Polyester reçinelerin tipik mühendislik özellikleri Çizelge 1.21’ de verilmiştir (Ghobarah,2004).

Çizelge 1.21 Karbonat katkılı polyester reçinelerin özellikleri

Özellik	Katkısız Izo Polyester	CaCO ₃ Katkılı Izo Polyester
Yoğunluk (g/ml)	1.30	1.48
Distorsiyon Isı Derecesi	79	83
Eğilme Dayanımı (MPa)	121	62
Eğilme Modülü (Gpa)	4.34	7.1

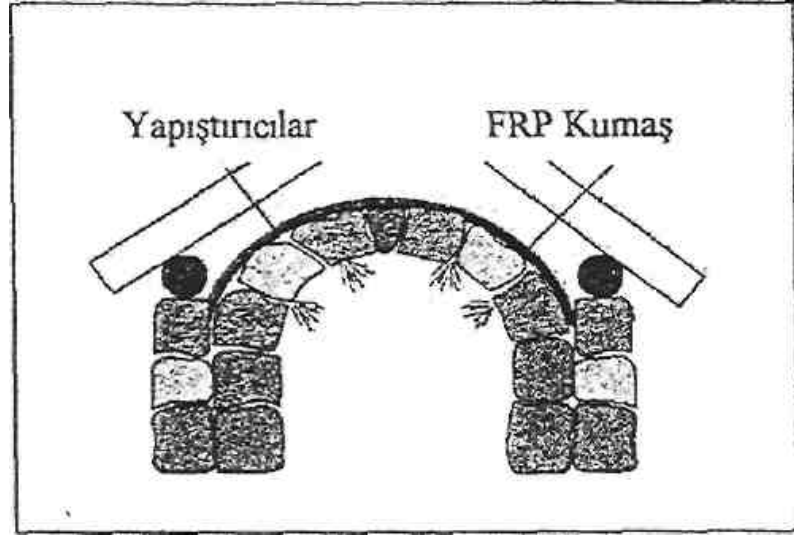
1.8.4. FRP'lerin duvarlarda ve yığma yapılardaki uygulama şekilleri

1.8.4.1. FRP'lerin dolgu duvarlarda uygulanması

Tuğla duvarlar, yapılarda çerçeve aralarında dolgu malzemesi olarak kullanılan, taşıyıcı özelliği olmayan fakat son depremlerde binaların rijitliğine katkıda bulunduğu ve çevreledikleri kolonların deplasmanlarını kısıtlayarak, burkulmasını önlediği anlaşılan elemanlardır. Dolgu duvarlar, bu depremlerde çerçeve sisteminin aşırı deplasman yaparak enerji sönmemesi yerine, bu enerjiyi kendi bünyelerinde parçalanmak ve çatlamak suretiyle yok etmiş, binaların yıkılmasını zorlaştırmış, bir nevi betonarme perde görevi yapmışlardır. Dolgu duvarlarda yapılacak en iyi güçlendirme, kolon ve kirişlerden ayrılarak kütle halinde düşmesini engellemektir. Bu yüzden açılı dokunmuş FRP kumaşlar birleşim yerlerine yapıştırılır. Eğer binanın betonarme sisteminin güçlü olduğu tespit edilmiş ve muhtemel bir depremde duvarlarda da çatlama ve kırılma olması istenmiyorsa, duvarlarda eğilmeye karşı boyuna, kesmeye karşı enine doğrultuda FRP uygulanabilir. Ayrıca ticari veya stratejik değeri olan binaların (bankalar, emniyet müdürlükleri vb.) duvarlarının çarpma ve patlamalara dayanıklı olması için de FRP sistemler uygulanabilir (Sadatmanesh,1997).

1.8.4.2. FRP'lerin yığma yapılarda uygulanması

Yığma yapıların duvarları taşıyıcıdır. Bu duvarların kesmeye ve eğilmeye karşı mukavemeti FRP sistemlerle artırılabilir. Eğer bu duvarlar hasar gördüyse çatlaklar epoksi bazlı yüksek mukavemetli tamir harçlarıyla doldurulur ve tüm yüzeye FRP kumaş yapıştırılır. Tarihi yapıların kubbelerindeki hasarı gidermek için FRP sistemler dıştan uygulanırlar, tekrar üzerleri kurşun kaplandığında yapılan güçlendirme belli olmaz ve tarihi doku bozulmamış olur(Şekil 1.36).



Şekil 1.36 Taş yapılarda FRP uygulaması

Yine, taş kemerlerin üzerinden veya altından FRP uygulaması yapılarak taşların sarsıntı anında birbirlerinden ayrılması engellenebilir.

1.9. Amaç ve Kapsam

Türkiye'nin büyük bir bölümü deprem kuşağında bulunmakta ve bu coğrafyada yaşayan birçok insanımızın yaşamını sürdürdüğü yapılarda birinci ve ikinci derece deprem kuşağında yer almaktadır. Ülkemizde yapıların büyük bir bölümü, özellikle Anadolu'nun kırsal kesimlerinde, hatta büyük kentlerimizin varoşlarında yapı stoğunun neredeyse tamamı yığma yapı olarak karşımıza çıkmaktadır. Yığma yapılar rijit olmalarından dolayı enerji yutma yeteneğine sahip değildirler. Depremlerde ortaya çıkan enerjiyi azaltma kapasitesi düşük olduğu için büyük yatay kuvvetlere maruz kalmaktadırlar. Üstelik yığma yapılarda kullanılan malzemelerin gevrek malzemeler olmasından dolayı mühendislik açısından istenmeyen davranışlar göstermekte, taşıma limitini aştıkları anda ani çatlamalara ve kırılmalara sebep olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı yığma yapıların depreme dayanıklı yapılar olarak nitelenmeleri, olanaksızdır. Bununla beraber, yığma yapıların deprem açısından tamamen olumsuz yapılar olarak algılanması da doğru değildir. Diğer bütün yapıların olduğu gibi yığma yapılar da standartlara, yürürlükteki kanun ve yönetmeliklere uygun olarak yapıldığı, bununla beraber mühendislik hizmeti gördükleri takdirde gayet sağlam ve emniyetli olarak görevlerini yerine getirebilen yapılar olarak karşımıza çıkarlar.

Ülkemizde son 60 yılda meydana gelen depremlere bakıldığında can ve mal kaybı çoğunluğunun kırsal kesimlerde meydana gelen depremlerde; yığma yapıların göçmesiyle meydana geldiği görülmektedir. Kırsal kesim yapı stoğumuzun %80'nin yığma yapılardan oluştuğu ve yapılarında;

- Standardize olmamış yerel malzemelerden,
- Standart beceriye ulaşamamış yerel işçiliklerle,
- Çoğu kere ilgili teknik mevzuata uyulmadan yöresel yapı kültürü ile yapıldığı ve özellikle;

- Kat farklılığı
- Katlarda duvar kalınlığı
- Dolu duvar boyları
- Açıklık mesafeleri
- Boşluk, bina köşe mesafeleri
- Duvarlarda doluluk, boşluk oranları
- Kat yükseklikleri
- Hatıl ölçüleri
- B.A döşeme oluşturulmaması vb.

planlama hataları sebepleriyle kaçınılmaz hale gelmektedir.

Son 2002 yılı Afyon- Çay ve Erzurum- Aşkale depremleri sonrası yapılan incelemeler bunu göstermiştir.

Yığma yapıların deprem yükü altındaki davranışlarının belirlenmesi amacıyla yapılan deneysel çalışmalar; yapının, duvarda meydana gelen malzeme çatlaklarının ilerleyerek çatlak akma çizgileri haline gelmesiyle çöktüğünü göstermiştir. Bu araştırmada; yığma duvarlarda, tuğlada oluşan çatlağın yatay derzde devam ederek, çatlak ilerleme yönündeki diğer ana malzemelere geçmesini önlemek amaçlanmıştır. Bu amaçla derzin güçlendirilmesi düşünülmüş ve derzin epoksi ile sarılmış FRP’li fitille takviyesi yöntemi uygulanmıştır.

Bu yöntem; teorik ve uygulamada incelenen diğer güçlendirme yöntemlerinden farklı olarak; yapının içine girmeden ve yapının fonksiyonunu kesintiye uğratmadan, yalnızca dışarıda uygulanabilmektedir. Bu özelliğiyle de ekonomik ve sosyal yönden diğer yöntemlere göre ayrıcalık göstermektedir.

Bu çalışmada, yığma yapının davranışını karakterize eden prototip yapının, deprem yükü altında en elverişsiz olduğu tespit edilen kısmı numune olarak seçilmiştir. Deney numunesinin boyutlandırılmasında 1997 afet yönetmeliği esas alınmıştır. Çözüm, doğrudan tuğla duvar üzerinde uygulanan deneylerle elde edilmeye çalışılmıştır. Numune duvar düzlem dışı ve düzlem içi yüklemelerle her

adımında 10 kN ilerlemek suretiyle ileri ve geri yükleme yapılarak test edilmiştir. Düzlem dışı yüklenmiş iki eksenli yük etkisine maruz kalan numune duvara ait yük, deplasman ve kırılma desenleri elde edilmiştir. Anı şekilde üretilmiş 2. duvar üretildikten sonra yatay derzleri açılarak FRP ile güçlendirilmek suretiyle dayanım ve yük değişimleri izlenmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış, yapılan çalışmalar 1997 afet yönetmeliğindeki kurallar ve hesap yöntemleri esas alınarak analitik çözümler yapılmış ve yapılan güçlendirme yönteminin geçerliliği ve uygulanabilirliği sorgulanmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Genel Çalışmalar

Türkiye'de yığma yapıların yapısal davranışları ve depreme karşı dayanıklılığı hakkında yapılan teorik ve deneysel çalışmalar yok denecek kadar azdır. Fakat son yıllarda meydana gelen depremlerde, yığma yapı hasarları büyük maddi ve can kayıplarına neden olmuştur. Dolayısıyla bu konuda yapılan çalışmalar hız ve yoğunluk kazanmıştır.

Burada konu ile ilgili bazı deneysel çalışmalardan bahsedilmiştir. İstanbul Teknik Üniversitesinde yıllar önce sürdürülen çalışmalarda uygulanan yöntemler kompozitin denenmesi açısından faydalı olmuştur.

5 sıra tuğladan oluşan küçük bir tuğla duvar elemanı eğimli olarak beton bir prizma içine gömülmektedir. Prizma beton basınç presi altına yerleştirilerek kırılmaktadır. Tuğla duvara uygulanan basınç kuvveti diyagonal olarak etkimektedir. Duvara düşey ve yatay yönde etkiyen yükleme hali için bir model oluşturmaktadır. Bu iki kuvvetin bileşkesi olan basınç kuvveti duvarın göçme modunu (basınç göçmesi - kayma göçmesi) belirleyen bir parametredir. Kayma kuvveti ; Q , Basınç kuvveti ; N ve Presin uyguladığı kuvvet ; P ise; $Q = P \times \cos a$ $N = P \times \sin a$ 'dır. Bu durumda göçme modunu belirleyen parametre m ise; $m = Q \times I \times N$ veya $m = \cot a$ ifadesiyle karşılık bulmaktadır. Daha sonra yapılan diğer bir çalışmada tuğla ve harç göçmenin kayma moduna dönüştüğü m değeri 0.60, boşluklu tuğlada ise 1.0 olduğu gözlenmiştir. Bundan çıkaracağımız sonuç; boşluklu tuğla ile örülen duvarlarda göçmenin öncelikle basınç etkisiyle meydana geldiğidir. Dolayısıyla boşluklu duvarların deprem durumunda çok elverişsiz olduğu sonucu da çıkmıştır. Çünkü bu tip duvarlar deprem kuvveti altında kayma göçmesine varmadan basınç kuvveti göçmesiyle yük taşıyamaz hale gelmektedirler

Bu çalışmalar genelleştirildiğinde, alfa açılarının belli değerler civarını tutmak gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır. Göçme parametresi olan m 'in 0.6 ve 1.00 değerleri aldığı düşünülürse alfa açısının dolu tuğlada 60° , boşluklu tuğlada 45° civarında olması gerektiği bulunur. Bu çalışmalar boşluklu tuğla duvarlar deprem etkisinde kayma moduna bile varmadan ezildiğini ve böylece depreme dayanıklılığı önemli ölçüde azaldığını gösterir.

Diğer bir araştırmada, son yıllarda İtalya ' da Pavia Üniversitesi'nde yapılmış olan deneylerdir. Bu deneylerde yapı davranışını karakterize eden yükseklik/genişlik oranları farklı iki tip numune kullanılmıştır. Bu numuneler üzerinde yarı - statik, pseudo - dinamik ve dinamik deney yöntemleri uygulanmış elde edilen sonuçlar kendi aralarında ve sayısal yöntem sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Örneğin; yarı - statik deney yönteminde duvar numunesi betonarme bir plağın üzerine oturduktan sonra sabit düşey yük ve yatay yüke maruz kalmıştır. Duvar hatılın üzerine boyutu sehim koşullarını sağlayan bir çelik profil yerleştirmiş ve sabit düşey yük hidrolik kollar ile profilin iki ucunda uygulanır. Yatay yük ise deplasman kontrollü yükleme sistemiyle artan değerlerle adım adım verilmiştir. Duvar numunesinin deplasman ölçerlerle donatılması sayesinde oluşan deplasmanlar gözlenmiş ve yüklemeye ait diyagramlar yükleme -boşaltma eğrileri ile ifade edilerek çizilmiştir. Bu deneylerde yükseklik / genişlik oranı fazla olan yüksek duvarın alçak duvara oranla daha esnek bir davranış sergilediği ve %0.6 eğiminde çatlakların oluştuğu ve yük altında basit bir sallanım hareketi yaptığı gözlenmiştir.

Alçak yığma duvarda son yatay yük altında %0.2 eğimli çatlaklar oluşmuş, duvar gevrek davranmış ve kesme etkisinde hasarlar meydana gelmiştir. Alçak yığma duvarın gevrek bir davranış sergilediği görülmüştür.

Başka bir çalışma da Illinois Üniversitesinde yapılmıştır, burada test numuneleri 1917 yılında inşa edilmiş bir binadan hasar görmeden çıkartılıp laboratuvar koşullarında teste tabi tutulmuştur.

Sabit düşey yük altındaki duvar numunelerine yatay yük uygulanmış, her numune duvarına deplasman kontrollü yükleme yapılmıştır. Bütün numunelerde gözlenen oranlar birbirlerine oldukça yakındır. Numunelerde ölçülen düşey basınç gerilmeleri 0.52 ile 0.99 Mpa arasında değişmektedir. Yığma duvar olmasına rağmen son hasardan sonra dahi duvarda tamamen bir göçme gözlenmemiştir. Eğilme çatlakları duvarın topuk bölgesinde meydana gelmiştir. Yatay kuvvet son yükün %40 'ı mertebesinde iken oluşmuştur.

Marfia ve ark. (2000), yaptıkları çalışmada, bileşik malzemelerle takviye edilmiş yığma yapı malzemelerinin tepkilerinin değerlendirilmesinin mikromekanik soruşturmasını yapmışlardır. Yığma yapı harçlarını bir dizi içinde (yatay ve düşey derzler) blokların düzenli bir şekilde heterojen bir ortamda yerleştirilmesi olarak almışlardır. Homojenleştirme işlemi takviyeli yığma yapı problemlerinin bir boyutu, blok ve harçlarda gelişen hasar ve plastikliği göz önünde tutmak için geliştirmişlerdir. Bundan başka, fiber destekli plastik takviyesinin gevreme özelliği izah edilmiştir. Aynı zamanda yığma yapı elemanlarından bileşik katmanların etkilerinin tabakalar halindeki dizilim modeli (delaminasyon) ele alınmıştır. Sayısal işlemleri (prosedür) gelişmiş denklemlerin Euler entegrasyonu ile geri beslenmesi ile kemer uzunluk metodu temelinde oluşturmuşlar, takviyeli yığma yapı davranış çalışmaları için geliştirmişlerdir. Malzemelerin eksenel ve eğilme tepkileri ile ilgili nümerik uygulamalara yer verilmiştir.

Luciano ve ark. (1998), yaptıkları çalışmada, yığma bir yapının mekanik davranışını incelemişlerdir. Yığma yapı malzemeler, bir harç derzinde blokların düzenli yerleşimiyle gerçekleştirilen bir bileşik malzeme olarak değerlendirilmektedir. Bundan dolayı, bir yığma yapı panel duvar düzleminde sonlu kalınlığı ve R2 periyodikliği olan üç boyutlu heterojen bir gövdedir. Yığma yapının genel özelliklerini görmek için mikromekanik yaklaşım önerilmektedir. Sonra FRP katmanlı saçlarla kuvvetlendirilmiş bir duvar (Bu duvarın yüzeyine bu saçlar eklenmiştir) analiz edilmektedir. Desteklenmiş ve desteklenmemiş yığma yapının genel davranışını modellemek için; harcın, bloğun ve FRP saçların ilerleyen hasarını da dikkate alarak basit bir homojenleştirme tekniği önerilmektedir. İzotropik viskozite ve elastik hasar modellerinde, harç ve blok için iki farklı hasar kriteri

uygulanmaktadır. Daha fazlası, destek için kolay kırılğan (gevrek) hasar modeli kullanılmaktadır. Son olarak, desteklenmiş ve desteklenmemiş yığma yapı panellerin üzerindeki hasarı incelemek için önerilen prosedür uygulanarak sayısal uygulamalar geliştirilmektedir.

Guinea ve ark. (2000), yaptıkları çalışmada, tuğla yığma binanın Mod I kırığının analizi için mikromekanik bir model sunmaktadır. Analiz, güvenilir (yâda yapıştırıcı) kırılma modelinin aracılığıyla tuğla ve harç kırığının detaylanmış model temellerine dayanmaktadır. Tuğla ve harç için kırık özellikleri spesifik testlerle bağımsız bir şekilde tespit edilmeli ve ardından tuğla ve harç birleşimlerine ayrı ayrı uygulanması ile nümerik modele konmalıdır. Birleşik kırık modeli, bu yolla yığma yapı panellerinin doğru olarak kırılma tahminiyle elde edilir.

Binda ve ark.(1997), yaptıkları çalışmada, uygun harçların enjeksiyonu ile taş yığma yapı duvarların, doğru bir şekilde seçilen ve kontrol edilen malzemelerle (mevcut ve yenileri ile) sağlamlaştırılması ve tamiri konusunda çok değerli bir yol olarak ortaya koymuşlardır, tekniğin başlangıçta yapı yerinde enjeksiyon testleri ve enjeksiyonunun faydası yoluyla ayarlanması gerektiği düşünülerek, boşlukların sağlam kısımlarını doldurmuşlardır.

Deneyimlerinde gösterdiği gibi, yukarıda sayılan ihtiyaçların (gereksinimlerin) icrası, bilginin gerçek seviyesi, yığma yapı tipolojilerinin ve malzemelerin sınıflandırılması ve hatırı sayılır (oldukça fazla) araştırma çabalarının hem laboratuarda hem de yapı yerinde gösterilmesi ile mümkün olduğunu ortaya koymuşlardır. Yapılan çalışma da, Padova Üniversitesi ve Milan Politeknik üniversitelerinin ortaklaşa birkaç yıldan beri yürüttüğü araştırma programı, Araştırma Bakanlığının finansal desteği ve işbirliği ile (CNR), kültürel Miras Bakanlığı ve bazı sanayi şirketlerinin desteği sonucu ortaya konmuştur (ITEA, ISMES).

Metodoloji (yöntembilim), şimdiye kadarki uygulamaları büyük ölçüde üç ana adıma dayanarak tanımlanmıştır:

- Duvardan alınmış olan malzeme örneklerinin laboratuarda tanımlaması ve enjekte edilebilme test için enjeksiyon boyunca uygun doldurulacak harçların seçimi
- Kontrol noktalarının bulunduğu yere enjeksiyon
- Flatjack testi ile enjeksiyonun etkisinin ölçülmesi ve harcın içine işleme ve difüzyonunun denetlenmesi.

Mayrhofer (2001), yaptığı çalışmada, yığma yapı duvarların derz aralıklarında gevreklik (kırılganlık) ve esnekliğin artmasını güçlendirme ile değiştiğini, dinamik kuvvet artışının, takviyesiz tuğla işçiliği ile kıyaslandığında 4 faktörden biri tarafından oluştuğuna vurgu yapmışlardır. Desteklenmiş kâgir duvarların, yük uygulama şartlarında kullanılabilirliği, deneysel test sonuçları ve tasarım kuralları etraflıca anlatılmıştır. Yük uygulaması şartları altında yığma yapı duvarların dinamik davranışları hakkında hemen hemen hiçbir bilgi mevcut değildi. Takviyeli yığma yapı duvarlarına ait geçerli sonuçlar statik yükleme şartlarında odaklanmıştır. Şayet patlamalar meydana gelirse, yumuşak malzeme davranışı gereklidir. Yığma yapılar eğilme şartlarındaki gevrek davranışları, takviye çelik donatıların ilavesi ile daha yumuşak davranış kazandırılarak iyileştirilebilir. Analizin yapılması için takviye sadece yatay derzde uygulanmıştır. Yatay derzde takviye edilen yığma yapı duvarları şok tüneline incelemiştir. Farklı tuğla malzemelerin etkisi, esneme ve yük taşıma kapasitesinde çelik takviyenin miktarı statik olarak test edilmiştir. Farklı destek şartları, tek, sabitlenmiş ve kavis (kemer) etkileri araştırılmıştır. Statik davranışın tespitinde elastikiyet (uzama) hattı teorisi uygulanmıştır. Dinamik tepki serbest sistemin prensibi üzerine hesaplanmıştır. Basınç – itme diyagramları geliştirilmiştir.

Juha'sova'a ve ark. (2001), yaptıkları çalışmada, yığma yapıların sismik (depremsel) tepkilerini incelenmişler ve 6DOF sarsma tablasında geniş ağır modelin sınırlı şartlarda testi süresince modellemesini özetlemişlerdir. Çalışmanın temel hedefi, orta ve kuvvetli sismik etkiler içeren eski yığma yapıların dinamik direnç kapasitelerinin nasıl azaltılacağıdır. Kuramsal (teorik) ve nümerik (sayısal) analizlerin sonuçları herhangi bir test başlamadan önce başlangıç oransal hesaplamaları içerecek şekilde karşılaştırmışlar, geniş yığma yapı modelinin sarsma tablası ile uyarması boyunca sınırlı şartlara ulaşıldığı vurgulanmıştır. Güçlendirme ve

yeniden düzenleme (retrofitting) ve onların özel lifli harçlar kullanılarak tamiri ve yapının yığma bölümlerinin güçlendirilmesi hakkında tartışmalar yapılmıştır.

Salonikios ve ark.(2003), yaptıkları çalışmada, FEMA 273 yönergesinde önerilen mevcut yapıların sismik kapasitelerinin değerlendirilmesi için, güçlendirilmemiş yığma yapı tip plan çerçevelerin durumları için uygulanmıştır. Mukayeseli yük artırımı analizlerinin yığma yapı plan çerçeveleri için elde edilen sonuçlarını sunmaktadır. Hesaplamalar SAP2000 Nonlinear ve CAST3M programları tarafından gerçekleştirilmiştir. SAP2000 Nonlinear programı analizler için doğrusal elemanlar ile uygun plastik mafsallar kullanılarak modellemek için kullanılmıştır. CAST3M programı analizler için birleşme elemanları ve ayırık tuğladan veya homojen plan elemanlarından biri kullanılarak, modellerin iki farklı tipi incelemiştir. Analitik sonuçlardan, sismik yanal kuvvetlerinin üç farklı dağılımı altında yığma yapı çerçevelerin elastik olmayan davranışları ve gerilimleri faydalı sonuç olarak çizilmektedir.

Giordano ve ark. (2002), yaptıkları çalışmada, yığma yapıların analizi için farklı nümerik tekniklerin uygulanabilirliğini incelemişler, tam ölçekli yığma yapı örneği üzerinden elde edilen deneysel test verileri ile hesaplanan sonuçları karşılaştırmışlardır. Üç yaklaşım hesaba katılmıştır. Yani, homojenize malzeme ve leke testi çatlaklarını oluşturan kural kavramları temeline dayanan standart FEM modelleme stratejisi, HKS tarafından ABAQUS ticari program kodlarının uygulandığı sürüm kullanıldı. Visual CASTEM 2000, dikey ve yatay harç birleşimlerinin mevcudiyetinde benzetilmeye çalışılan süreksiz elemanlarla, sonlu elemanlar metodunun uygulanması için kullanılmıştır. Sonuç olarak, ITASCA grubu tarafından UDEC yazılımı Ayırık Eleman Modellemesi için benimsendi. Bu tip nümerik metotların izlenmesi, onların kuramsal görünümünün kısa tanımı kadar, basit karşılaştırma ile de elde edilir. Bunun yanında, genellikle karar verilmesi oldukça zor olan kullanıma hazır giriş parametre değerleri, büyük çaplı hassasiyet analizleri ve deneysel geçerlilikten oluşan bilgilerde önerilir. Monoton bir yolla artan yük altında yığma yapı modellemesinde bu tür değerler yeterliliği ispatlanmış sonuçlar verirler ve bu sebeple pratikte faydalılıkları olabilir.

Valluzzi ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada, aşırı yükleme olayına tabi tutulmuş tuğla yığma yapıların mekanik davranışını sunmuşlardır Bu şekilde çok özel hasara maruz kalmış yapılar, uzun zamanın etkisi ile ani çökmeye sebep olabilecek yayılan ince çatlaklar göstermiştir. Yatak derzine çelik çubukların yerleştirilmesi temeline dayanan güçlendirme tekniği teklif edilmektedir. Deneysel testler ve nümerik analizler, çubukların varlığının çatlama olayının kontrolü ve yapının istenen güvenlik şartları içinde tutulmasına müsaade ettiğini göstermiştir. Milan Politeknik tarafından yığma yapı kulelerinde yürütülen iki vaka çalışmasından bahsedilmiştir. Sonuç olarak, iki yığma yapı kilisesi için uygulanan güçlendirme tekniğini kısaca tanımlanmıştır.

Gambarotta ve ark. (1997), yaptıkları çalışmada, rehber aldıkları makalede önerilen harç birleşim noktaları için hasar modeli, tuğla yığma yapı kesme duvarlarının plan düzlemindeki yüklemelerinin yanal tepkilerinin değerlendirilmesi için genişletilmiş bir yaklaşım uygulamışlardır. Burada dikkate alınacak süre (bölünmemiş şey) modelinde, sırasıyla harçlı düşey derz ve tuğlaların üniteleri ve harç yatak birleşimlerini temsil eden katmanlardan oluşmuş çok katlı eşit bir ortamda varsayılan basitleştirme temelindedir. Tuğla yığma yapı için denklemler oluşturan, tuğla katmanları için oluşturulan basit hasar denklemleri ve rehber makalede önerilen hasar modelini içeren bir homojenleştirme yöntemi boyunca elde edilmektedir. Sonlu elemanlar analizi kullanılarak oluşturulan modelin tuğla yığma yapı kesme duvarlarının plan düzlemindeki yüklü yanal tepkileri ya düşey yükler üzerine eklenen döngüsel yatay etkiler ile ya da dinamik yükler ile ki bunlar sismik etkileri temsil etmektedir.

Stierwalt ve ark. (2004), yaptıkları çalışmada, FRP kompozitleriyle güçlendirilmiş yığma duvarların sünme davranışıyla geleneksel donatılı yığma duvarların davranışının karşılaştırılıp incelemiştir. 8 adet tam ölçekli, donatısız beton yığma duvar, uzun süreli düzlem dışı sehmin denenmesi için imal edilmiştir. Bu duvarlar dıştan kenetlenmeli CFRP veya GFRP kompozitleriyle güçlendirilmiştir. 2 ilave duvar, elemanlarının merkez hücrelerinde harçla kuşatılmış donatıyla üretilmiştir. FRP donatılı duvarlardaki sünmeden dolayı uzun süreli sehimler çelik donatılmış duvarlarından %22-56 daha yüksek olduğu görülmüştür.

Hendry (2002), yaptığı çalışmada, çok katlı yük taşıyan yığma yapıların İngiltere ve Avrupa komitesi tarafından 20 Y.Y ikinci yarısında yapısal dizaynın gelişmesi konusu anlatılmıştır. Bu türdeki uzun yapılar yüzyılın ilk yarısında kullanılamaz durumda iken, aşırı kalın duvarların deneysel kurallarla yönetilerek dizaynına başlandı. Yük taşıyan duvarlarda mühendislik ilkelerinin uygulanmasına, 1949 yıllarında temel kuralların pratikçe belirlenmesine İsviçre ve İngiltere öncülük etmiştir. Bu gelecek yıllarda da yapıların dizaynı için kullanıldı. Fakat bu sınırlı araştırma çalışmalarında pek çok temel problemlerle karşılaşıldı ve nihayet 1978 yılları içinde tam yeni kurallar, sınır durum ilkelerinin temeli yayınlandı. Paralel çalışmalar, uluslar arası organizasyon tarafından ve sonraları EU 1995’de EU’ nun ülkelerinin kullanması için planlanan taslak kuralların yayınlanmasına yol açtı. Bütün stabilitenin, güvenliğin, duvarların basınca karşı dizaynının, basınç ve yanal yükler altındaki zorunlu problemlerin çözümü yapıldı. Bu çalışma özetlenirken problemlere yaklaşımda EK ve EU yönetmelikleriyle araştırılmış çalışmalarla ilişkili referanslar ve özellikle bu konularla ilgili yazarların çalışmaları benimsenmiştir.

Sadatmanesh (1997), yaptığı çalışmada, Dünya çapında eyaletlerin alt yapısının bozulduğu dikkate alınırsa, onarım ve imalat araç gereçlerinin iyileştirilmesi için sınırlı kaynaklar mevcut olduğundan, altyapıyı tekrar geliştirmek için etkili ve ekonomik teknikler bulmak zorunluluğu vardır. Bu çalışmada, yığma ve beton yapıların iyileştirilmesi ve güçlendirilmesi için fiberle kuvvetlendirilmiş plastikler gibi modern materyallerin kullanımı sunulmuştur. FRP’ nin 3 farklı uygulaması tartışıldı. 1. uygulamada, kompozit levhaların nihai mukavemetini artırmak için ana kirişlerin alt yüzeyine epoksi uygulanarak sağlamlaştırma yapıldı. 10’ un üzerinde analitik ve deneysel çalışmanın sonucunda 4,88 m. uzunluğunda ana kirişlerin, güçlendirme tekniğiyle önemli mukavemet kazandığı görüldü. 2. uygulamada, FRP şeritler beton köprü kolonların sismik tepkilerini belirlemek için dışta tutularak kullanıldı. Bunlar, güçlendirilmiş kolonların histerezis çevriminin sonucunda, uyarlanamayan kontrol numuneleriyle karşılaştırıldığı zaman, yüzeyde 4 katı kadar sağlamlık kazancı ortaya çıktı. 3. uygulamada, kompozit dokular, takviyesiz yığma duvarların yüzeyine epoksiyle sağlamlaştırılarak sismik yükleme esnasında düzlem

içi ve düzlem dışı tepkiler belirlendi. Bu teknikle aynı zamanda önemli gelişme davranışları gözlemlenmiştir.

Cluni ve ark. (2003), yaptıkları çalışmada, homojen bir yaklaşım mekanik yığma yapıların karakteristiğini değerlendirmede bu çalışmada sunulmuştur. Gerçek bir yığma yapıyı değerlendirmek için, periyodik yığma yapının literatüründe kullanılan periyodik hücrenin davranışı hacim element temsiliyle gerçekleşir. Bu hacim sınırlı deney formüllerine dayalı bir formül uygulanarak bulunur. Homojenleşme rijit vektör yoluyla hiyerarşik ilgili temel tahminlerin ve doğal sınırlanır şartların göz önüne alınmasıyla elde edilir. Dahası ortalama bir topluluk verilen yapıda boşluktaki deney - penceresi farkı göz önüne alarak gerçekleşir. Bir uygulama önerilen yaklaşımın etkililiğini gösterir.

Corradi ve ark. (2002), yaptıkları çalışmada, 1997–1998 yılları arasında gerçekleşen Umbria-Marchigiano deprem yapılarından elde edilen kargir yapı duvar panelleri üzerinde gerçekleştirilen araştırma sonuçları mevcut bulunmaktadır. Bu proje iki kısımdan meydana gelmektedir; Bu testler kargir yapı hareketlerini tanımlayabilmek için doğru parametreler kullanabilmek amacıyla laboratuvarlarda yapılmıştır. Laboratuvar testlerine gelince, silindirik taş örnekleri üzerine çok çeşitli basınç testleri yapılmıştır. Önceden üzerinde doğal durumda test yapılmış panellerden taş örnekleri elde edilmiştir. Deneyler üç duruma bağlı olarak gerçekleştirildi. Doğal durumda yapılan deneylerde (basınç testi, diagnol basınç testi, kesme-basınç testi) uygun kesme tekniklerinin karşılaştırılması için farklı boyutlarda paneller kullanıldı. Kesme direnci, Young ve kayma modülleri ölçülmüştür. Bu sonuçlar önerilen farklı standartlarda ki değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu deneysel araştırma Umbria da eski binalarda ki bazı tipik kargir yapı duvarların mekaniksel özelliklerini karakterize etmeye müsaade etmektedir. Bu sonuçlar kargir yapı dokusu ve bölümlerinin analizleri ile birlikte rapor edilmektedir.

Hendry (2001), yaptığı çalışmada, çağdaş yığma duvarların imalatının incelenmesi, uygulamaların özetle anlatılması ve bu imalatın oluşturulmasının avantajlarını sunmuştur. Yığma materyaller, kil, beton ve kalsiyum silikat içeren birim boyutlarının, biçimlerinin ve renklerinin çok çeşitlilik içereceği şekilde

üretilebilir. Harçlara genellikle çimento, kum ile diğer kireç veya plastikleştirici ilave edilerek işlenebilirliği artırılır. Son zamanlarda, boyutlandırma birimlerini doğru olarak kullanmak, ince sıva harçları ve ısısal özelliklerin geliştiği harçları içeren harçların yeni türleri geliştirildi. Yük taşıyan ve yük taşımayan duvarlar için dizaynın önemi özetlendi, imal metotları ve yer uygulamaları amaçlandı, ekonomikliği ve verimliliği artıracak tanımlamalar yapıldı. Anahtar referansın listesi verildi.

Hao ve ark. (2001), yaptıkları çalışmada, hareketli halde bulunan yer altı patlamalarıyla yer kabuğunun hareket etmesine maruz kalan beton çerçevelerle hasarlı binalar üzerinde kargir yapı dolgu etkilerini araştırmaktadır. İki katlı çıplak betonarme çerçeve ve farklı dolgu modelleri kullanılan kargir yapı çerçeveleri analiz edilmektedir. Kargir yapıya kontinum malzeme modeli uygulanmaktadır. Kargir yapının ortotropik elastik özellikleri, mukavemet zarfı ve hasar eşiği örnek birim elementi analizleriyle homojenize edilir. Kırılma göstergeleri ve plastik göstergeler çerçevenin güçlendirilmesinin plastik akışını ve beton hasarını gösterme özelliğine göre tanımlanır. Güncel çalışmalara dayanan sayısal sonuçlar bizlere, kargir yapı dolgusunun sadece çerçevenin hasar seviyesini değil, aynı zamanda hasar modelini de etkilediğini göstermektedir. İskan binalarının yer altı mühimmat depolama alanlarına olan iskan binalarının uzaklıkları için ampirik düzenlemeler gözden geçirilerek değerlendirilmektedir. Yer altı patlamasının üzerindeki yüzey yapıları için ampirik hasar ölçülerinin modern betonarme yapılar için oldukça korunumlu olduğu fakat, çerçevelerdeki kargir yapı dolgusu için de makul seviyede olduğu ortaya çıkmıştır.

Yorulmaz ve ark. (1996), yapıları çalışmada, yapı taşı olarak taşıyıcı delikli tuğla, Ytong ve karkas dolgu tuğlası (boşluklu tuğla), harç olarak da çimento harcı ve melez harç kullanarak üretilen model duvar numunelerinin iki istikametli yükleme altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Numunelerde iki istikametli yükleme hali, yatay derzleri ile Çeşitli açılar yapan basınç kuvvetleri uygulanarak elde edilmiştir. Numunelerin taşıma gücünü kaybetmesinin, derz boyunca harç ve yapı taşı arasındaki bağın sona ermesiyle meydana gelen kayma kırılmaları veya duvar basınç mukavemetine erişilmesiyle meydana gelen basınç kırılmaları şeklinde olduğu gözlenmiştir. Kırılma hali için kayma gerilmesi-normal gerilme (x-a) bağıntısının, iyi

bir yaklaşımla, kayma kırılmaları bölgesinde bir doğru ve basınç kırılmaları bölgesinde bir ikinci derece parabolü olarak ifade edilebileceği saptanmıştır. Şekil 1.1'de örnek bir x-a diyagramı verilmiştir. Kayma kırılmaları bölgesindeki doğrunun eğimi yapı taşı ile harç arasındaki sürtünme katsayısını, sabit terim ise yapı taşı ile harç arasındaki aderans mukavemetini göstermektedir. Bu tezin konusu olan çalışmada, duvar numunelerinin yatay derzleri ile 45° yapan basınç kuvvetleri uygulanarak yüklendikleri de gözönüne alınırsa, x-g diyagramının kayma kırılması bölgesinde sadece bir nokta ile ifade edilen değer tanımlanmıştır.

Begimgil (1991), yaptığı çalışmada, model tuğlalarla örülmüş duvar numunelerinin harçlarına çeşitli katkı maddeleri koyarak, tuğla ile harcın arasındaki aderansın iyileştirilmesi ve tuğla duvarın çekme dayanımını arttırılması amaçlı deney çalışması yapmıştır. Numunelerde iki eksenli gerilme hali oluşacak şekilde yükleme yapılmıştır. İki tip matematik model sonlu elemanlarla çözülerek, deney sonuçları kıyaslanmıştır.

Itoh ve ark. (2000), yaptıkları çalışmada, betonarme panellerin kayma dayanımları üzerine bir çeşit malzeme kullanarak yaptığı deney çalışmalarını, sınıfı ve dayanımı farklı birkaç çeşit beton ile tekrarlamış ve aynı metottan yararlanarak analiz etmiş ve önerilen metodun uygunluğu araştırmışlardır. Farklı beton ve donatı sınıflarına ve donatı oranlarına sahip numuneler düşey düzlemde denenmiştir. Numunelerde basit kayma hali yaratılması amacıyla, yirmi dört adet yük veren ile numunenin diyagonalleri doğrultusunda çekme ve basınç kuvvetleri uygulanmıştır ve şekil değiştirmeler, yerdeğiştirme ölçerler ve şekil değiştirme ölçerler yardımıyla ölçülmüştür. Deneysel ve teorik çalışmaların değerlendirilmesi ile farklı dayanımlardaki betonlar kullanılmasına rağmen, önerilen metodun yeterli yaklaşıklıkta sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Uygulanan deney tekniğinde yükün çok sayıda yük veren tarafından uygulanması nedeniyle, yük dağılımının uniformluktan uzaklaşması söz konusu olabilir. Ayrıca, numunenin ağırlığının yüklerin etkidiği düzlemde olması bir dezavantaj yaratabilir.

Yorulmaz ve ark. (1997), yaptıkları deney çalışmasında, yedi adet yığma dolgu duvarlı ve üç adet dolgu duvarsız, küçük ölçekli, tek açıklıklı tek katlı betonarme

çerçevelerin, yatay yükler altında göçme mekanizmalarını, yük taşıma ve enerji yutma kapasitelerini araştırmışlardır. Dolgu duvarsız çerçevelerin analizi için bilinen metotlar kullanmış ve deney sonuçları ile teorik hesap yöntemlerinden elde edilen değerlerin uyumlu olduğunu gösterilmiştir. Yığma dolgu duvarlı çerçevelerin çatlak oluşmadan önceki ve sonraki davranışları iki farklı metotla analiz edilmiş ve bu sonuçların da deney sonuçları ile uyumlu olduğu belirtilmiştir.

Zarnic (1985), yaptığı çalışmada, betonarme çerçeve ve yığma dolgu duvardan oluşan sistemlerin, monoton artan yatay yükler ve dinamik yatay yükler altında elastik olmayan davranışlarını modelleyen iki matematik hesap yöntemi önermiştir. Birinci hesap yöntemi, şekil değiştirmeler ve taban kesme kuvveti arasında ilişki kurmaktadır ve yığma dolgu duvarlı çerçevenin yük taşıma kapasitesi ve rijitliği hakkında bir fikir edinilebilmesine olanak sağlar. İkinci hesap yöntemi, yapıların dinamik analizi için kullanılan bir bilgisayar programına uygulandığında, dolgu duvarlı çerçevelerin dinamik analizinin yapılmasına imkan verir. Bu yöntemde çerçeve elemanları eğilme yayları, yığma dolgu duvar ise bir çift boyuna basınç yayı olarak modellenmiştir. DRAIN-2D programı kullanılarak elde edilen sonuçlar, otuz dört adet tek açıklıklı tek katlı numuneyle yapılan deneylerin sonuçları ile karşılaştırılmış ve önerilen hesap yöntemlerinin uygunluğu görülmüştür. Yığma dolgu duvarın iki adetten fazla boyuna basınç yayı ile modellenmesi halinde, çerçevelerdeki ve özellikle dolgu duvardaki şekil değiştirmeler daha gerçekçi değerler vermektedir.

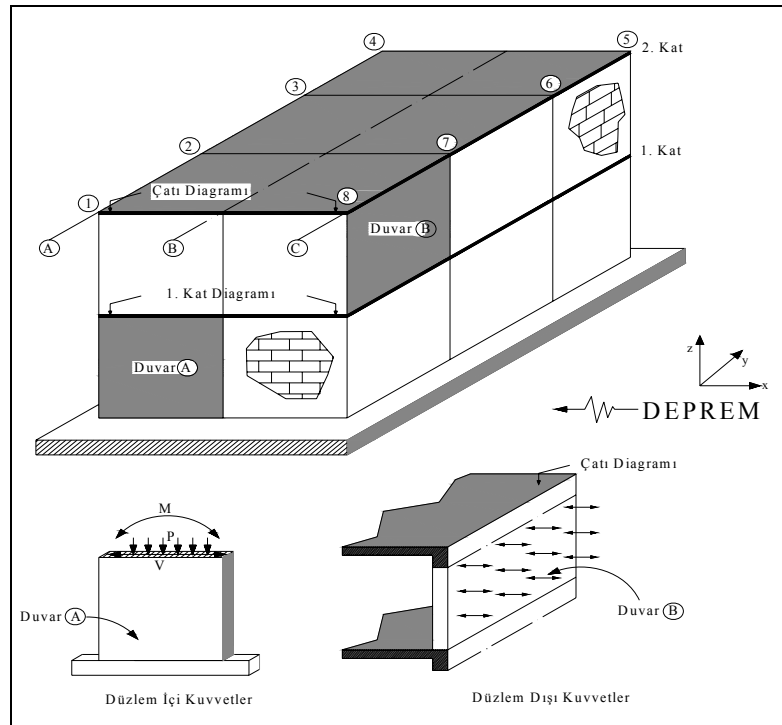
Lafuente ve ark. (1994), yaptıkları çalışmada, standartlarda yer alan basit deney tekniklerinin, gerçek, boyutlardaki duvarların davranışlarını doğru olarak yansıtmadıklarını belirtmiş ve yatay yükler etkisindeki yığma duvarlar için deneylerden elde edilen sonuçların, bazı katsayılar kullanılarak düzeltilmesinin Önerildiğini söylemişlerdir.

Kaya ve ark. (2003), yaptıkları çalışmada, hasarlı veya kısmen yıkıma uğramış yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesini incelemişlerdir. Onarım ve güçlendirme tekniklerinde betonarme ve çeliğin hangi durumlarda ve ne şekilde kullanılabileceği

üzerine çalışmalarını yoğunlaştırmışlardır. Az veya çok hasarlı tarihi ve yığma yapıların onarımları ve güçlendirme tekniklerini incelemişlerdir.

Kanıt ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada, yığma yapıların sismik davranışlarını özetlemişlerdir. Düzlem dışı tersinir yükler ile yüklenen yığma duvarların deneysel sonuçlarını sunmuş ve açıklamışlardır. Tersinir yükün yönüne göre duvar davranışını gözlemlemişler, erken göçmenin duvarın çevre mesnetlerini çekme gerilmesine maruz bırakan yükleme altında oluştuğunu tespit etmişlerdir.

Kanıt, R. (2006), yaptığı çalışmada, düzlem dışı yüklenen yığma duvarın kırılma davranışını, analitik ve deneysel olarak araştırmıştır. Düzlem dışı yüklenen yığma duvarın kırılma davranışı, gerçekçi boyutlara sahip bir prototip duvar üzerinde deneysel olarak araştırılmıştır (Şekil 2.1). Deprem etkisini modelleyen tersinir, düzlem dışı yükler altında yığma duvarın, betonarme döşemde oluşan akma çizgilerine benzer kırılma çizgileri oluşturarak kırıldığını tespit etmiştir.



Şekil 2.1 Depreme maruz yığma duvarların düzlem içi ve düzlem dışı yüklenmesi

x-yönünden gelen deprem, x-yönünde ivmeler ve bu ivmelerin neden olduğu sismik kuvvetler oluşturduğu, bunun sonucunda (A) Duvarı, düzlem içi tersinir kesme kuvvetleri (V) ve momentlere (M) maruz kaldığı, ayrıca, öz yükler, hareketli yükler ve devrilme momentleri etkisi ile eksenel (P) yükü oluşturduğunu kabul etmiştir.

x-yönünden gelen deprem (B) Duvarı'nda, duvar düzlemine dik kuvvetler de oluşturur. Bu sismik kuvvetler, (B) Duvarı'nı düzlem dışı sehim yapmaya zorlar. Sismik kuvvetlerin belli düzeyde bir büyüklüğe gelmesiyle, (B) Duvarı düzlem dışı kırılır ve yük taşıma yeteneğini yitirir. Çatı düzeyindeki duvarlardan bazılarının düzlem dışı kırılmasıyla, bir yük olarak çatı katı döşemesi taşınamaz olur. Sonuç, binanın çökmesidir.

x-yönünden depreme maruz yığma bina, doğal periyoduna (T_0) bağlı olarak, x-yönünde ötelenir (Şekil 2.2). Yığma binanın depreme karşı göstereceği tepki, eşdeğer tek serbestlik dereceli bir sistem yapılarak ve eşdeğer etkili kütle ile yüksekliği hesaplanarak basitleştirilebilir.

Kaya ve ark. (2003), yaptıkları çalışmada, yığma yapıların duvarlarının yalnızca düzlemlerine paralel düşey eksenel yüklere maruz kalmadıklarını, özellikle deprem sırasında yığma kâgir duvarların önemli ölçüde yatay kuvvetlere de maruz kaldıkları üzerinde araştırma yapmışlardır. Düşey yükleri de taşıyan duvarlar, bir deprem sırasında hem düşey hem de yatay kuvvetlere maruzdurlar.

Bir duvara kendi düzlemi içinde ve derzlere paralel yatay kuvvet uygulanınca kırılma ya derzlerde yatay kesme veya diyagonal çekme biçiminde olmaktadır. Tuğla duvarın taşıdığı normal yük bazen kesme dayanımını artırmaktadır. Tuğla duvarın kesme dayanımı ya derzlerin düzlemi içinde yatay kesme aderans dayanımına ya da makaslama çekme dayanımına bağlı olacaktır. Birinci durumda kesme aderans kırılması halinde dayanım şu şekildedir;

$$\tau_t = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_t \sigma_y} \quad (2.1)$$

$$\tau_b = v_{b0} + \mu \sigma_y \quad (2.2)$$

Burada;

τ_b : kesme aderans kırılması durumunda gerilim,

v_{b0} : Sıfır eksenel basınç durumunda yalnızca harcın aderans dayanımından oluşan kesme aderans taşıma gücü,

μ :tuğla ile harç arasındaki sürtünme katsayısı, σ_y duvardaki eksenel yükten oluşan gerilmedir.

Formül (2.2)'deki $v_{b0} = 2-10 \text{ kg/cm}^2$, $\mu = 0.45-0.88$ değerleri arasında değişmektedir. Gerçek yapıların duvarlarındaki $\sigma_y =$ eksenel yükten dolayı oluşan basınç, duvarın yapının kaçınıcı katında olduğuna, yapının toplam kaç katlı olduğuna ve duvar kalınlığına bağlıdır. Depremlerde yığma yapıların en çok zemin kat duvarlarında kesme kırılmaları olduğu bilinmektedir. (2.2) nolu formülün daha çok basınç gerilmelerinin küçük olduğu duvarlar için geçerli olduğu ileri sürülmektedir. Bir başka deneyin sonuçlarına göre harç cinsine bağlı olarak şu formüller verilmektedir:

$$\tau_b = 5,14 + 0,425 \sigma_y \quad \text{kg/cm}^2 \text{ (çimento harçlı)} \quad (2.3)$$

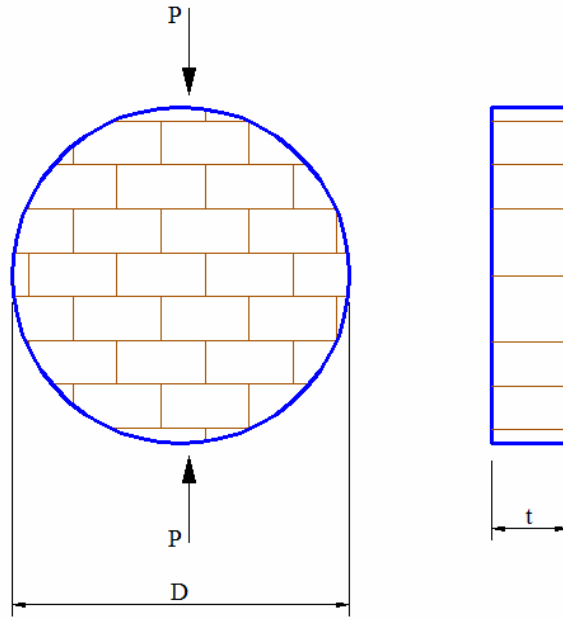
$$\tau_b = 4,02 + 0,407 \sigma_y \quad \text{kg/cm}^2 \text{ (melez harçlı)} \quad (2.4)$$

İkinci tip kırılma durumunda (Makaslama çekme kırılması) elemanın içinde direkt basınç ve kesme gerilmeleri σ_y ve τ 'nin oluşturduğu çekme gerilmeleri kırılmayı getirmektedir. σ_y ve τ gerilmelerinden asal basınç gerilmesi P_c ve çekme

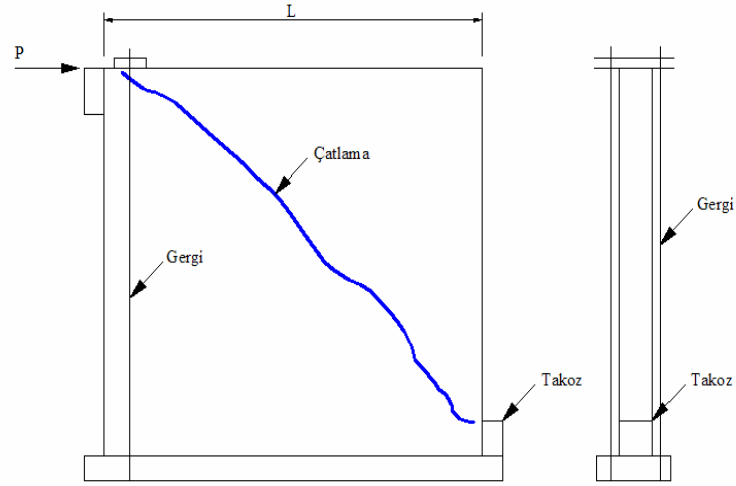
gerilmesi P_t meydana gelmektedir. τ_t makaslama çekme kırılmasını oluşturan kesme gerilmesi olsun:

$$\tau_t = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_t \sigma_y} \quad (2.5)$$

Tuğla duvarın çekme dayanımının bilinmesi gerekmekte ve bunun için de Silindir Yarma deneyi yapılmalıdır (Şekil 2.2). Duvarların kesme dayanımını bulmak için en çok kullanılan deney, Racking (Cendere) deneyidir (Şekil 2.3).



Şekil 2.2 Silindir Yarma Deneyi



Şekil 2.3 Racking Deneyi

2.2. FRP İle İlgili Literatür

Bu konuda ilk çalışmalar Almanya'da GFRP (kalın cam yünü lifleri ile güçlendirilmiş kompozit plakalar) ile başlamıştır.

İsviçre'de ince CFRP ile deneyler yapılmış. (Meier 1987). Bu çalışmalar, kesit analizlerinde kompozit kesit teorisinin geçerliliğini göstermiştir. (Strain Compatibility Method).

Ehsani ve ark. (1998), A.B.D. de yaptıkları çalışmada, GFRP ile güçlendirilen betonarme küçük ve büyük ölçekli kirişlerde, uygun epoksilerin seçimi ile ilgili testler yapmışlar ve bu tekniğin başarısının büyük ölçüde kullanılan epoksiye bağlı olduğunu göstermişlerdir.

- Kullanılan epoksi yeterli rijitlik, mukavemet ve sertliğe sahip olmalıdır.
- Seçilen uygun epoksi ile yapılan güçlendirme için hesaplanan (analitik model) ile deneysel sonuçlar uygunluk göstermiştir. Kirişlerin maksimum kapasitesi 4 kat artmıştır.
- Benzeri çalışmalar Ritehie ve ark. (1991) tarafından da yapılmıştır.

İsveçli araştırmacılar CFRP ile güçlendirilmiş kirişte 100 defa donma/çözülme deneyi sonucunda hiçbir mukavemet kaybı olmadığını göstermişlerdir.

Triantafillou ve ark. (1992), CFRP 'nin önerilmeli olarak kirişlere yapıştırması ile analitik ve deneysel çalışma raporları sunmuştur.

Meier ve ark. (1993), Swiss Federal Testing Lab. da yorulma testleri yapılmış ve iyi sonuçlar alınmıştır. Önerilen teknik, Avrupa'da, bazı köprülerin güçlendirilmesinde uygulanmıştır.

Ehsani ve ark. (1997), yaptıkları araştırmada, FRP ile güçlendirilen dolgu duvarlarda kayma davranışını incelemiş ve sonuçlarını açıklamıştır. Sonuçlar bu yöntemle güçlendirilen örneklerin mukavemetlerinin ve sünekliklerinin arttığını göstermiştir. Liflerin yönü, elemanın rijitliği üzerinde çok etkili olduğu görülmüş fakat taşıma gücünü etkilememiştir.

Norris ve ark. (1997), yaptıkları çalışmada, betonarme kirişlerin Karbon FRP ile güçlendirilmesi ile ilgili analitik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda CFRP plakaların kirişlerin mukavemetini ve rijitliğini önemli ölçüde arttırdığı ispatlanmıştır.

CFRP liflerinin çatlaklara dik olarak yerleştirilmesi durumunda mukavemette ve rijitlikte çok büyük artış sağlanmış ve CFRP uçlarındaki gerilme yığılmalarından dolayı beton ezilmiş ve gevrek kırılma olmuştur.

CFRP liflerinin çatlaklara dik olmaması durumunda mukavemette ve rijitlikte daha az artış olmuş ama daha sünek bir davranış gözlenmiştir.

Saadatmenesh ve ark. (1997), yaptıkları çalışmada, standart altı dikdörtgen betonarme köprü kolonunun FRP ile güçlendirilmesi deneyleri yapmışlardır.

Araştırma sonuçları, bu teknik ile güçlendirilmiş kolonlarda önemli ölçüde iyileşme olduğunu göstermiştir. Bu testlerden aşağıdaki sonuçları çıkarmışlardır;

1-Eski deprem yönetmeliğine göre yapılmış köprü kolonlarının, boyuna donatıları, potansiyel plastik mafsallaşma bölgesinde, bindirmeli ek şeklinde yapılmış olması nedeniyle çok düşük duktilite seviyelerinde göçeceği görülmüştür. Durum yeterli sarma donatısı olmamasından kaynaklanmaktadır.

2-Potansiyel plastik mafsallık bölgeleri (uç bölgeleri) FRP ile sarılan kolonların mukavemeti ve deplasman duktilitesinde önemli artış gözlenmiştir. FRP ile güçlendirilen kolonlar çok uygun bir Yük-Deplasman zarfı çizmiştir.

3-Dikdörtgen şekli ile ovalleştirilmiş şekilde güçlendirme arasında önemli bir fark gözlenmemiştir. Ancak araştırmacılar bu konunun daha fazla araştırılması gerektiğini belirtmiştir.

Arizona Üniversitesi'nin January 17,1994 Northridge Kaliforniya depreminde zarar gören Prekast-beton perde duvarların FRP ile onarımı ile ilgili yapmış olduğu çalışmalar Earthquake Spectra, Vol. 13, No:2, May 1997'de yayınlanmıştır.

Bu metodun, bu binanın onarımı için en kısa zamanda, en ekonomik metot olduğu ispatlanmıştır. Yaklaşık 2000 m2 perde duvar alanı bu metot ile onarılmıştır. Malzemenin hafifliği nedeniyle temellerde önemli bir miktar ilave yük gelmediğinden, temellerin güçlendirilmesi durumu ortaya çıkmamıştır.

Kasumata, ve ark. (1988), yaptıkları çalışmada, betonarme dikdörtgen kolonların Karbon FRP ile güçlendirilmesi ile ilgili yaptıkları deneylerde, kolonların depreme karşı dayanıklılığının önemli ölçüde arttığını tespit etmişlerdir. Kolon köşeleri yuvarlatmışlar, sargının betona yapışmasının etkisini görmek için

deney numunelerinin bir kısmında CFRP ile beton arasına bir film tabakası yerleştirmişlerdir. Fakat bu durumda davranışta önemli bir fark gözlememişlerdir.

Saadetmenesh ve ark. (1997), yaptıkları çalışmalarında, depremde hasar görmüş B.A. kolonların FRP ile güçlendirilmesi ile ilgili çalışmada aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır;

- FRP, depremde hasar görmüş kolonların eğilme mukavemetini ve sünekliğini önemli ölçüde artırır.
- FRP ile güçlendirilen kolonların yatay yük- deplasman grafiği zarflarında önemli iyileşmeler gözlenmiştir. Filizlerinin bindime boylan yetersiz olan kolon numunelerinden iyi bir performans elde edilmiştir.
- Boyuna donatısı eksiz, takviye edilmiş kolonlarca, deney aletinin kapasitesinin sonuna kadar, yatay yük taşıma kapasitesinde azalma olmamıştır.

Ehsani ve ark. (1998), yaptıkları çalışmada, FRP ile güçlendirilen dairesel kolonların deprem kuvvetleri altındaki davranışı ile ilgili yapılan deneysel çalışmayı yayınlamışlardır. Sonuçlara göre;

- Potansiyel plastik mafsal bölgesinde eklenmiş boyuna donatısı olan kolonlarda, deplasman düktilite seviyesi, $1H/5$ 'inde, boyuna donatı filizlerden ayrılmaya başlamıştır. (Yetersiz sargı donatısı ve yetersiz filiz boyundan).Eksiz donatılı kolonlar $u=4$ deplasman düktilite seviyesinde, boyuna donatının burkulması ile hızla yük taşıma kapasitesini kaybetmiştir. (Yetersiz sargı donatısından).
- FRP Üe güçlendirilen kolonlarda (sadece potansiyel plastik mafsal bölgesinin sarılması ile), mukavemet ve deplasman düktilitesi önemli ölçüde artmıştır. ($u=6$).

- Bu sınırlı sayıdaki deney sonucuna göre aktif ve pasif sargı arasında fazla bir sonuç farkı gözlenmemiştir. (Bu konu daha detaylı araştırılmalıdır!)

Myers ve ark. (2001), yaptıkları çalışmada, çevre koşullarının FRP malzemenin betonarme elemana yapışması üzerine yaptıkları çalışmada 48 adet kiriş deneyi yapmışlardır. Kirişler çeşitli FRP malzemelerle güçlendirildikten sonra, yük altında donma- çözülme, yüksek nem, yüksek sıcaklık ve güneşin ultraviyole ışınlarına maruz bırakılmıştır.

Daha sonra orta bölgeden iki eşit noktasal yükle, eğilme testine tabi tutulmuş, elemandaki çatlaklar ve FRP malzemedeki gerilme ve şekil değiştirmeler incelenmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre incelenen çevre koşulları FRP malzeme ile betonarme elaman arasındaki bağ üzerinde olumsuz etki yapmıştır.

- Elemanların eğilme rijitliklerinde azalma olmuştur.
- Daha yüksek sabit yükler altındaki numunelerdeki bağlarda daha fazla etkilenme olmuştur.
- Uygulamalar şartnamelere uygun yapılırsa FRP malzemede ani sıyrılma, ani bağ kaybı olmamaktadır.

Yang ve ark. (2001), yaptıkları çalışmada, FRP malzemelerle güçlendirmede betonarme elemanın köşe yuvarlatmalarının etkisi araştırmışlardır.

Çalışma sonuçlarına göre betonarme elemanın köşe yuvarlatması FRP malzeme ile güçlendirmede önemli bir etkiye sahiptir. Dairesel kolonlarda dahi FRP malzemenin kapasitesinin %67'sine ulaşılabilmiştir.

Nanni ve ark. (1999), yaptıkları çalışmada, Orta Amerika'da 1950'lerden önce yapılmış köprülerden biri üzerinde, FRP malzeme ile yapılan güçlendirmenin sahadaki gerçek davranışım gözlemek için, köprü döşemesi ve ayakları göçene kadar test yapılmışlar. Teorik hesaplar, deney numunelerinden elde edilen sonuçlar ve gerçek durumun uyum sağladığı görülmüştür. FRP ile güçlendirmenin etkinliği gösterilmiştir.

Prota ve ark. (2001), yaptıkları çalışmada, kolon-kiriş birleşim bölgelerinin FRP malzemelerle güçlendirilmesi konusunda deneyler yapmışlardır.

Yapılan deneysel çalışma kolon-kiriş birleşim bölgelerinin FRP malzeme ile güçlendirilmesinin etkili bir teknik olduğunu göstermiştir.

Yong ve ark. (2001), yaptıkları çalışmada, Betonarme kirişlerin güçlendirilmesinde kullanılan FRP malzemenin tam doğrultusunda yapıştırılamamasının yapılan güçlendirmeye olan etkisini araştırmışlardır.

Araştırma sonuçlarına göre, doğrultudan sapma 5 dereceden az ise FRP ile güçlendirilen kirişin mukavemetini etkilememek, 5 dereceden fazla ise kirişin mukavemetini etkilemektedir.

İlki ve ark. (2000), yaptıkları çalışmada, FRP malzemelerin yapı elemanlarının onarım ve güçlendirilmesi hakkındaki araştırma sonuçlarına göre, uygulanan güçlendirme yöntemi numunelerin yanal yük taşıma kapasitelerini %28 ile %77 arasında değişen değerlerle arttığını tespit etmişlerdir. Bu artış ilerleyen yükleme adımlarında azalmakla beraber orijinal numunelerin kapasitelerinin üstünde kalmıştır. Bu güçlendirme yöntemi ile basınca maruz beton kesitin dayanım kaybına uğramadan ulaşabileceği şekil değiştirme düzeyi artırılmış, bu da elemanların sünekliğini artırmıştır. Özellikle yüksek eksenel basınca maruz elemanlarda görülen

dayanım kaybım geciktirmiştir. Güçlendirilmiş elemanların eğilme rijitlikleri orijinal rijitliklerinin üzerine çıkmıştır. Bu yöntemin, elemanın enerji yutma kapasitesini önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. Söz konusu yöntemin güvenli bir şekilde uygulamada kullanılabilmesi için uygun hesap esaslarının geliştirilmesinin önemi vurgulanmıştır.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Bu çalışmada, aynı geometrik özelliklere sahip 2 adet yığma duvar, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük altında düzlem dışı yüklenerek test edilmiştir. Deney numunelerinin belirlenmesinde dikkate alınan değişkenler şunlardır:

1- Yığma duvarın dolu harman tuğlası ile normal örülmesi

2- Yığma duvarın dolu harman tuğlasıyla örülmesine ilave olarak FRP malzemesiyle güçlendirilmesi

Çerçevenin hazırlanmasında, çelik levhaların soğuk olarak bükülmesi ile elde edilmiş profiller kullanılmıştır. Sözü edilen profiller elektrik ark kaynağı ile kaynatılması sonucu rijit düğüm noktaları oluşturulmuştur. Deney duvarının yapımında TS-771-1'e uygun 190×190×50 mm boyutlarına sahip kil bazlı dolu harman tuğlası kullanılmıştır. Deney duvarı 1 tuğla kalınlığında olup, her iki yüzüne 20 mm kaba sıva ve 10 mm ince sıva uygulanmıştır. FRP malzemesi olarak Karbon Fiber kullanılmıştır. Tuğla duvar örgüsünde ve sıvasında aynı özellikteki çimento harcı kullanılmıştır.

3.2. Duvar Yapımında Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

3.2.1. Çerçevelerin desteklenmesinde kullanılan çelik profillerin geometrik ve mekanik özellikleri

Deney numunelerinin desteklenmesinde kullanılan I ve L çelik profiller Ereğli Demir Çelik Fabrikasında üretilen malzemelerden alınarak imal edilmiştir. Kullanılan profillere ait geometrik ve fiziksel özellikler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Deneylerde kullanılan profillerin geometrik ve fiziksel özellikleri

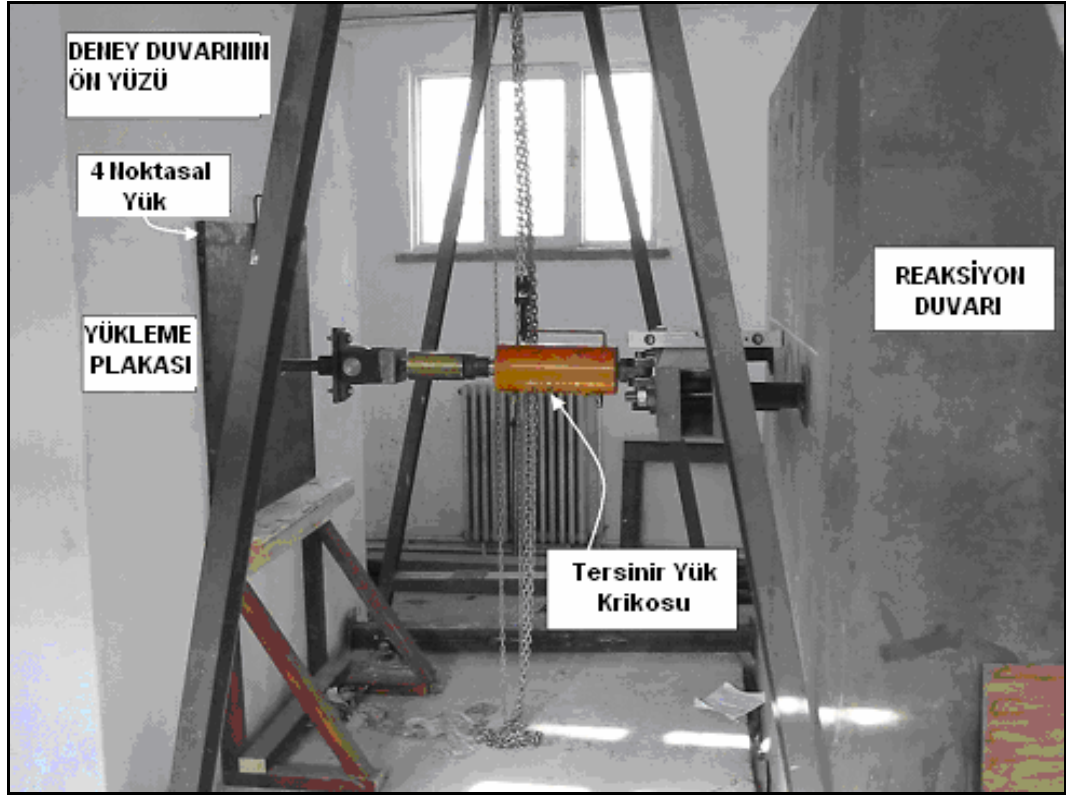
b	(mm)	60
h	(mm)	120
t	(mm)	5
F	(mm ²)	1150
G	(Kg/m)	9,03
I _x	(mm ⁴)	398156
I _y	(mm ⁴)	2539583
e ^{x1}	(mm)	16,85
e ^{x2}	(mm)	43,15
e ^y	(mm)	60
W _{ex} ²	(mm ³)	9227
W _{px} ²	(mm ³)	16620
W _y	(mm ³)	42326

3.2.2. Deneylerde kullanılan yükleme levhasının mekanik özellikleri

Deney numunesine yükün düzgün dağıtılması için, numunenin orta noktasına çelik levha yerleştirilmiştir. Levhanın boyutları 1000×1000 mm'dir. Kullanılan çelik levhanın mekanik özelliklerini belirlemek için 400×40 mm ebadındaki çelik levha numuneler laboratuarda eksenel çekme deneyine tabii tutulmuş ve elde edilen mekanik özellikler Çizelge 3.2'de, deney levhasının deney esnasındaki görüntüsü Şekil 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Deneylerde kullanılan çelik levhaların mekanik özellikleri

Akma Gerilmesi (σ_y) (N/mm ²)	370,9
Maksimum Gerilme ($\sigma_{\max}$) (N/mm ²)	515,7
Kopma Gerilmesi (σ_v) (N/mm ²)	428,6
Akma Birim Uzaması (ϵ_y)	0,0019
Max.Gerilmeye Karşılık Gelen Birim Uzama ($\epsilon_{\max}$)	0,170
Kopma Birim Uzaması (ϵ^u)	0,214
Elastisite Modülü (E) (N/mm ²)	195210



Şekil 3.1 Deney numunesi yükleme levhasının deney esnasındaki görüntüsü

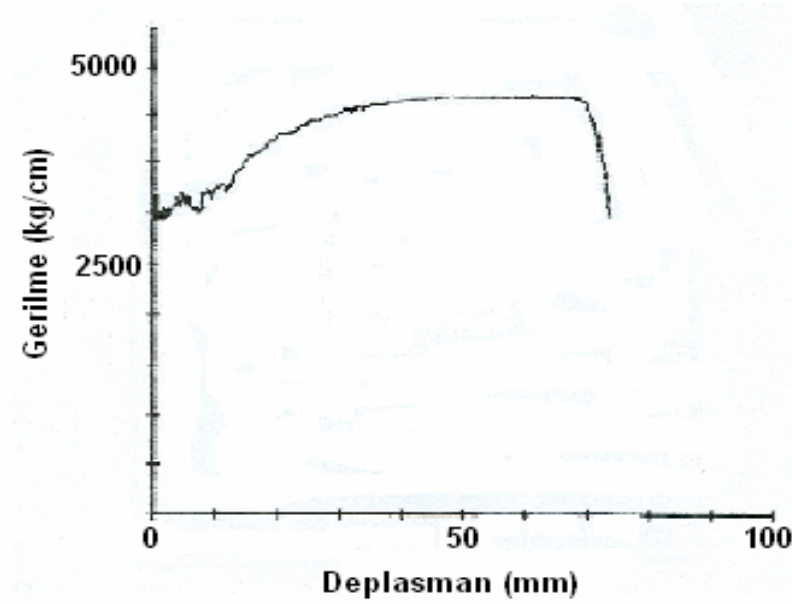
3.2.3. Duvar temelinin oluşturulmasında kullanılan donatının özellikleri

İmal edilen numunelerde boyuna ve enine donatı olarak TS5002’de verilen ve TS708’e uygun olan nervürlü çelik çubuklar kullanılmıştır. BÇIII donatı çelik çubukların çapları etriyelerde 8 mm, boyuna donatılarda ise 12 mm. olarak seçilmiştir. Numunelerde kullanılan 12 mm.’lik çelik çubuklardan 3’er adeti Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi laboratuvarında TS138 yönetmeliğine uygun olarak çekme testine tabii tutulmuştur. Elde edilen test sonuçları Çizelge3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3 Deneylerde kullanılan donatının özellikleri

Donatı çapı(mm.)	Donatı sınıfı	Akma Dayanımı f_{yk} (kg/cm ²)		Kopma Dayanımı f_{su} (kg/cm ²)		Kopma Uzaması ϵ_{su}	
		Min.	Deneysel	Min.	Deneysel	Teorik	Deneysel
8	BÇIII	4200	4428	5000	6000	0,12	0,18
8	BÇIII	4200	4650	5000	5910	0,12	0,19
8	BÇIII	4200	4540	5000	6150	0,12	0,175
12	BÇIII	4200	5015	5000	5620	0,12	0,19
12	BÇIII	4200	4840	5000	6150	0,12	0,21
12	BÇIII	4200	4520	5000	6100	0,12	0,20

Deneylerde kullanılacak $\varnothing 12$ donatıdan 3 adet alınarak TS138'e göre çekme deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen grafiklerin bir örneği Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2 Deneylerde kullanılan donatının gerilme deformasyon eğrisi

Deney için imal edilen bağ kiriş donatılarının resmi Şekil 3.3’de, döşemeyi oluşturan donatıların resmi Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Bağ kiriş donatı görüntüsü



Şekil 3.4 Döşeme donatısının görüntüsü

3.2.4. Duvar elemanlarının özellikleri

Deney duvarlarının yapımında TS-771-1’e uygun 190*190*50 mm boyutlarına sahip kil bazlı dolu Harman tuğlası kullanılmıştır. Kullanılan tuğlanın TS7720–1:2000 standardına göre yapılmış fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.4’de,örülmüş tuğla duvarın görüntüsü Şekil 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.4 Kil bazlı dolu harman tuğlasının fiziksel ve mekanik özellikleri

Boyutlar (mm)	190*190*50
Basınç Dayanımı (MPa)	23.17
Eğilme Dayanımı (MPa)	2.61
Elastisite Modülü (MPa)	3000



Şekil 3.5 Örülmüş tuğla duvarın görüntüsü

3.2.5. Harçta kullanılan çimento ve kumun özellikleri

Harçların yapımında SET Çimento Sanayi A.Ş'nin TS12143'e uygun olarak ürettiği Portland Kompoze Çimento (PKÇ/B 32.5) kullanılmıştır. SET Çimento Sanayi A.Ş. tarafından üretilen çimentonun TS 19'a uygunluğu araştırılmış ve elde edilen değerler standart değerler ile birlikte Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5 Kullanılan çimentonun özellikleri

Özellikler		TS 19 'da İstenen Değerler	Deneyde Bulunan Değerler
Priz	Bşlama süresi	> 1 saat	1 saat 30 dak.
	Sona erme süresi	< 10 saat	4 saat 40 dak.
Hacim genişlemesi		< 10 mm.	3 mm.
200 mikron elek üzerindeki miktar		< %1	%0,3
90 mikron elek üzerindeki miktar		< %14	%9,3
Özgöl yüzey		% 2400 cm ² / g	2900 cm ² / g
Basınç dayanımları (kg/cm ²)	7 günlük	>210	224
	28 günlük	325	354
Eğilmede çekme dayanımı (kg/cm ²)	7 günlük	40	51
	28 günlük	55	64

Gerek sıva, gerekse duvar örgü işleminde kullanılan harcın imalatında kullanılan kum, Ankara piyasasından temin edilmiş ve herhangi bir işleme tabi tutulmamıştır. Kullanılan kumun granülometrik özellikleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6 Harç kumunun granülometrik değerleri

Elek Çapı	Elekten geçen	Elek üstünde kalan
8	100	0
4	75	25
2	54	46
1	33	67
0.5	17	83
0.25	6	94

3.2.6. Kullanılan harcın özellikleri

Duvar örgüsünde ve sıva işleminde TS 705 uygun olarak hazırlanan çimento harcı kullanılmıştır. Kullanılan çimento harcının karışım değerleri Çizelge 3.7’de ağırlık cinsinden verilmiştir.

Çizelge 3.7 Çimento harcı için karışım değerleri

Kullanılan Malzeme	Miktar (kg)
Kum	1425
Çimento	250
Su	400

Duvar örümü yapıldıktan sonra 1 hafta boyunca kür uygulanmış ve 28 gün sonra deney yapılmıştır. Aynı süreçte harçtan numuneler alınarak 70 mm çaplı 175 mm boylu silindirik örnekler hazırlanmıştır. Bu örnekler üzerinde tek eksenli dayanım ve dolaylı çekme deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen mekanik özellikler Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3.8 Çimento harcına ait mekanik özellikler

Numune boyutları (mm)	70*175
Basınç dayanımı (MPa)	6.6
Eğilmede çekme dayanımı	489
Elastisite modülü	8000

3.2.7. Kullanılan FRP malzemesinin ve reçinenin özellikleri

Kullanılan FRP malzemesi yüksek mukavemet ve rijitliğe, düşük darbe direncine sahiptir. Titreşimli yüklerden fazla etkilenmez. Rutubet ve kimyasallara karşı direnci mükemmeldir. Galvanik korozyondan etkilenen FRP 2000 C° sıcaklığa kadar dayanabilmekte ve aynı zamanda ısı ve elektriği iyi derecede iletmektedir. Karbon fiberlerin tipik özellikleri Çizelge 3.9’da verilmiştir. FRP malzemesine ve duvara uygulanan reçine YKS markadır. Kullanılan karbon fiberin ve reçinenin resimleri Şekil 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.9 Karbon fiberlerin tipik özellikleri

	Minimum	Maksimum
Elastisite modülü	290 (GPa)	400 (GPa)
Çekme mukavemeti	2400 (Mpa)	5700 (Mpa)
Kopma uzaması	%0,3	%1,8



Şekil 3.6 Deneyde kullanılan karbon fiber ve kullanılan reçine

3.3. Yığma Duvar Deneyleri İçin Üretilen Numunelerin Boyutları

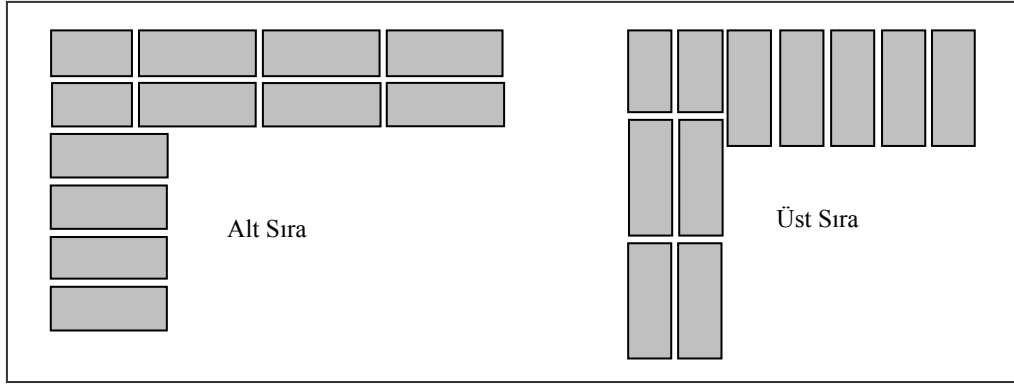
Bu çalışmada, aynı geometrik özelliklere sahip 2 adet yığma duvar, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük altında düzlem dışı yüklenerek test edilmiştir. Deney numunelerine ait geometrik özellikler Çizelge 3.10’da verilmiştir.

Çizelge 3.10 Deney numunelerinin geometrik özellikleri

Duvar Boyu (mm)	Yan Duvar Uzunluğu (mm)	Duvar Yüksekliği (mm)
2600	1100	2700

3.4. Deney Elemanlarının Üretimi

Bu çalışmada, 2 adet duvar numunesi üretilmiş ve düzlem dışı tersinir-tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Deney numuneleri oluşturulurken, numune duvarı oluşturan elemanlar Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü Deprem Araştırma Laboratuvarında oluşturulmuştur. Dolu harman tuğlaları tozlarından temizlendikten sonra, daha önceden oluşturulmuş bina temeli üzerine örme şekline uygun olarak ortalama 2 cm’lik derz aralığı bırakılarak panel duvarın oluşturulması tamamlanmıştır. Duvarlar hazırlanırken kullanılan örme şekli Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Duvarlar hazırlanırken kullanılan örme şekli

Duvarın oluşmasında tuğlaları birleştiren harç, standartlara uygun olarak laboratuarda mevcut olan mikser de karıştırılarak hazırlanmıştır. Duvarın üzerine döşeme oluşturulması için betonarme kalıbı hazırlanmış ve numune duvar üzerine çakılmıştır. Döşeme ve bağ kirişi donatıları laboratuarda demirci ustası tarafından hazırlanarak döşeme kalıbı içine yerleştirilmiştir. Hazırlanan kalıba laboratuarda mevcut olan mikser ile hazırlanan döşeme betonu dökülerek duvar numunesi kaba hali tamamlanmıştır. Bununla ilgili resimler Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8 Numuneye kalıp kurulması ve beton dökülmesi

Duvar örme işlemi tamamlandıktan sonra 1. deneyde standartlara uygun sıva harcı oluşturularak sıvama işlemine başlanmış, 7 gün sulama işlemi gerçekleştirildikten sonra 3 gün kurumaya bırakılmıştır. Sulama ve kuruma işlemi tamamlanan numune duvar, Şekil 3.9’da gösterildiği gibi laboratuarda hazırlanan kireç badana ile boyanarak deneye hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.9 Deney numunesinin boyanması

2.deneyde derz aralıkları ikişer sıra atlanarak düzenli bir şekilde özel hazırlanmış çengel yardımıyla FRP'nin yerleştirilmesine uygun hale getirilmiştir. 2. deneyde kullanılacak FRP'ler laboratuarda ortalama 8 cm genişliğinde makas yardımıyla kesilerek hazırlanmıştır. FRP'nin derz arasına yerleşmesi ve sertleşmesi için YKS marka reçine laboratuarda özel yapıştırıcısı ile karıştırılmak suretiyle hazırlanmıştır. Reçinenin hazırlanışı Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Deney numunesine sürülecek reçinenin hazırlanması

Hazırlanan reçine öncelikle temiz kıl fırça yardımı ile derz aralıklarına sürülmüştür. Daha önceden hazırlanmış olan reçine tekrar kıl fırça yardımı ile FRP ile özdeşleşmesi ve FRP'yi sertleştirmesi için laboratuarda FRP üzerine uygulanmış ve Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Hazırlanan reçinenin duvara ve FRP üzerine uygulanması

Reçine uygulanmış FRP, el yardımı ile derze uygun bir şekilde sarılarak derz aralıklarına yerleştirilmiş ve Şekil 3.12’de gösterilmiştir. FRP yerleştirildikten sonra duvar ile özdeşleşmesi için yerleştirilen FRP üzerine reçine tekrar uygulanarak FRP’lerin yerleştirilme işlemi tamamlanarak kurumaya bırakılmıştır. Duvar numunesi kuruduktan sonra laboratuardaki mikserde standartlara uygun olarak hazırlanan sıva harcı numune üzerine uygulanarak deney numunesi boyama işlemine hazır hale getirilmiştir. Sulama ve kuruma işlemi tamamlanan numune duvar laboratuarda hazırlanan kireç badana ile boyanarak deneye hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.12 Hazırlanan FRP’nin duvara uygulanması

4. DENEY DÜZENEGİ VE ÖLÇÜM TEKNİĞİ

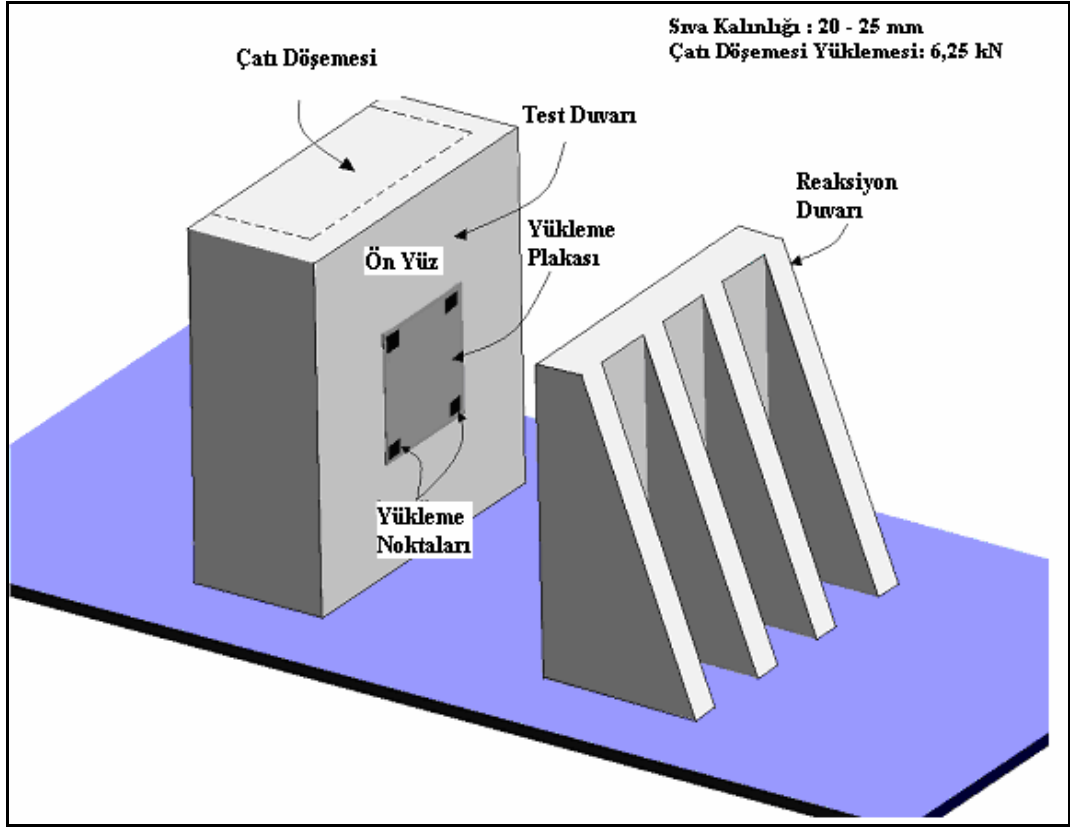
4.1. Giriş

Bu doktora tez çalışmasının deneysel bölümü Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Deprem Araştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyde normal olarak hazırlanan bir yığma duvarla, FRP malzemesiyle güçlendirilerek hazırlanan bir yığma duvarın düzlem dışı kırılması araştırılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Aynı geometrik özelliklere sahip bu iki adet yığma duvar, düzlem dışı ve depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük altında kırılma oluşuncaya kadar denenmiştir. Deney sırasında bilgisayar destekli veri okuma sistemi kullanılarak gerekli yük ve yer değiştirme okumaları yapılmış ve kaydedilmiştir.

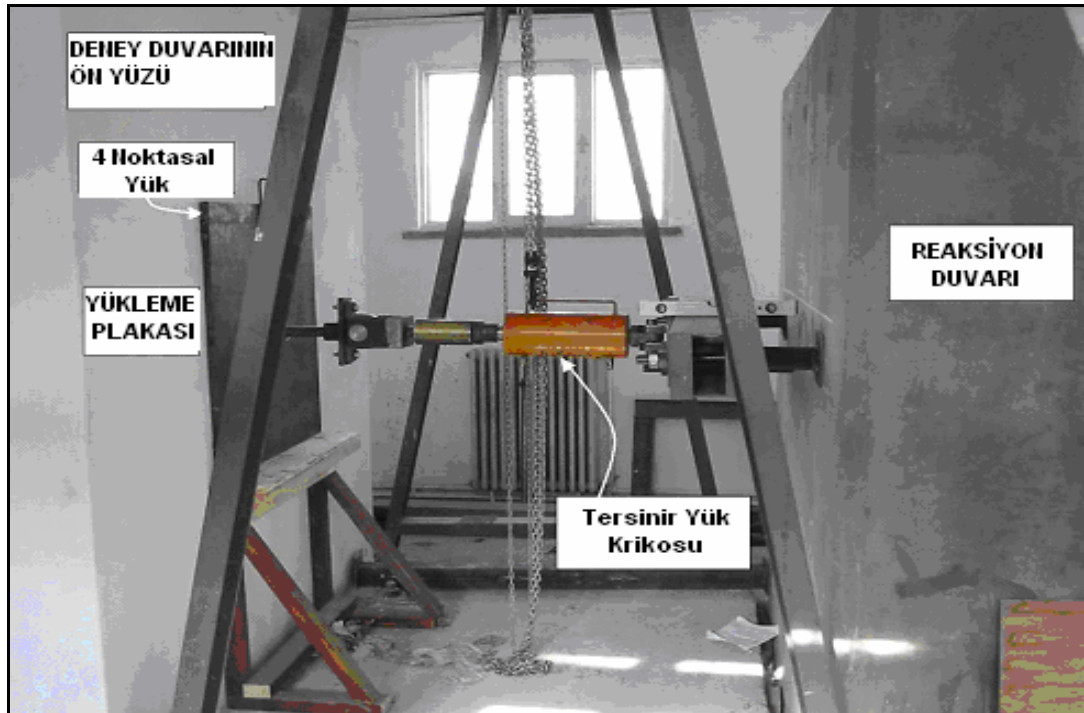
4.2. Deney Düzenegi

Düzlem dışı yüklenen yığma duvarın davranışının ve kırılma şeklinin anlaşılması için Şekil 4.1'de gösterilen duvar deneye tabi tutulmuştur.

Yükleme mekanizması Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Yük, 2 yönlü hareketle basınç ve çekme uygulayabilen bir krikö ile verilmiştir. Duvar ortasındaki delikten rijit bir çelik çubuk geçmektedir. Özdeş bir yüklem plakası, duvarın arka yüzünde de mevcuttur. Duvara uygulanan basınç/çekme hareketi ile, sismik kuvvetlerin tersinir etkisi modellenmiştir. Yüklem plakası ile duvarın tam ortasından uygulanan yüklerin, düzgün yayılı yükün oluşturacağı moment dağılımına benzer bir zorlama oluşturacağı kabul edilmiştir.



Şekil 4.1 Yığma duvar deney elemanı ve reaksiyon duvarı

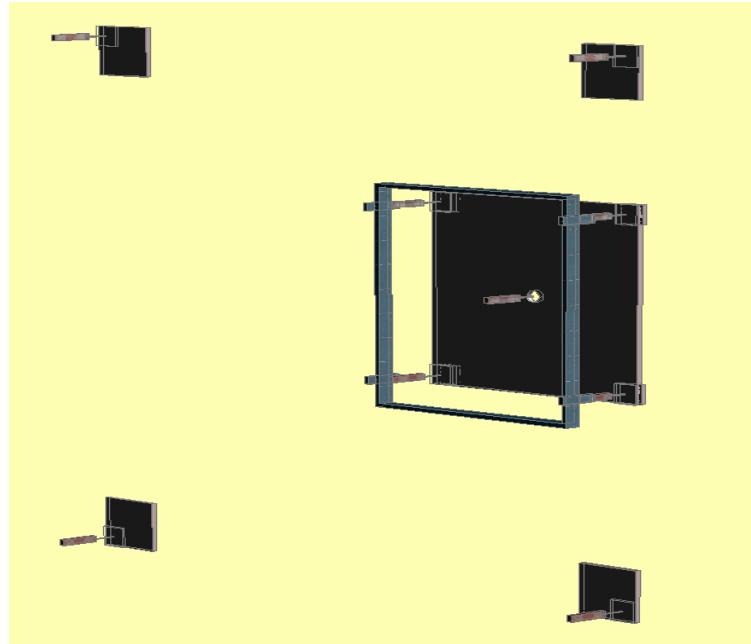
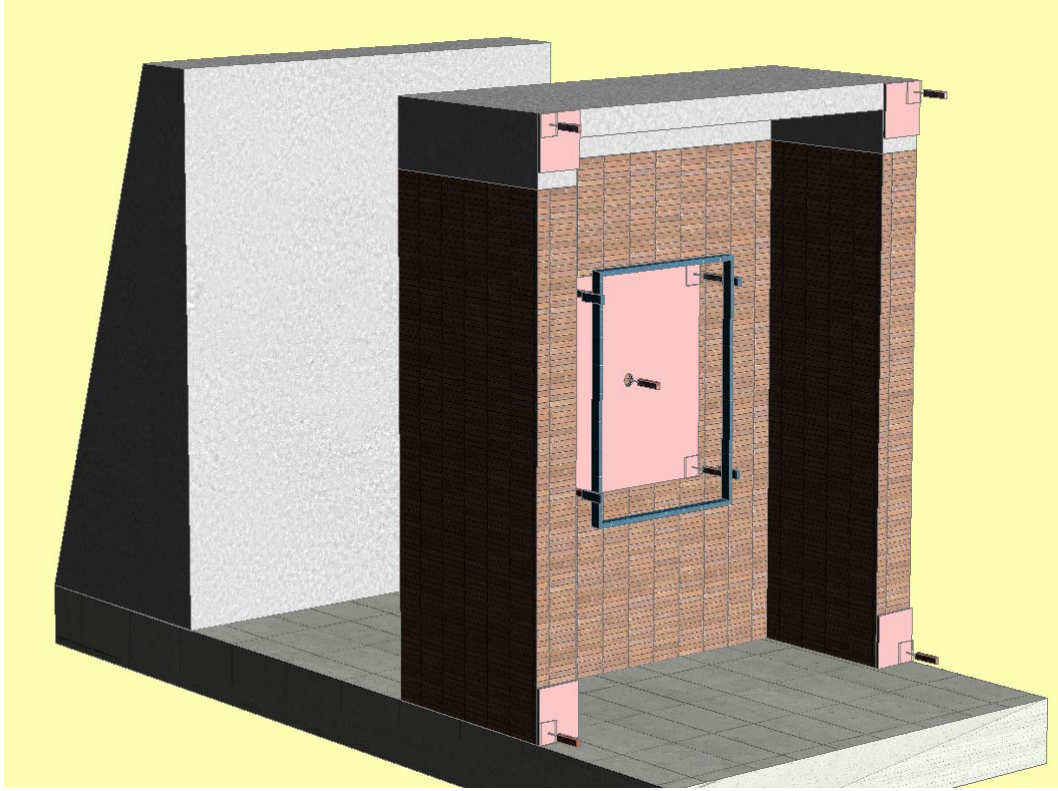


Şekil 4.2 Tersinir sismik hareketi modelleyen yükleme mekanizması

yük durumunda basınca maruz kalmakta ve bu surette çıkış ucundan belirli bir gerilme vermek suretiyle çalışmaktadır. Yük hücresinin çıkış ucu datalogger kutusuna bağlı olup, yük hücresinden alınan gerilme data logger kutusuna, oradan da bilgisayara aktarılmaktadır. Bilgisayarda yük hücresinden okunan yük ekrandan da takip edilebilmektedir. Bu deneylerde CoDA markalı yük hücreleri kullanılmıştır.

4.3.2. Yer değiştirmelerin ölçülmesi

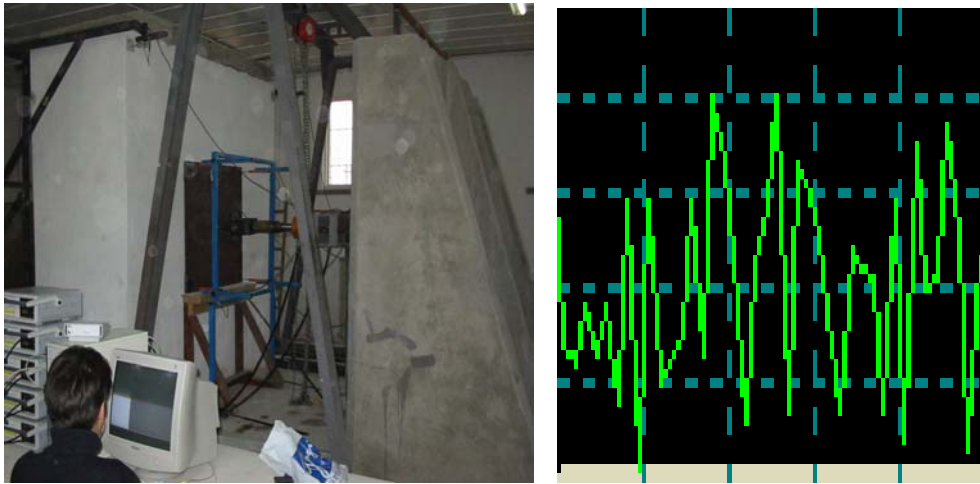
Deney süresince yığma duvarda meydana gelen yer değiştirmeler ile boy kısalma ve uzamalarının ölçümleri, elektronik LVDT ler kullanılmak suretiyle yapılmıştır. Tokyo Sokki Kenkyuijo Co.Ltd. marka LVDT ler, merkez milinin ileri geri hareketi sonucu belirli bir gerilim üretmektedir. Kullanılan bu LVDT ler, merkez milinin ileri geri hareketi sonucu belirli bir gerilim üretmektedir. LVDT ler sayesinde 0,01 mm hassasiyetinde okuma yapmak mümkün olabilmektedir. LVDT'lerin çıkış uçları data logger sistemine bağlanmaktadır. Deneylerde 100 ve 200 mm'lik LVDT'ler kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan LVDT ler ve bağlantı sistemi Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4 LVDT'ler ve bağlantı sistemi

4.3.3. Yük ve yer değiştirme ölçümlerinin bilgisayar ortamına aktarılması

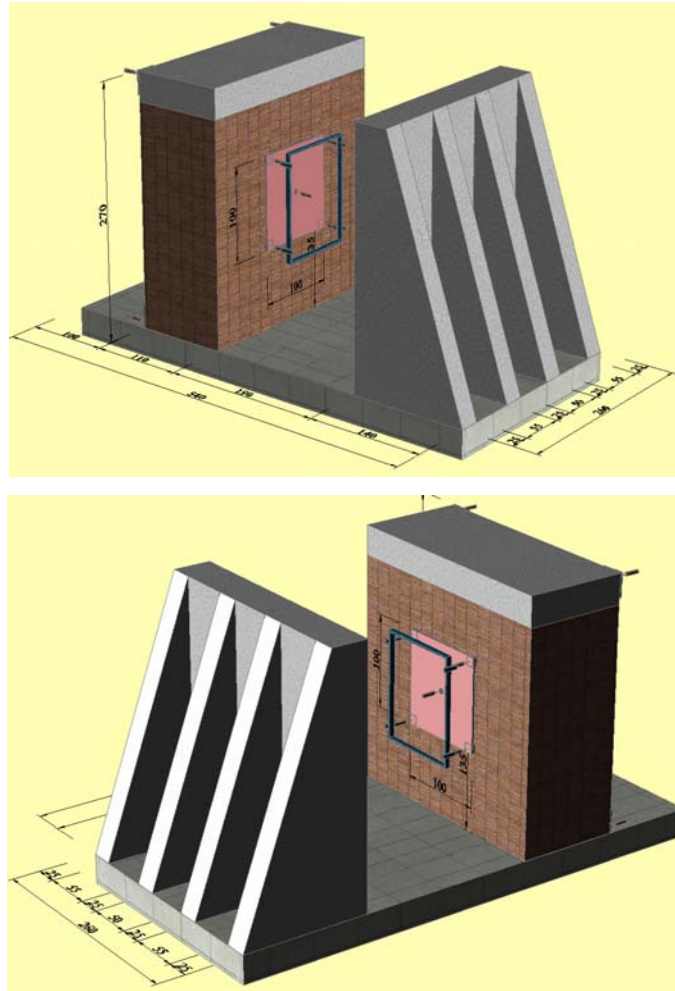
Yük hücresi ve LVDT'ler den alınan gerilmeler, ara bağlantı elemanları yardımıyla data logger'a iletilmektedir. Data logger sistemi, üzerinde yük hücresi ve LVDT'lerin bağlandığı 16 adet kanala sahiptir. Bu kanallar vasıtasıyla alınan gerilmeler, bilgisayar üzerine bağlanmış olan doğru akım kartına aktarılır. Bilgisayara yüklenmiş olan özel yazılım "PCLAB" programı, doğru akım kartından alınan değerleri LVDT'ler için 0,01 mm hassasiyetle, yk hücresi için ise kilogram seviyesinde hassasiyetle değerlendirmekte ve bu değerler ekrandan da takip edilebilmektedir. İşlem gören kanallardan okunan bütün değerler, anında bilgisayara kayıt edildiği gibi deney anında istenen kanallardan alınan okumalar grafik olarak da izlenebilmektedir. Bir deney süresince, istenen zaman sıklığında kayıt almak mümkün olduğu için, deney süresince oldukça çok sayıda okuma almak mümkündür. Böylelikle, deneyin tüm safhaları hassas bir şekilde kayıt altına alınmaktadır. Alınan okuma değerlerinin ıktısı "EXCEL" programı tarafından okunabilen şekilde olup, alınan okumalar daha sonra Excel programı kullanılarak ilgili parametreler için grafik olarak çizdirilmiştir. Yük hücresi ve LVDT'ler den alınan okumaların değerlendirilmesine yarayan data logger sistemi şekil 4.5'de verilmiştir.



şekil 4.5 Deneylerde kullanılan veri aktarım sistemi ve bilgisayar düzeneği

4.4. Deneylerde Kullanılan Ölçüm Düzeneği

Deneylerde test edilen her bir sistem için, mümkün olduğunca aynı yerlerden olacak şekilde ölçüm sistemi kullanılmıştır. Yer değiştirme ölçümleri, çelik çerçeve sisteminin alt ve üst uçlarının yatay yer değiştirmelerinin, tabanda ve üst başlıktaki dönmelerin tespiti amacıyla gerekli yerlerde ve gerekli sayıda LVDT kullanılarak yapılmıştır. Yük ölçümleri ise, hidrolik kriko ile bağlantılı olarak çalışan yük hücresi kullanılarak yapılmıştır. Test edilen yığma yapı sistemlerinde kullanılan ölçüm düzenekleri Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6 Test edilen sistemde kullanılan ölçüm düzenekleri

4.5. Ölçmelerin Değerlendirilmesi

Deneyler sırasında LVDT, DG (komparametre), potansiyometrik cetvel ve yük hücresinden alınan okuma değerlerinden faydalanarak, deney numunelerinin davranış özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu nedenle, 2 deney numunesi içinde yatay yük deplasman grafiği çizilmiştir.

4.5.1. Yük geçmişi grafiklerinin elde edilmesi

Her bir deney numunesinin yük geçmişi grafiklerini elde etmek için, deney sırasında her çevrimde ileri ve geri yüklemelerden elde edilmiş olan yatay yük değerleri belirlenmiştir. Deplasman geçmişi için yine aynı şekilde ileri ve geri yüklemelerden elde edilmiş olan deplasman değerleri belirlenmiştir. Bu değerler belirlendikten sonra, çevrim ve yatay yük ilişkisi ile çevrim ve deplasman ilişkisi grafiksel olarak değerlendirilerek, her numune için yük geçmişi ve deplasman geçmişi grafiği çizilmiştir.

5. DENEY SONUÇLARI

Bu bölümde, her bir numunenin deneysel özellikleri ayrı ayrı incelenmiştir. Bu kapsamda; deneylerden elde edilen sonuçlar, deney numunelerinin davranışı ve meydana gelen hasarlar detaylı bir biçimde sunulmuştur. Her deney için deneyin yapılış yöntemi ve gözlenen davranış özellikleri anlatılmış, deney sırasında çekilen fotoğraflar verilmiştir.

Deney numunelerinin farklı özelliklerde ve dayanımlarda olması, özdeş bir yükleme programının uygulanmasına imkan vermemiştir. Fakat, bütün deney elemanları aynı ilke doğrultusunda yük kontrollü olarak yüklenmiştir.

Bu bölümde; deneyler sonucu elde edilen verilerden, her bir numune için yük-deplasman grafikleri çizilmiştir. Deneysel ölçümlerin değerlendirilmesiyle ilgili ayrıntılı bilgiler Bölüm 4'te verilmiş olmakla birlikte burada kısaca özet bilgi de verilecektir.

Bütün deney elemanları için, her çevrimde meydana gelen çatlak ve hasarların yatay yük-deplasman ile beraber belirtildiği detaylı çatlak analiz tablosu, maksimum yükte ve son çevrimde oluşan çatlakların şematik olarak gösterildiği eleman resimleri, ilk yüklemeden göçmeye kadar önemli görülen yük adımları için deney fotoğrafları da sunulmuştur.

Yük geçmişi grafikleri, deney numunelerinin yükleme şeklini göstermektedir. Deneylerde yükleme programı yük kontrollü olarak gerçekleşmiştir. Bu grafiklerden, her bir çevrimde elde edilen maksimum yük ve deplasman değerleri gözlenebilmektedir.

5.1. 1 Nolu Deney (Güçlendirilmemiş Yığma Duvar)

1 nolu deney numunesi, dolu harman tuğlası ile güçlendirme yapılmadan örülmüş yığma duvar özelliği taşıyan bir elemandır. Bu deney numunesi ile ilgili temel özellikler Çizelge 5.1.'de verilmiştir. Bu deneyin amacı; güçlendirme yapılmadan örülmüş yığma bir duvarın, yatay yük taşıma kapasitesinin, sünekliğinin, deprem davranışının incelenmesi ve aynı özelliğe sahip yığma bir duvarın güçlendirmesi sonucunda değişen davranış özelliklerinin belirlenmesine temel teşkil etmesidir.

Çizelge 5.1 1 nolu deney numunesinin özellikleri

Deney Numunesi	Numune Duvar Tipi	Tuğlanın Ortalama Basınç Mukavemeti (MPa)	Harcın Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	Donatı Çubuklarının Akma ve Çekme Dayanımları (MPa)	
				Φ8	Φ12
Deney 1		23,17	6,6	$\frac{375}{490}$	$\frac{420}{500}$

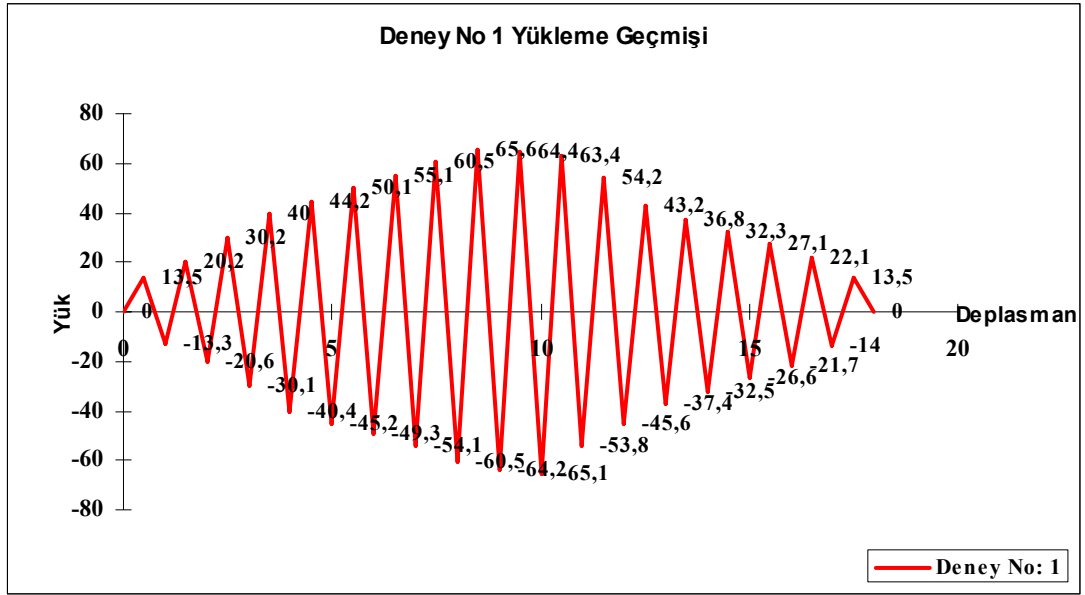
1 nolu deney numunesinin deneyden önceki ön görünüşü Şekil 5.1'de ve arka görünüşü Şekil 5.2'de, deney numunesine uygulanan yükleme geçmişi de Şekil 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5.1 1 nolu deney numunesinin deneyden önceki ön görünüşü



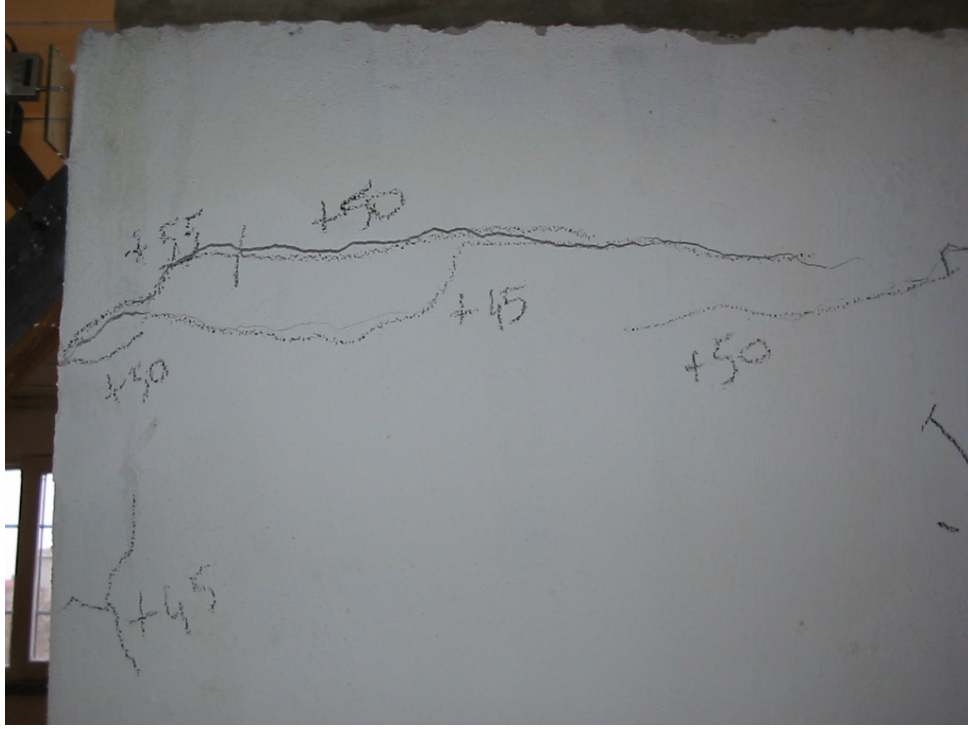
Şekil 5.2 1 nolu deney numunesinin deneyden önceki arka görünüşü



Şekil 5.3 1 nolu deney numunesine ait yükleme geçmişi

Yükleme geçmişi, duvar ekseninden yatay yüke göre verilmiştir. Yükleme programına göre, 40 kN' a kadar 10 kN 'lik artışlarla, daha sonra ise 5 Kn'lik artışlarla deney sonuna kadar gidilmiş ve ileri çevrimler 1, geri çevrimler 2 nolu adımlar olarak numaralandırılmıştır.

Deney numunesinde, 5. ileri çevrimde yan duvarda sol arka mesnetin 15 cm kadar altında +45 kN'lik yük anında ilk çatlak meydana gelmiştir.(Şekil5.4) 6. çevrimden sonra sistemde farklı bölgelerde yükleme devam ederken 17 adet farklı çatlak sayılmıştır(Şekil5.5). Bu deneyde, her çevrimde gözlemlenen davranış, deney sırasında alınan önemli notlar Çizelge 5.2'de verilmiştir. Bu çizelge, deney sırasında deney ekibince alınan notları ve deney sırasında gözlemlenen davranışları içermektedir. Çizelgede her bir yükleme çevrimi (ileri ve geri adımlar olmak üzere), ölçülen deplasman ve yatay yük değeri, gözlemlenen çatlaklarla birlikte verilmiştir.



Şekil 5.4 1 nolu deneyde yan duvar sol arka mesnetin altında oluşan ilk çatlak



Şekil 5.5 1 nolu deneyde 6. çevrimde oluşan çatlaklar

Çizelge 5.2 1 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	Yatay Yük (kN)	Deplasman (mm)		Gözlenen Davranış
		Dış	İç	
1.1	10	-0,3	0,3	-
1.2	-10	0,1	-0,1	-
2.1	20	-0,4	0,4	-
2.2	-20	0,4	-0,3	-
3.1	30	-0,6	0,7	-
3.2	-30	0,6	-0,4	-
4.1	40	-0,8	1,2	-
4.2	-40	0,8	-0,6	-
5.1	45	-1,0	1,7	Yan duvarda sol arka mesnetin 15 cm kadar altında ilk çatlak meydana gelmiştir.
5.2	-45	1,1	-0,7	Çok hafif çatlaklar başlamıştır.
6.1	50	-1,3	2,3	Bu yüklemede sol arka mesnetin ortalama 6-7 cm alt tarafında 2.çatlak oluşmuş ve çatlak devam eden yükleme altında duvarın içerisine doğru ilerlemiştir. Yükün bu değerlere ulaşmasıyla, duvar köşelerinde ve yüzeyinde oluşan çatlakların hem uzunlukları hem de kalınlıkları artmıştır.
6.2	-50	1,4	-0,8	Çatlak sayısı artmıştır. Yaklaşık 17 tane çatlak meydana gelmiştir.
7.1	55	-1,7	3,1	55 kN'lık yük altında ön ve arka sol mesnetin altında birbirine doğru numunenin sol yan duvarında 50 kN'de oluşan ince çatlaklar ön ve arka doğrultuda ilerlemeye başlamıştır.
7.2	-55	1,6	-0,9	Sağ ve sol yan duvar ortasına doğru derin, yatay ve eğik çatlaklar oluşmuştur. Bu çatlaklar duvar

				ön ve arka yüzünde derinleşerek devam etmiştir.
8.1	60	-2,2	4	Duvar kırılmasının çekme altındaki köşelerde ve duvarın düzlemi içinde olduğu görülmüştür. Bu davranış altında, düzlem dışı yüklenen duvarın “bina dışına” doğru kırılacağı sonucuna varılmıştır.
8.2	-60	2,5	-1,1	+ 60 Kn’da gözlemlenen davranış, benzer şekilde bu çevrimde de oluşmuştur.
9.1	65	-3	5	Güç tükenmesine tekabül eden $F_u = 65 \text{ kN}$ ’a ulaştıktan sonra, yük taşıma yeteneğinde çok süratli bir azalma oluşmuş ve duvar, kesme kırılması davranışına benzer şekilde üzerindeki yükü boşaltmıştır.
	-65	3,4	-1,6	Duvar ön yüzü ve sol yan yüz köşesinde yatay çatlaklar oluşmuştur.
	50	-4,5	6,2	
	-50	6,5	-3	
	40	-12,5	14	
	-40	13	-18	
	30	-28	20	
	-30	29,5	-31	

Yükleme devam ederken, 5. çevrimde +45 kN’luk yük altında ilk çatlak oluştuğundan sonra ilerleyen çevrimlerde çatlaklar hızla oluşmuş ve ilerlemiştir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 1 nolu deney sol arka mesnette oluşan çatlak (Yük; 50 kN, Dep. 5,4mm)



a) Yan duvarın sol tarafındaki çatlaklar



b) Yan duvarın alt noktasındaki çatlaklar



c) Yan duvarın üst noktasındaki çatlaklar



d) Yan duvarın kenar bölgesindeki çatlaklar



e) Duvarın arka üst bölgesindeki çatlaklar



f) Duvarın arka bölgesindeki çatlaklar

Şekil 5.7 1 nolu deney numunesinin 45kN'la 55 kN arasındaki hasar durumu

7.çevrimde yük +65 kN'a geldiğinde güç tükenmesine tekabül eden $F_u = 65$ kN'ye ulaşıldıktan sonra, yük taşıma yeteneğinde çok süratli bir azalma oluşmuş ve

duvar, kesme kırılması davranışına benzer şekilde üzerindeki yükü boşaltmıştır.(Şekil 5.8, Şekil 5.9)



a) Arka duvarın sağ üst kısmındaki çatlaklar



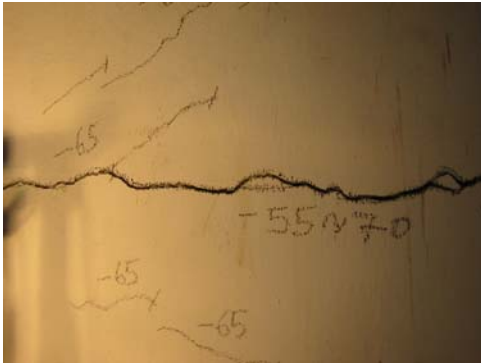
b) Arka duvarla sağ yan duvarın birleşim bölgesindeki çatlaklar



c) Arka duvarla sol yan duvarın birleşim bölgesindeki çatlaklar



d) Arka duvarın orta kısmındaki çatlaklar



e) Mesnet levhasının sol yanında çatlak



f) Sağ yan duvarda oluşan çatlaklar

Şekil 5.8 1 nolu deneyin 65 kN'luk yük aşamasındaki durumu



a) Arka duvarın üst bölgesinde oluşan çatlaklar



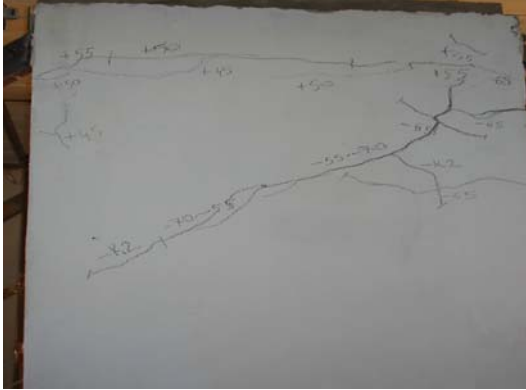
b) Ön duvarla sağ yan duvarın üst birleşiminde oluşan çatlaklar



c) Yükleme levhasının sol üst ve alt bölgesinde oluşan çatlaklar



d) Arka duvarın üst ve yan tarafında oluşan çatlaklar



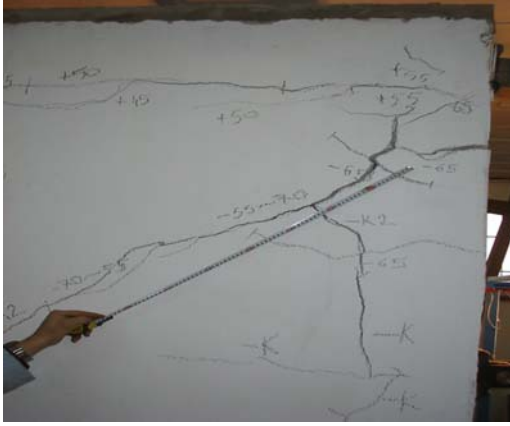
e) Sol yan duvar yüzünde oluşan çatlaklar



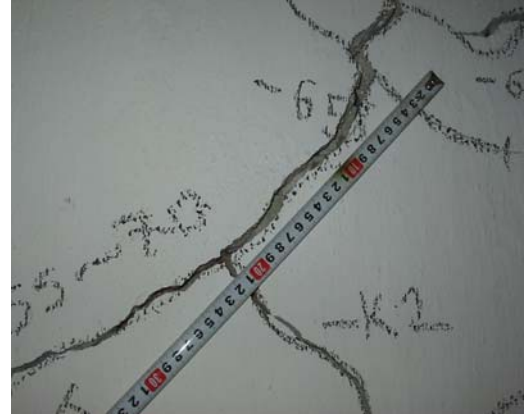
f) Yükleme levhasının sağ üst köşesinde oluşan çatlak

Şekil 5.9 1 nolu deneyin 65 kN'da gözlemlenen çatlaklar

Göçme anında deney numunesinin farklı yüzlerinde oluşan çatlak genişlikleri ortalama 2 cm olarak ölçülmüştür. (Şekil 5.10)



a) Sol yan duvarda ölçülen çatlak



b) Sol yan duvarda ölçülen çatlak



c) Sağ yan duvarda ölçülen çatlak



d) Duvarın ön yüzüyle sol yan duvar arasında ölçülen çatlak



e) Duvarın ön yüzünde ölçülen çatlak



f) Duvarın ön yüzünde ölçülen çatlak

Şekil 5.10 1 nolu deney numunesinde ölçülen çatlak genişlikleri



a) Duvarın sağ yandan görünümü



b) Duvarın sol yandan görünümü



c) Duvarın arkadan görünümü



d) Duvarın önden görünümü

Şekil 5.11 1 nolu deney numunesinin deney sonunda oluşan hasar durumu

Deney sonunda oluşan, 1 nolu deney numunesinin farklı açılardan hasar durumu Şekil 5.11’de ve Şekil 5.12’de, deney sonundaki genel görünüş ise Şekil 5.13’de verilmiştir.



a) Sağdan görünüş



b) Soldan görünüş



c) Önden görünüş



d) Sağ yan taraftan görünüş



e) Arkadan görünüş



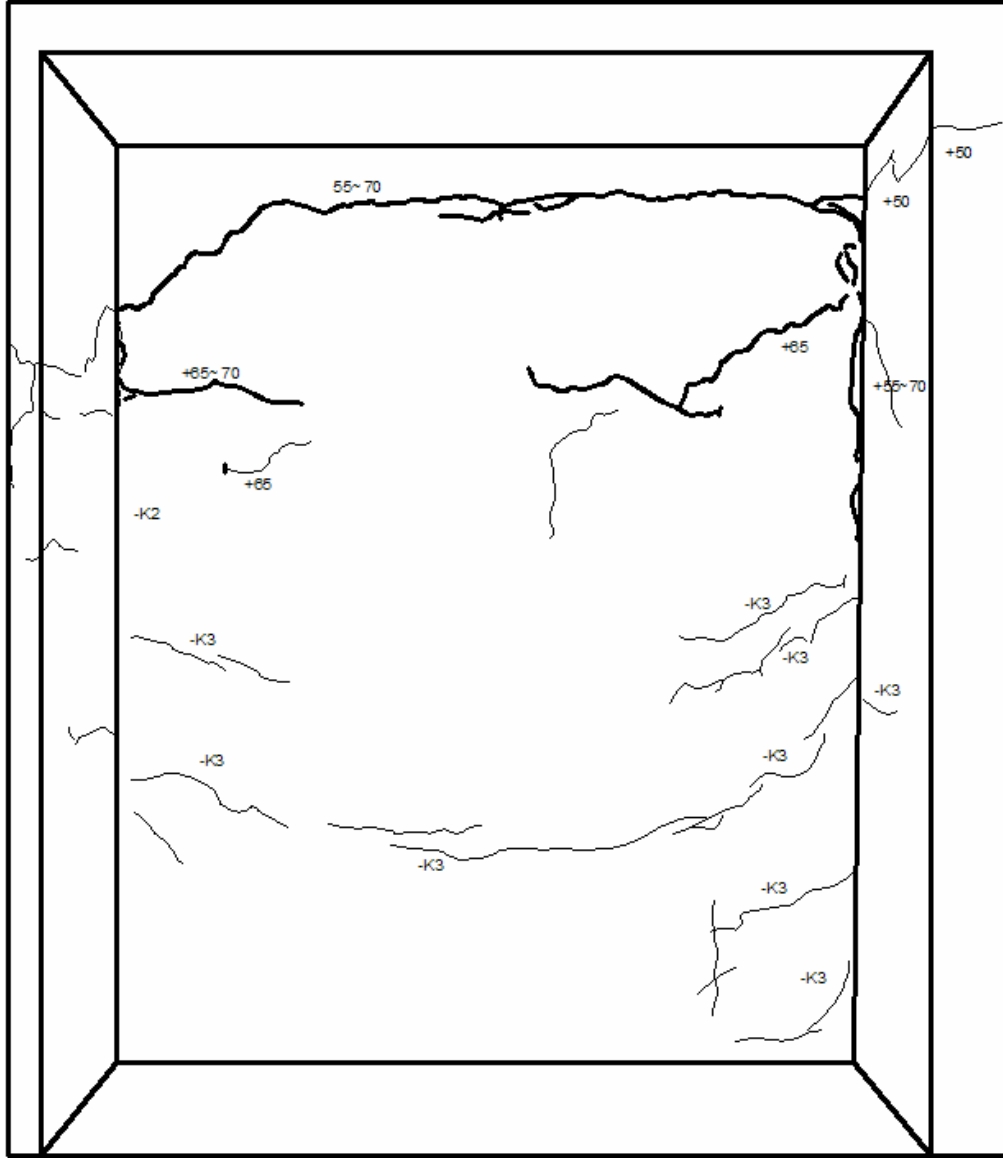
f) Arkadan görünüş

Şekil 5.12 1 nolu deney numunesinin deney sonunda oluşan hasar durumu

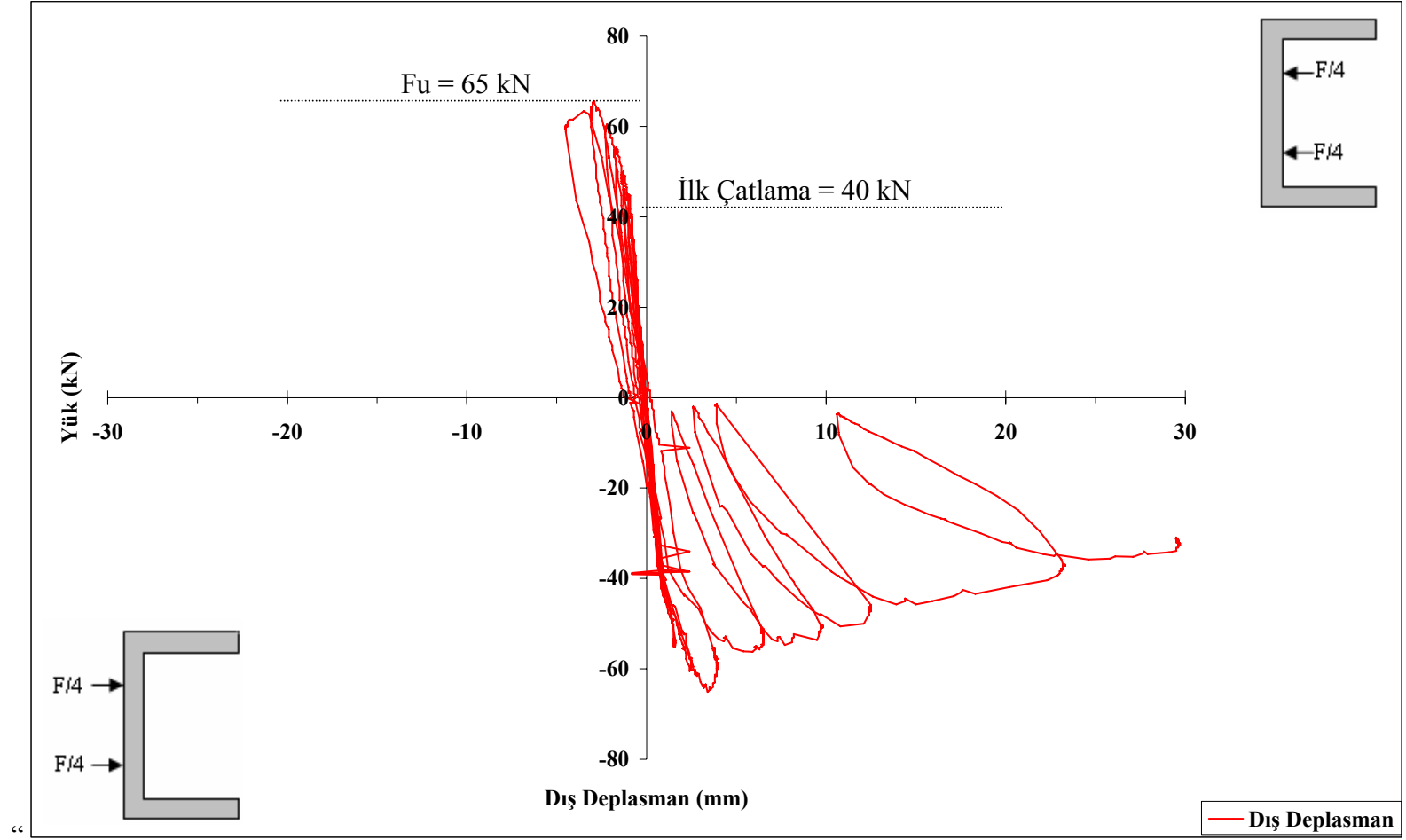


Şekil 5.13 1 nolu deney numunesinin deney sonundaki genel görünüşü

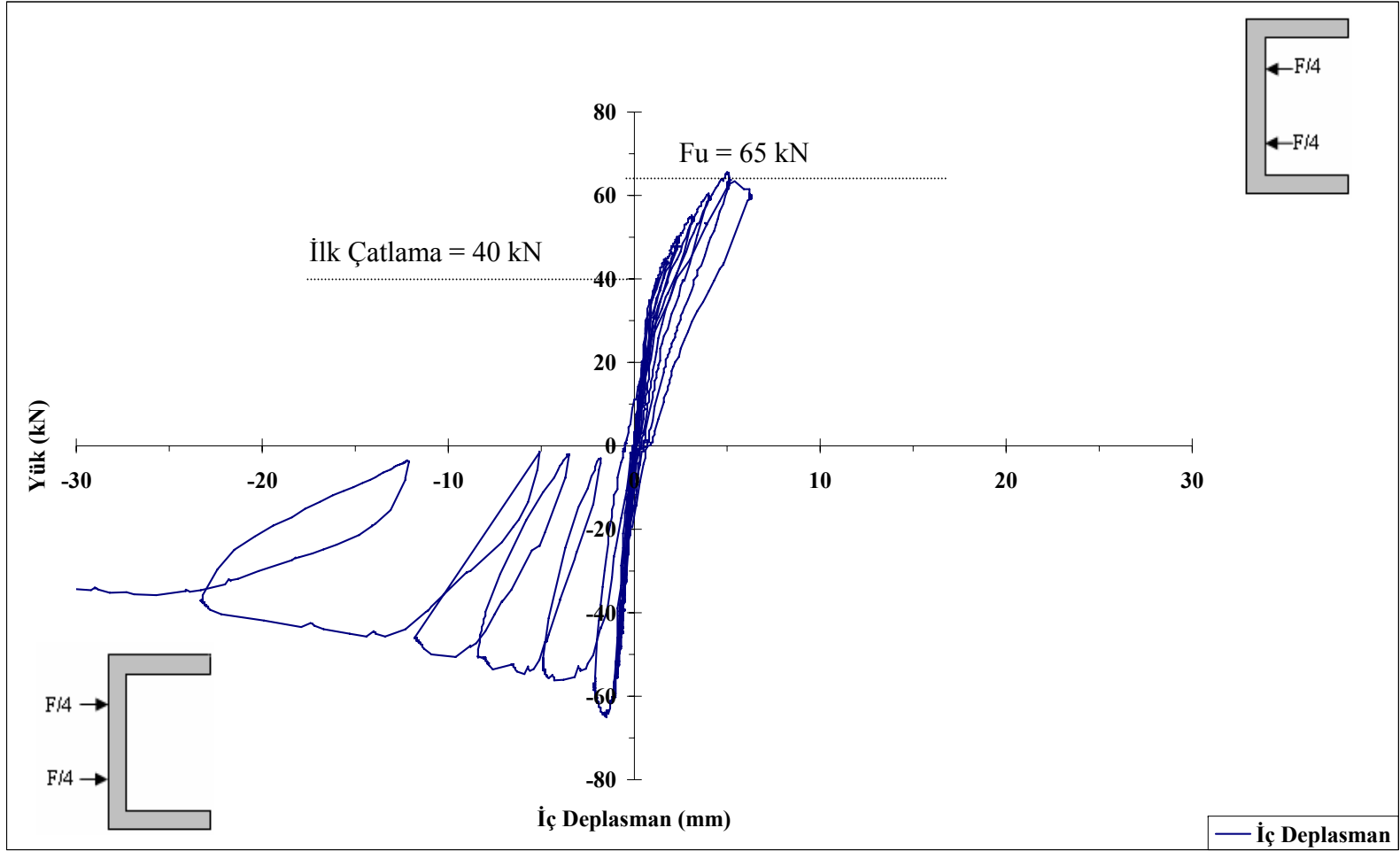
Deney sonucunda çerçeve elemanının genel durumu ve oluşan çatlakların şematik görünümü Şekil 5.15’de görülmektedir. Deney sırasında kaydedilen deplasmanlara ait iç ve dış deplasman değerleri grafikleri (Şekil 5.16, Şekil 5.17) ile birleştirilmiş iç-dış deplasman grafiği Şekil 5.18 ‘de verilmiştir.



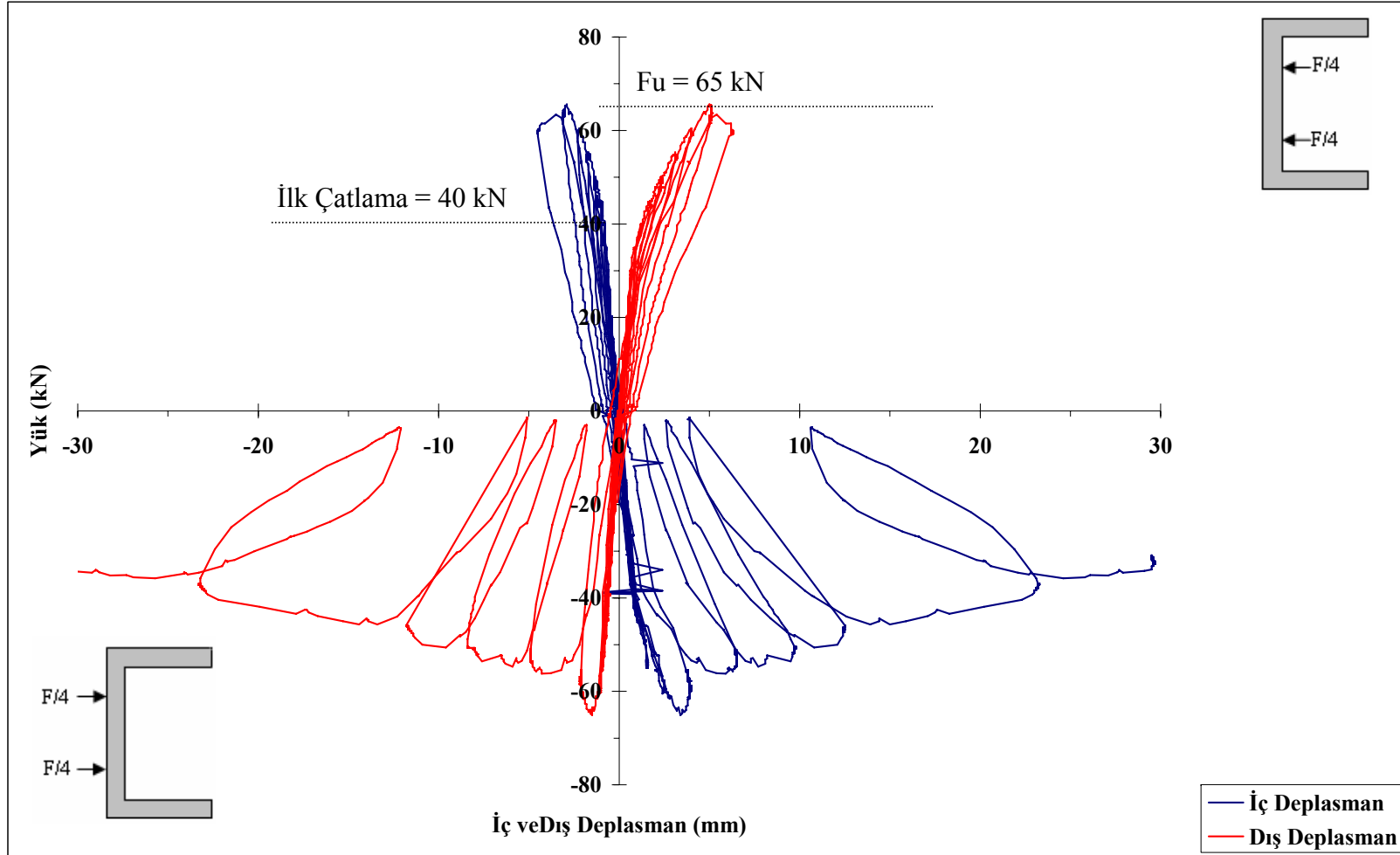
Şekil 5.15 1 nolu deney maksimum yüklemede dış yüzey hasar durumu



Şekil 5.16 1 nolu deney numunesine ait yük-dış deplasman grafiği



Şekil 5.17 1 nolu deney numunesine ait yük-iç deplasman grafiği



Şekil 5.18 1 nolu deney numunesine ait yük-iç-dış deplasman grafiği

5.2. 2 Nolu Deney (Güçlendirilmiş Yığma Duvar)

2 nolu deney numunesi, dolu harman tuğlası ile FRP malzemesi yardımıyla güçlendirme yapılarak örülmüş yığma duvar özelliği taşıyan bir elemandır. Bu deney numunesi ile ilgili temel özellikler Çizelge 5.3’de verilmiştir. Bu deneyin amacı; güçlendirme yapılarak örülmüş yığma bir duvarın, yatay yük taşıma kapasitesinin, sünekliğinin, deprem davranışının incelenmesi ve aynı özelliğe sahip güçlendirilmemiş yığma bir duvarla aralarında oluşacak farkın belirlenmesine temel teşkil etmesidir.

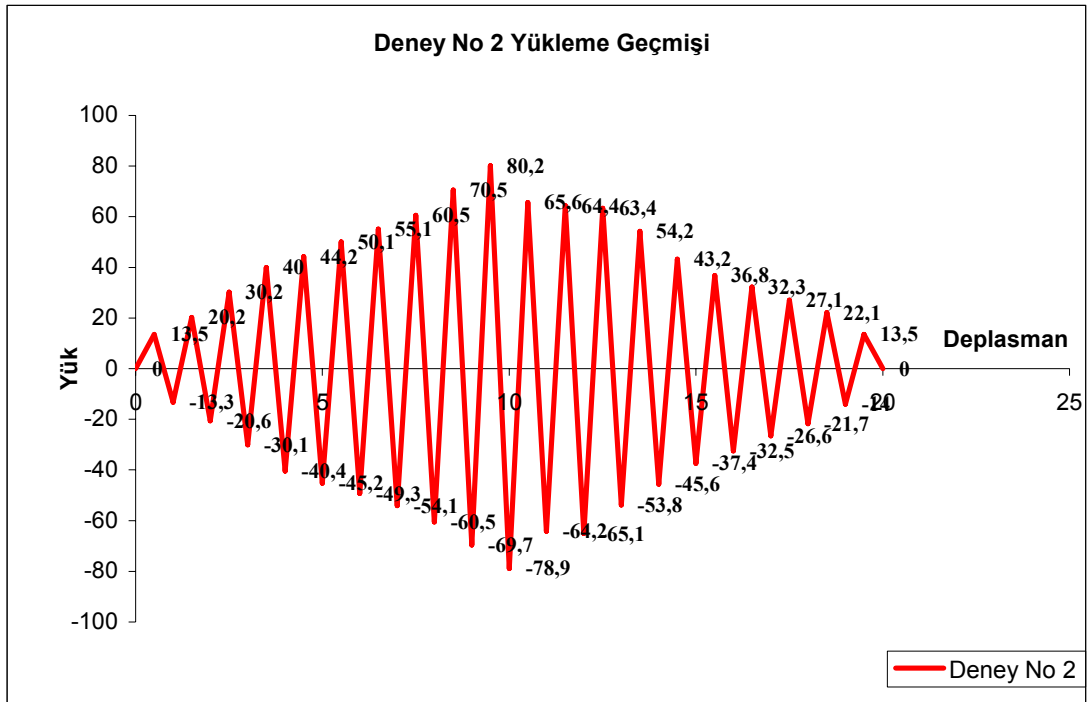
Çizelge 5.3 2 nolu deney numunesinin özellikleri

Deney Numunesi	Numune Duvar Tipi	Tuğlanın Ortalama Basınç Mukavemeti (MPa)	Harcın Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	FRP Ortalama Çekme Mukavemeti (MPa)
Deney 2		23,17	6,6	3150

2 nolu deney numunesinin deneyden önceki tuğla duvar örülmüş durumunda ki bir kesiti ön görünüş olarak Şekil 5.19’da, deney numunesine uygulanan yükleme geçmişi Şekil 5.20’de verilmiştir.



Şekil 5.19 1 nolu deney numunesinin deneyden önceki ön görünüşü



Şekil 5.20 2 nolu deney numunesine ait yükleme geçmişi

Yükleme geçmişi, duvar ekseninden yatay yüke göre verilmiştir. Yükleme programına göre, 40 kN' a kadar 10 kN 'lık artışlarla, daha sonra ise 5 kN'lık artışlarla deney sonuna kadar gidilmiş ve ileri çevrimler 1, geri çevrimler 2 nolu adımlar olarak numaralandırılmıştır.

Deney numunesinde, 5. geri çevrimde -44 kN'luk yük anında, yan duvarın orta bölgesinde uzunlamasına yatay olarak kılcal sıva çatlakları meydana gelmiştir.(Şekil 5.22) Yine bu yükleme altında numunenin sol yan duvarında yatay kılcal sıva çatlağı oluşmuştur. Farklı bölgelerde yükleme devam ederken çatlak sayısı da artmıştır. Oluşan ilk önemli çatlak 58 kN'luk yük altında meydana gelmiştir. Yüklemeye devam edildikçe duvar yük almaya devam etmiş ve 80 kN 'luk yük altında göçme meydana gelmiştir. Çatlaklar yükleme devam ettiği sürece açılmaya ve genişlemeye devam etmişler, deplasmanlar artmıştır. Bu deneyde, her çevrimde gözlemlenen davranış, deney sırasında alınan önemli notlar Çizelge 5.4'de verilmiştir. Bu çizelge, deney sırasında deney ekibince alınan notları ve deney sırasında gözlemlenen davranışları içermektedir. Çizelgede her bir yükleme çevrimi (ileri ve geri adımlar

olmak üzere), ölçülen deplasman ve yatay yük değeri, gözlemlenen çatlaklarla birlikte verilmiştir.



Şekil 5.21 2 nolu deney yan duvarda sol arka mesnetin altında oluşan ilk çatlak



Şekil 5.22 2 nolu deney numunesinde 5. çevrimde oluşan çatlaklar

Çizelge 5.4 2 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	Yatay Yük (kN)	Deplasman (mm)		Gözlenen Davranış
		Dış	İç	
1.1	10	0	-0,2	Deplasmanlar oluşmaya başlamıştır.
1.2	-10	-0,1	0	-
2.1	20	0,2	-0,3	-
2.2	-20	-0,4	0,3	-
3.1	30	0,4	-0,5	-
3.2	-30	-0,8	0,4	-
4.1	40	0,7	-0,8	Deplasmanlar küçük değerlerle artmaktadır.
4.2	-40	-1,3	0,9	
5.1	45	0,8	-1,1	-
5.2	-45	-0,96	1,4	-

6.1	50	1,1	-1,3	-
6.2	-50	-1,5	1,7	-
7.1	55	1,8	-2,1	-
7.2	-55	-2,09	2,4	-
8.1	60	2,3	-2,5	+58 Kn'luk yük altında duvarın arka yüzünde sağ mesnetten orta bölgeye doğru çatlak oluşmuştur. Ayrıca bu yük altında yine arka yüzün sol mesnetinden itibaren orta bölgeye doğru çatlak meydana gelmiştir.+60 Kn'da duvarın ön yüzünde ve sol tarafta yükleme levhasına doğru oluşan çatlak uzamıştır.
8.2	-60	-2,45	2,4	İlk çatlak oluşumundan sonra iç çevrimde deplasman değerleri ani olarak yükselmiştir.

Çizelge 5.4 devamı. 2. nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim No	Yatay Yük (kN)	Deplasman (mm)		Gözlenen Davranış
		Dış	İç	
9.1	70	2,6	-2,75	Çatlaklar oluşmaya devam etmektedir.
9.2	-70	-2,8	2,95	Çatlaklar oluşmaya devam etmektedir.
10.1	80	2,9	-3,02	Duvar göçme durumuna gelmiştir
10.2	-80	-4,3	5,7	Deplasmanlar artmaya devam etmektedir.
11.1	70	5,5	-6,4	Deplasmanlar artmaya devam etmektedir.
11.2	-70	-6,7	7,9	Deplasmanlar artmaya devam etmektedir.
12.1	60	11,0	-10,9	Deplasmanlar artmaya devam etmektedir.
12.2	-60	-10,6	10,4	Deplasmanlar artmaya devam etmektedir.

+58 kN'lik yük altında duvarın ön yüzünde duvar ile döşeme bağ kirişi birleşim bölgesinde yatay ve uzunlamasına doğrultulu çatlak oluşmuştur (Şekil 5.23) . Ayrıca bu yük altında arka yüzün sol mesnetinden itibaren orta bölgeye doğru çatlaklar meydana gelmiştir.+58 kN'de duvarın ön yüzünde ve sol tarafta yükleme levhasına doğru oluşan çatlak uzamıştır.



Şekil 5.23 2 nolu deney numunesinde +58 kN'da oluşan çatlaklar

+58 kN ile +80 kN arasında oluşan kılcal sıva çatlak şekilleri, Şekil5.24'de verilmiştir.



a) Ön duvarın sağ tarafındaki çatlaklar



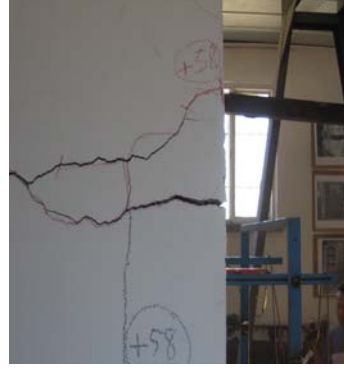
b) Ön duvarın sol tarafındaki çatlaklar



c) Sağ yan duvarın orta bölgesindeki çatlaklar



d) Arka duvarın iç tarafında üst bölgedeki çatlaklar



e) Yan duvarın orta bölgesindeki çatlaklar



f) Duvarın ön tarafıyla sağ tarafının birleşim bölgesinde oluşan çatlaklar

Şekil 5.24 2 nolu deney +58kN'la, +80 kN arasındaki çatlak durumları

+80 kN'ye gelindiğinde, +44 kN ve +58'kN'de duvarın ön yüzünde yükleme levhasının sol üst kısmında oluşan kılcal sıva çatlakları ilerlemiş ve genişlikleri artmıştır. Duvarın sağ ve sol tarafındaki çatlaklarda, yatay olarak ilerleme ve genişliklerinde artma gözlemlenmiştir. Bu durumlarla ilgili şekiller, Şekil 5.25, Şekil 5.26, Şekil 5.27 ve Şekil 5.28'de verilmiştir.



a) Ön duvarın sol üst kısmındaki çatlaklar



b) Arka duvarla sağ yan duvarın birleşim bölgesindeki çatlaklar



c) Arka duvarla sol yan duvarın birleşim bölgesindeki çatlaklar



d) Arka duvarla sağ yan duvarın birleşim bölgesindeki çatlaklar



e) Duvarın arka yüzünde sol kısımda oluşan çatlaklar



f) Arka duvarla sol yan duvarın birleşim bölgesindeki çatlaklar

Şekil 5.25 2 nolu deney numunesinin 60 kN'luk yük aşamasındaki durumları



a) Yükleme levhasının sol üst kısmında ilerleyen ve genişleyen çatlaklar



b) Yükleme levhasının sol üst kısmında ilerleyen ve genişleyen çatlaklar



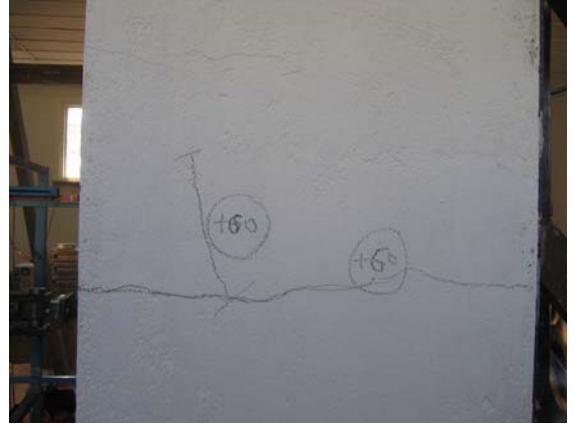
c) Ön duvarla sağ yan duvarın birleşim bölgesindeki çatlaklar



d) Ön duvarla sağ yan duvar arasında oluşan çatlaklar



e) Mesnet levhasının sol yanında çatlak



f) Sol yan duvarda oluşan çatlaklar

Şekil 5.26 2 nolu deneyde 60 kN'luk yük aşamasındaki durumları



a) Ön duvarın sol üst kısmındaki çatlaklar



b) Ön duvarla sol yan duvarın birleşim bölgesindeki çatlaklar



c) Ön duvarla sağ yan duvarın birleşim bölgesindeki çatlaklar



d) Arka duvarın orta kısmındaki çatlaklar



e) Mesnet levhasının sağ yanında çatlak



f) Sağ yan duvarda oluşan çatlaklar

Şekil 5.27 2 nolu deneyde 60 kN'luk yük aşamasındaki durumları



a) Ön duvarın sol üst kısmındaki çatlaklar



b) Ön duvarla sol yan duvarın birleşim bölgesindeki çatlaklar



c) Arka duvarda oluşan çatlaklar



d) Arka duvarın orta kısmındaki çatlaklar



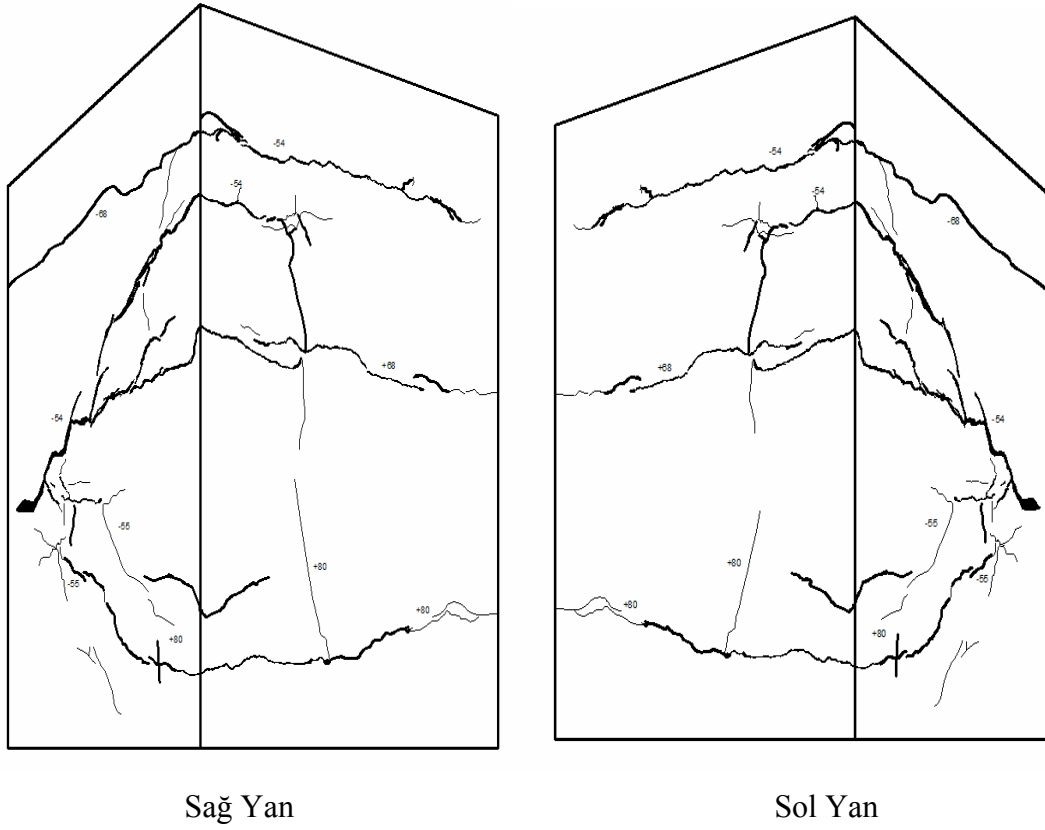
e) Mesnet levhasının sağ yanında çatlak



f) Sol yan duvarda oluşan çatlaklar

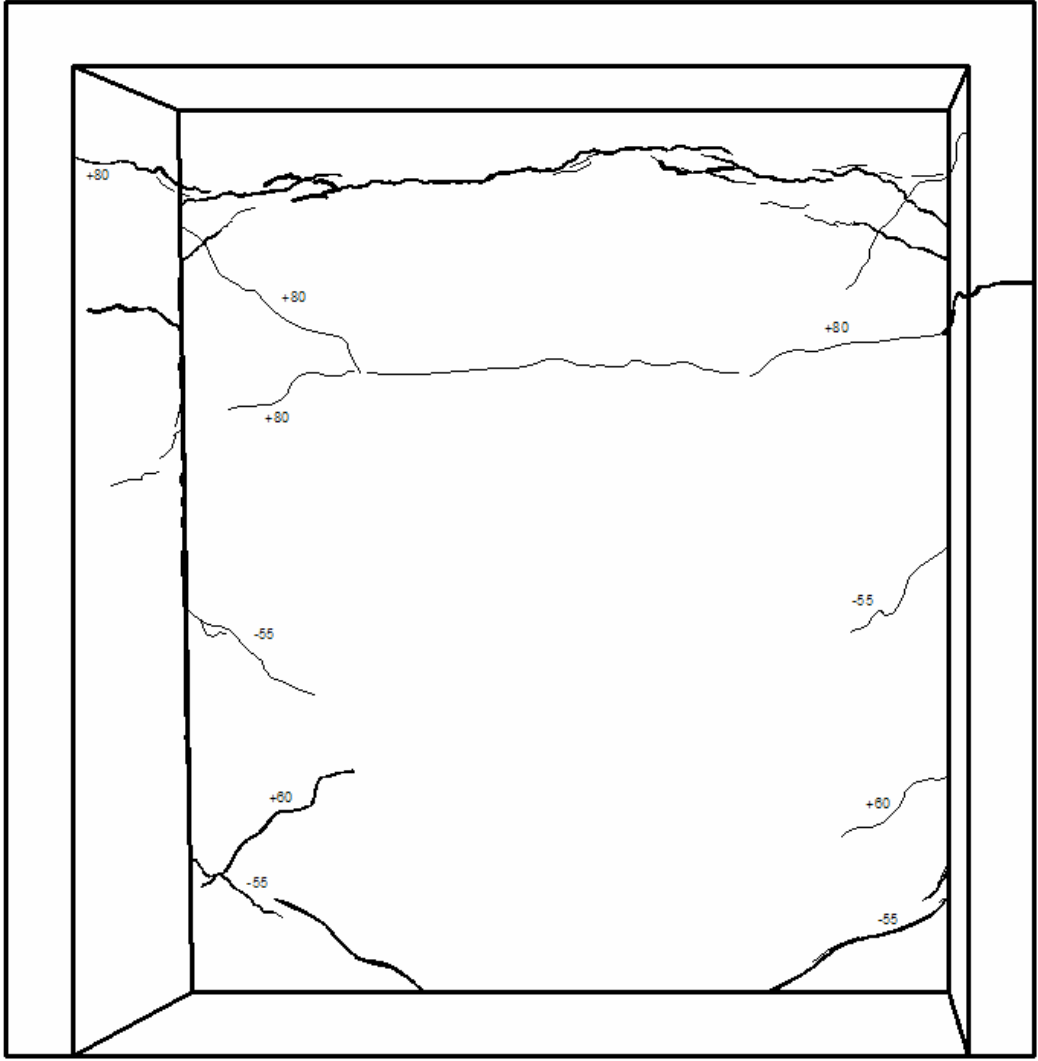
Şekil 5.28 2 nolu deneyde 60 kN'luk yük aşamasındaki durumları

Maksimum yük altında çerçeve sisteminde oluşan çatlaklar, deney sırasında alınan notlara, çekilen fotoğraflara ve video kayıtlarına göre tek tek numune üzerinde işaretlenmiş ve Şekil 5.29'da önyüz, Şekil 5.30'da arka iç yüz olmak üzere 1. deney numunesinde maksimum yük altında oluşan çatlaklar şematik olarak gösterilmiştir.

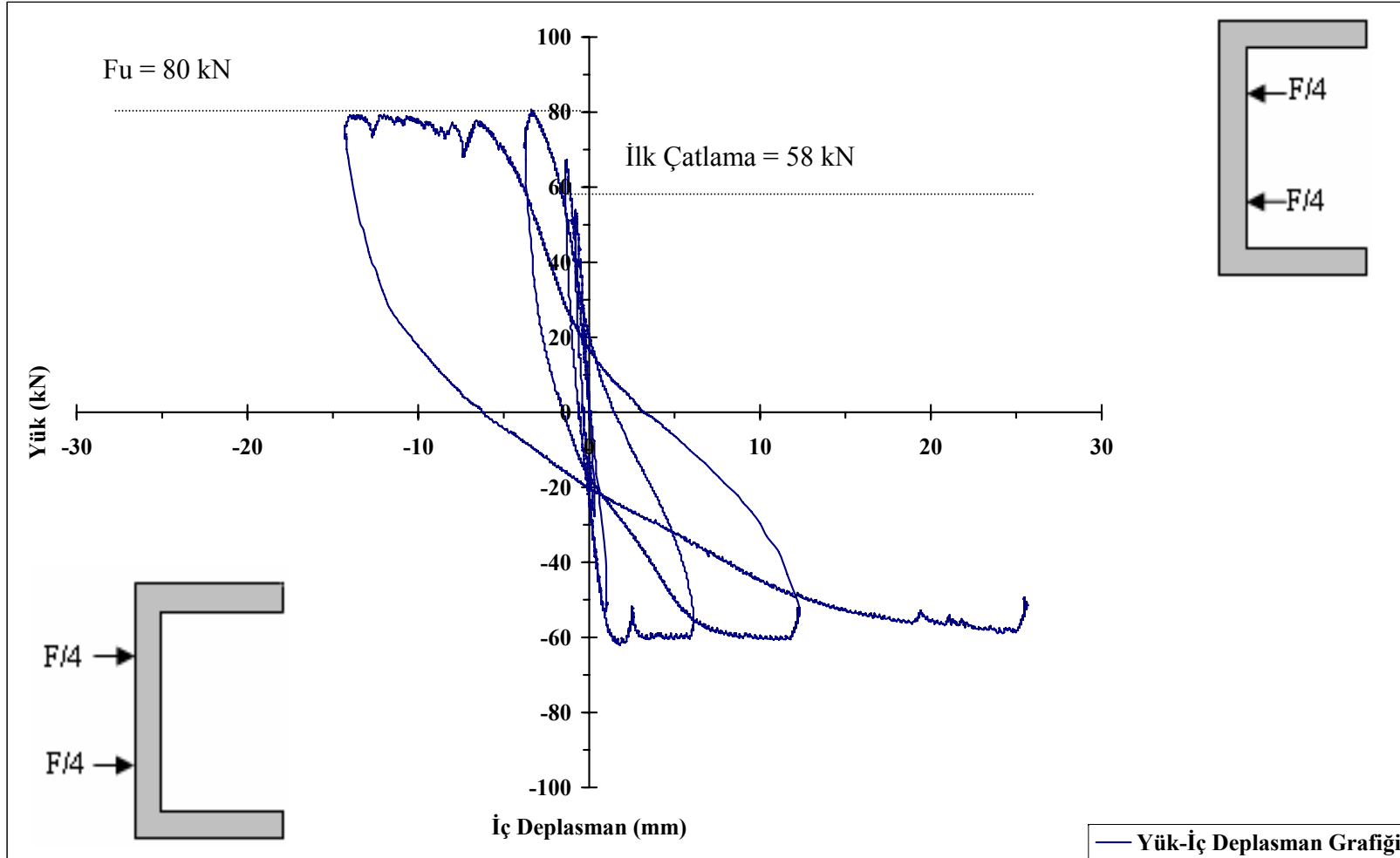


Şekil 5.29 2 nolu deney maksimum yüklemde dış yüzey hasar durumu

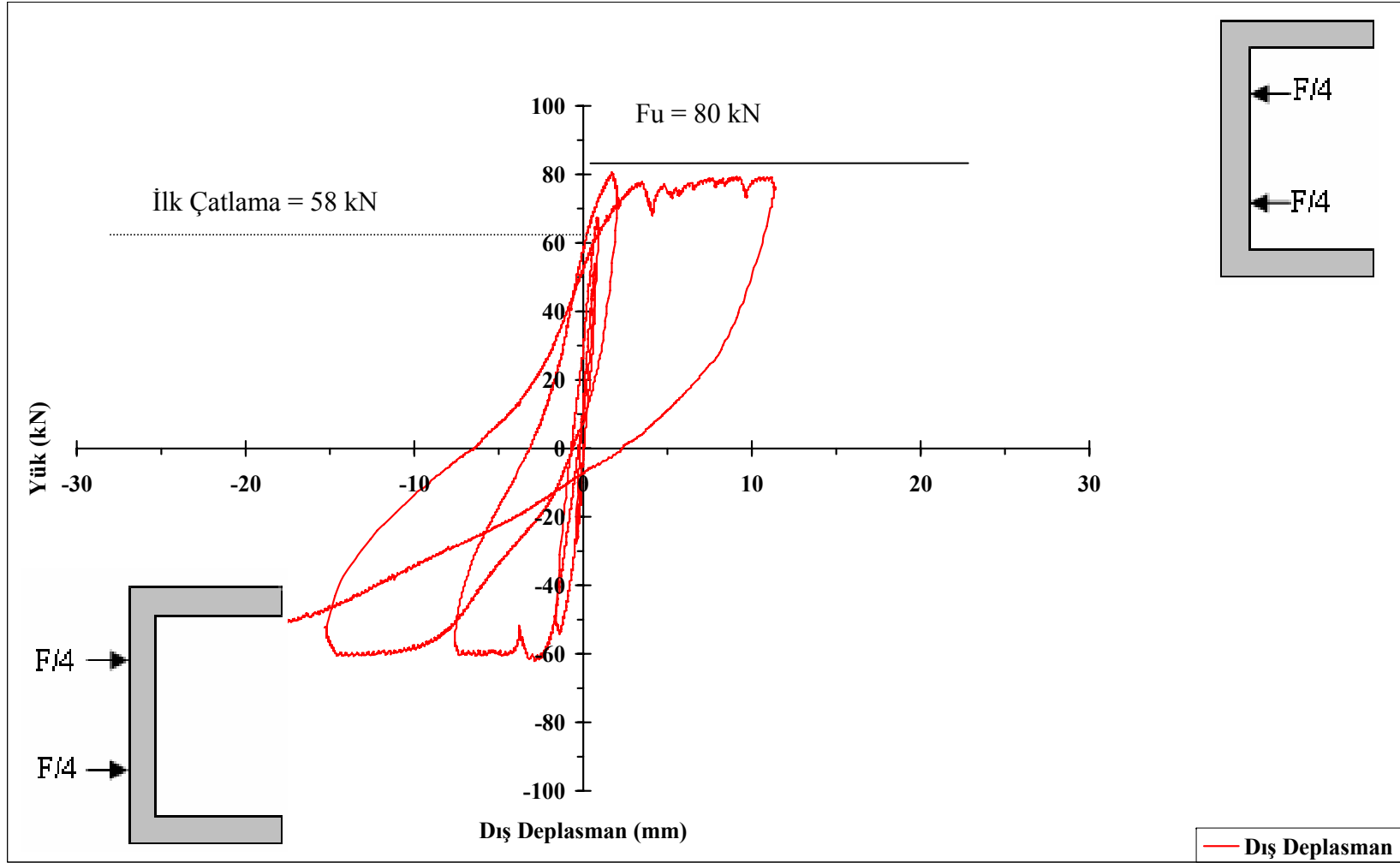
Deney sonunda özellikle duvar ile döşeme birleşim bölgesi olan bağ giriş altında ve yüklemenin yapıldığı levhanın kenar bölgelerinde gözle görülür derecede deplasmanlar meydana gelmiştir. Oluşan deplasmanlar sonucu ortaya çıkan derin çatlaklar duvarın sağ ve sol yan yüzlerinde devam etmiş ve her yükleme artışında çatlak genişlikleri artmıştır. Deney sırasında meydana gelen deplasmanların kaydı sonucu oluşan, iç ve dış deplasmanların grafikleri ve birleştirilmiş deplasman grafiği Şekil 5.31, Şekil 5.32 ve Şekil 5.33 de verilmiştir.



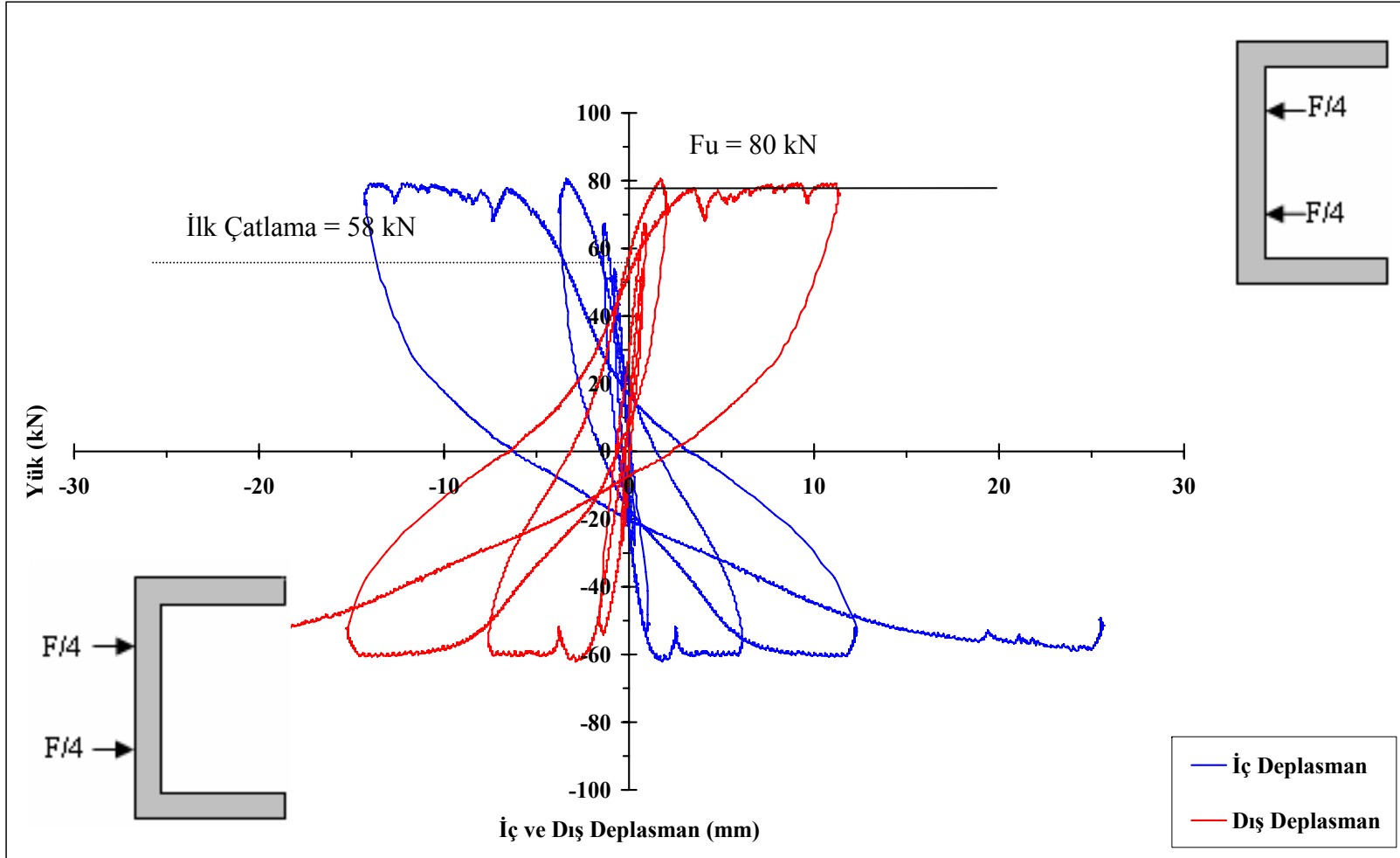
Şekil 5.30 2 nolu deney maksimum yüklemede iç yüzey hasar durumu



Şekil 5.31 2 nolu deney numunesine ait yük-iç deplasman grafiği



Şekil 5.32 2 nolu deney numunesine ait yük-dış deplasman grafiği



Şekil 5.33 2 nolu deney numunesine ait yük-iç-dış deplasman grafiği

6. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

6.1. Giriş

Bilindiği gibi ülkemiz aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp deprem kuşağı üzerindedir ve DİE verilerine göre topraklarımızın yaklaşık %93'ü deprem riski altındadır.

Ülkemizde son 60 yılda meydana gelen depremlere bakıldığında can ve mal kaybı çoğunluğunun kırsal kesimlerde meydana gelen depremlerde; yığma yapıların göçmesiyle meydana geldiği görülmektedir. Kırsal kesim yapı stoğumuzun %80'nin yığma yapılardan oluştuğu ve yapılarında;

- Standardize olmamış yerel malzemelerden,
- Standart beceriye ulaşamamış yerel işçiliklerle,
- Çoğu kere ilgili teknik mevzuata uyulmadan yöresel yapı kültürü ile yapıldığı ve özellikle;
 - Kat farklılığı
 - Katlarda duvar kalınlığı
 - Dolu duvar boyları
 - Açıklık mesafeleri
 - Boşluk, bina köşe mesafeleri
 - Duvarlarda doluluk, boşluk oranları
 - Kat yükseklikleri
 - Hatıl ölçüleri
 - Betonarme döşeme oluşturulmaması vb.

planlama hataları sebepleriyle kaçınılmaz hale gelmektedir.

Son 2002 yılı Afyon- Çay ve Erzurum- Aşkale depremleri sonrası yapılan incelemeler bunu göstermiştir.

Yığma yapıların teriminin deprem yükü altındaki davranışlarının belirlenmesi amacıyla yapılan deneysel çalışmalar; yapının, duvarda meydana gelen malzeme çatlaklarının ilerleyerek çatlak akma çizgileri haline gelmesiyle çöktüğünü göstermiştir. Bu araştırmada; yığma duvarlarda, tuğlada oluşan çatlağın yatay derzde devam ederek, çatlak ilerleme yönündeki diğer ana malzemelere geçmesini önlemek amaçlanmıştır. Bu amaçla derzin güçlendirilmesi düşünülmüş ve derzin epoksi reçinesi ile sarılmış FRP'li fitille takviyesi yöntemi uygulanmıştır.

Bu yöntem; teorik ve uygulamada incelenen diğer güçlendirme yöntemlerinden farklı olarak; yapının içine girmeden ve yapının fonksiyonunu kesintiye uğratmadan, yalnızca dışarıda uygulanabilmektedir. Bu özelliğiyle de ekonomik ve sosyal yönden diğer yöntemlere göre ayrıcalık göstermektedir.

6.2. Sonuç ve Değerlendirmeler

Yığma yapıların tersinir düzlem dışı yükler altındaki davranışlarını belirlemek amacıyla; çalışmanın materyal bölümünde açıklanan ve Şekil 3.1'de gösterilen yığma duvarda; oluşan düzlem dışı sehimler, duvarın ön ve arkasında yer alan yükleme plakalarının 4 köşe noktasında ölçülmüştür. 4 sehimin ortalaması, döşeme merkezinde oluşan sehim olarak kabul edilmiştir.

Yükün ve sehimin işareti duvar köşeleri basınç altında kaldığı zaman (+) kabul edilmiştir.

Deney duvarının yük-sehim çevrim eğrilerinin ilişkisine dair şekil incelendiğinde aşağıdaki gözlemler yapılabilir.

- a. Tersinir yükün işaretine göre, düzlem dışı yüklenen duvarda değişik tepkiler oluşmaktadır.
- b. Tersinir yük altında ilk duvar çatlaması elastik sınırlar içinde oluşmaktadır.

- c. İlk çatlama, duvar köşelerini çekme altında bırakan yük altında oluşmaktadır.
- d. İlk çatlama duvar merkezinde $F_{cr} = 45$ kN yük altında ve momentin maksimum olduğu bölge içinde oluşmaktadır. Çatlama sonrasında, duvarın rijitliğinde yaklaşık % 50 azalma olmaktadır.
- e. Çatlamadan sonra, duvarın doğal periyodu yaklaşık 1,40 kez büyümektedir. Kuşkusuz, bu periyot büyümesi sonucunda, düzlem dışı titreşimler gösteren duvar ile döşeme diyaframı arasındaki enerji alış verişinde bir azalma olmaktadır. Ancak, duvarın doğal periyodundaki uzama oldukça küçük düzeydedir ve duvara düzlem dışı ivme büyümelerini durduracak gibi değildir. Bu sonuca, AY-97'de [1] verilen İvme Tepki Spektrumu incelenerek ve karşılaştırmalar yapılarak ulaşılmıştır.
- f. Köşelerde basınç oluşturan (- işaretli) yükleme altında, duvar elastik davranmakta ve çok az sismik enerji tüketebilmektedir. $F = -45$ kN yük büyüklüğünde çok hafif bir çatlama belirtisi vardır.
- g. Dayanım tükenmesi ve kırılma, duvar köşelerinin çekmeye çalıştığı yükleme durumunda oluşmaktadır. Duvar köşelerinde, düşey köşe çizgisine paralel çatlağın genişliği dikkatle izlenmiştir. Bu, kesinlikle bir çekme çatlağı olup duvar düzlemini köşe mesnetlerinden ayrılmaya zorlamaktadır.
- h. Düzlem dışı yüklenen duvarda oluşan çatlak haritası Şekil 5.14 ve 5.15'de gösterilmiştir. Duvar kırılmasının çekme altındaki köşelerde ve duvarın düzlemi içinde olduğu açıkça görülmektedir. Bu davranış altında, düzlem dışı yüklenen duvarın “bina dışına” doğru kırılacağı sonucuna varılabilir.
- i. Yükün 40 kN'dan daha büyük değerlere ulaşmasıyla, duvar köşelerinde ve yüzeyinde oluşan çatlakların hem uzunlukları hem de kalınlıkları artmıştır. Güç tüketimi $F_u = 65$ kN yük büyüklüğünde oluşmuştur. Duvar düzlemindeki

çatlak haritası, betonarme plak döşemede oluşan “akma çizgileri”ni andırmaktadır.

- j. Oluşan çatlak haritasından, düzlem dışı yüklenen yığma duvarın davranışının betonarme plak döşemenin davranışına benzediği söylenebilir. Öyle ise, düzlem dışı duvar yükünün duvar içinde iki yönde dağılırarak kenar mesnetlere ulaştığı söylenebilir. Duvarın tuğla örgüsü ve duvar düzleminin iki yüzüne de uygulanan sıvanın, süreklilik gösteren bir yük dağılımına izin verdiği sonucu çıkarılabilir.

Deneyin 2. aşamasında; aynı geometri ve malzeme özelliklerinde tekrar inşa edilmiştir. Derz harçlarının ve betonun 7 günlük priz süresinden sonra epoksi reçinesi ile yuvarlanan FRP fitilleri boşaltılarak temizlenen yatay derzlere yine epoksi reçinesi yardımıyla yerleştirilmiş, iki bitim uçları duvara sabitlenmiş, ilk duvardaki yapılan özelliklerde sıva uygulanmış, sıvanın prizini almasını takiben aynı deney koşullarında düzlem dışı tersinir yükle yüklenmiş ve ilk deneyin benzer yerlerinden sehim ölçüm değerleri alınarak yük-sehim eğrileri çizilmiştir. Bu eğriden aşağıdaki gözlemler yapılabilir.

- a. Tersinir yük altında ilk duvar çatlaması elastik sınırlar içinde oluşmaktadır.
- b. İlk çatlama duvar köşelerini çekmeye zorlamada $F_{cr} = 58$ kN yük altında oluşmuştur. Çatlama sonrasında arka yönde sağ mesnetten orta bölgeye doğru, duvarın rijitliğinde % 40 ‘lık bir azalma olmuştur.
- c. Çatlamadan sonra duvarın doğal periyodu yaklaşık 1,6 kez büyümüştür. Yine Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelikte verilen ivme tepki spektrumu ile karşılaştırılarak varılmıştır.
- d. Basınç oluşturan yükleme altında duvar elastik davranmakta ve çok az sismik enerji tüketilmektedir.
- e. Yüklemenin duvarında çatlakların duvar köşelerinde ve yaklaşık köşe çizgilerine paralel ve bu çatlakların duvarın çekmeye çalıştığı hallerde

oluştugu görülmüştür. Bu durum, duvar düzlemini köşe mesnetlerinden ayırmaya zorlama olarak değerlendirilmiştir.

- f. Yükün 58 kN'dan daha büyük değerlere ulaşmasıyla duvar köşelerinde ve yüzeyinde oluşan çatlaklara ilaveten subasman hatılı ve döşeme hatılına paralel çatlakların oluştuğu görülmüştür.
- g. Duvar $F_u = 80$ kN'a kadar yük çekmiştir. Bu noktadan itibaren duvar yük almamasına rağmen yüklemeye devam edilmiş ve yaklaşık 12mm'lik deplasmana kadar yük düşmesi olmamıştır. Bu aşamada çatlakların akma çizgileri şeklinde devam etmesine rağmen, duvar aynı yük altında yeterli sünekliliği gösterebilmiştir.
- h. Güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş duvarların tersinir düzlem dışı yük altındaki davranışlarına dair yük-sehim ilişkileri incelendiğinde; güçlendirilmemiş duvarda $F_u = 65$ kN yük altında yaklaşık 3 mm deplasman yaptığı, daha sonra hızla yükün düştüğü; güçlendirilmiş duvarda ise; duvarın $F_u = 80$ kN yük altında yaklaşık 3 mm deplasman yaptığı ve bu noktadan itibaren yük almamakla birlikte 11 mm deplasman yapabildiği gözlenmiştir.
- i. Yatay derzleri epoksi ile FRP malzemesiyle güçlendirilen yığma duvar $a_{gd2} = 1,44g$ 'lik bir ivme etkisi, güçlendirilmemiş duvarın ise, $a_{gd1} = 0,468g$ 'lik bir ivme etkisi ile kırılacağı dikkate alındığında; epoksili FRP ile yatay derzlerin güçlendirilmesinin duvarın sismik dayanım performansını yaklaşık 3 kat arttırdığı görülmüştür.

7. ANALİTİK İNCELEME

Yığma yapılara etki eden ivme profili, ötelemenin 2. zaman türevi alınarak bulunabilir. Binanın x yönündeki ötelenmesi $y(t)$, binanın x yönündeki ivmesi ise

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} \text{ olarak gösterilecektir.}$$

Türk Afet Yönetmeliği'ne göre;Tepki Spektrumu yönteminde 0,05 sönümleme oranı için yer ivmesinin 2,5 kez büyütülerek kütleyi etkileyeceği varsayılmaktadır. Ötelenme denkleminin 2 kez zaman türevinin alınmasıyla, göreceli tepki ivme profilinin bina yüksekliğince dağılımı doğrusallığa çok yaklaşır ve böyle kabul edilir. Bu kabule göre yapının herhangi bir yüksekliğinde oluşan tepki ivmesi, (a_g) 'nin bir işlevi olarak Denklem 7.1'deki gibi hesaplanabilir.

$$a = 2,5 \times a_g \times \frac{h}{h_e} \quad (7.1)$$

Çok katlı yapılarda ise ortalama ivme Denklem 7.2'deki gibi hesaplanır.

$$a_{(ort)} = \frac{1}{2} \times (a_1 + a_2 + \dots) \quad (7.2)$$

Üzerinde çalışılan duvarı (B duvarını) düzlem dışı titreşimler yapmaya zorlayan ivmenin büyüklüğü ise, Denklem 7.3 ile bulunabilir.

$$a_{(Duv.B)} = ST \times a_{(ort)} \quad (7.3)$$

Burada ST büyütme katsayısıdır.1.derece deprem bölgesi için geçerli maksimum yer ivmesi olarak $a_g = 0,4 \text{ g}$ kullanılmaktadır. $a_g = 0,4 \text{ g}$ maksimum yer ivmesi

olmak üzere; çok katlı, örneğin 2 katlı bir yığma yapı için kat kütleleri $m_1 = m_2 = m$ ve kat yüksekliği 1. kat, $h_1 = 3$ m ve $h_2 = 3+3=6$ m olsun.

Bu kere etkili ivmenin yüksekliği Denklem 7.4 ile hesaplanır.

$$h_e = \frac{\varepsilon(m_1 h_1) h_1}{\varepsilon(m_1 h_1)} \quad (7.4)$$

Gerekli değerler Denklem 7.4'de yerine konursa;

$$h_e = \frac{(3^2) + (6^2)}{3 + 6} = \frac{45}{9} = 5 \text{ m bulunur.}$$

1. katın ivmesi ise, Denklem 7.1 eşitliği ile,

$$a_1 = 2,5 \times (0,4g) \frac{3}{5} + (0,4g) \times \frac{2}{5} = 0,76 g \text{ olarak bulunur. Maksimum ivme ise;}$$

$$a_2 = a_{\max.} = 2,5 \times a_g \times \left(\frac{h_1}{h_e} \right) = (2,5 \times 0,4g) \frac{6}{5} = 1,2 g \text{ olur. (Literatürde teorik}$$

model çalışmaları ($a_{\max.}$) büyüklüğünü (1,2g) yerine $(\frac{4}{3}g)=1,33g$ olarak verilmektedir.)

Bu durumda;

$$a_{(ort)} = \frac{1}{2} \times (a_1 + a_2) = 0,98g \text{ olur.}$$

Duvarı (B) düzlem dışı titreşim yapmaya zorlayan ivme $a_{(B,\max)}$ 'tır. Bu ivme kat döşemesi ile etkileşime girerek daha da büyür. Duvar B'nin büyütülmüş düzlem dışı ivmesi Denklem 7.5 ile hesaplanır.

$$a_{(B,max)} = S(T) \times a_{(ort)} \quad (7.5)$$

Büyütme katsayısının 2 olması gerektiğinden; Denklem 7.5 düzenlenerek Denklem 7.6 elde edilir.

$$S(T) = 2,0 [a_{(ort)}] = 0,98 \quad (7.6)$$

Bulunan sonuç Denklem 7.5’de yerine konursa;

$$a_{(B,max)} = 0,98 \text{ g} \times (2) = 1,96 \text{ g elde edilir.}$$

Burada en önemli bulgu, 0,4g’lik bir yer ivmesinin büyüterek duvar (B)’yi düzlem dışı zorlaması 1,96g’lik bir ivmeye dönüşmesidir. Bu ivmenin duvarın düzlemi üzerinde düzgün yayılı olduğu kabul edilirse; duvar üzerinde düzgün yayılı düzlem dışı sismik kuvvetler Denklem 7.7 ile hesaplanır.

$$f_e = \frac{W(B)}{g} \times [1,96g] \text{ kN} / \text{m}^2 \quad (7.7)$$

Eşitlikte W, (B) duvarının birim alan ağırlığıdır ve $W = (0,25 \times 1,0 \times 1,0 \times) \times 20 = 5 \text{ Kn} / \text{m}^2$ olarak bulunur. Bulunan W değeri Denklem 7.6’da yerine konursa;

$$f_e \text{ ise; } \frac{5}{g} \times (1,96g) = 9,8 \text{ kN} / \text{m}^2 \text{ olur.}$$

Duvar boyutları $2,70 \times 2,10 \text{ m}$ ise; duvara etkiyen toplam yük;

$$F_E = (9,8) \times (2,70) \times (2,10) = 55,6 \text{ kN'dur. Buna göre;}$$

$$F_E \# F_{cr} \times 40 \text{ kN}$$

$$F_u = 65 \text{ kN}$$

$$f_e = 65 / (2,1) \times (2,7) = 11,46 \text{ kN / m}^2$$

$$a_{f_{d1}} = 0,4 \text{ g} \left(\frac{11,46}{9,8} \right) = 0,468 \text{ g olarak bulunur.}$$

Güçlendirilmiş duvarda kırılma yükü 80 kN olduğuna göre; eşdeğer kırılma yükü,

$$f_e = \frac{80}{(2,1 \times 2,7)} = 14,1 \text{ kN / m}^2 \text{ olur.}$$

Kabul edilen max. yer ivmesi $a = 0,4g$

$$\text{Teorik olarak hesaplanan } f_{Ez} = 9,8 \text{ kN / m}^2$$

Deneyssel olarak bulunan $f_E = 14,1 \text{ kN / m}^2$ 'dir. Buna göre;

$$a_{f_{d2}} = 0,4 \text{ g} \left(\frac{14,1}{9,8} \right) = 1,44 \text{ g olarak hesap edilir.}$$

Bu durumda duvar 1,44 g'lik bir ivme altında kırılacaktır. Güçlendirilmemiş duvarın $a_{g_{d1}} = 0,468 \text{ g'lik}$ bir ivme etkisiyle, güçlendirilmiş duvarın ise, $a_{g_{d2}} = 1,44 \text{ g'lik}$ ivme etkisi ile kırılacağı dikkate alındığında; yatay derzleri epoksili FRP ile takviye edilerek güçlendirilmesi, kırılmaya karşı yığma yapıların sismik dayanım

performansını matematiksel olarak $\frac{a_{g_{d2}}}{a_{g_{d1}}} = \frac{1,44g}{0,468g} = 3$ kat artırdığı söylenebilir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapıların içerisine girilmeden yığma yapıların ve sıvaları kazınıp derzleri açılarak temizlemek suretiyle, dıştan epoksi reçineli FRP fitilleri takviyesi ile güçlendirilen yapıların; tersinir düzlem dışı yükler altındaki davranışları ile güçlendirmenin performansının belirlenmesi amacıyla yapılan deneyler sonucunda ulaşılan sonuçlar ve öneriler şöyledir;

1-) Düzlem dışı tersinir yükler, yük taşıyan yığma duvarları çökmelere karşı çok dayanılmaz hale getirir.

2-) Düzlem dışı yüklenen duvarlarda çok büyük ivme artışları olur (2 katı) ve buda yapıyı yıkmaya zorlayan kuvvetleri çok artırır.

3-) Düzlem dışı yüklenen duvarlarda, 2 yönlü betonarme döşemelerin kırılmalarına benzer çatlaklar oluşur ve bu çatlaklar akım çizgilerine dönüşerek duvarın yıkılmamasına sebep olur. Test edilen model yığma duvarın 65 kN'luk bir tersinir yük altında kırılmakta iken güçlendirilmiş duvarın kırılma yükü 80 kN olmuştur. Yani başka bir söyleyişle 1,25'lik daha fazla kırılma yüküne dayanabilmektedir.

4-) İyi hazırlanmış sıva sürekli yük iletim vasıtası oluşmasına yardımcı olur. Böylece yığma duvarlarda deprem güvenliğini artırmak için her iki yüzü sıvanmalıdır.

5-) Deney duvarının düzlem dışı kırılması kesme kırılmasını andıracak şekilde gevrek olmuştur. Bu yönden çok az sismik enerji tüketebilmiştir. Bu sebepten düzlem dışı yüklenen duvarlar deprem yıkılmasına karşı çok dayanıksızdırlar.

6-) Test edilen duvarın dayanımı 0,4g'lik yer ivmeli bir depremin gerekli kılacağı sismik dayanıma karşılık gelmektedir. Ancak bu durumun belirli boyutlara

ve malzeme özelliklerine sahip bir test duvarı için söz konusu olduğu unutulmamalıdır.

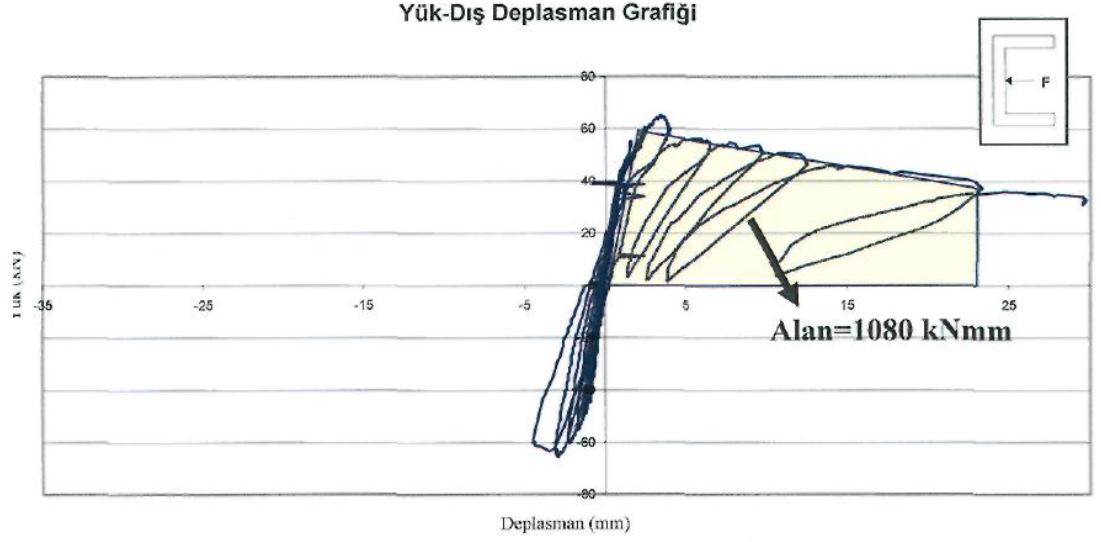
7-) Yatay derzleri epoksi reçineli FRP ile güçlendirilen duvarın 1,44g'lik yer ivmeli bir depremin sismik dayanımına dayanabileceği görülmüştür. Bu durumda uygulanan güçlendirme yönteminin duvarın sismik dayanım performansını yaklaşık 3 kat arttırdığı söylenebilir.

Yatay derz takviyesi ile yığma yapıların güçlendirilmesi genel yaklaşımında, yatay derzin epoksi reçineli FRP fitilleri ile güçlendirme her 3 sırada bir uygulanmıştır. Bu uygulama sonuçlarının, 2 sırada bir veya her yatay sırada yapılacak derz takviyesi uygulamalarından elde edilecek sonuçların karşılaştırılması gerektiği önerilebilir.

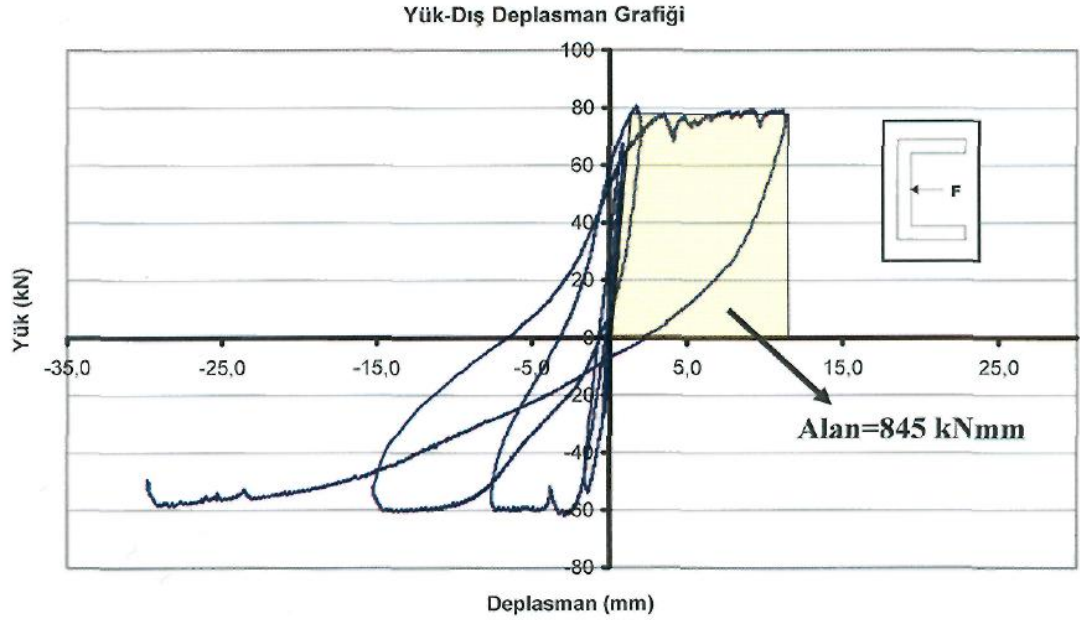
8-) Yapılar deprem etkisine deprem enerjisini sönümleyerek karşı koyarlar. Buda yapının sünekliğine bağlıdır. Deneysel çalışmalarda ve literatürde yapının hem yeteri kadar sünek olmasının hem de yük taşıma kapasitesinin yüksek olması gerektiği ifade edilmektedir. Yığma yapılarda; Yatay derzlerin epoksili FRP fitilleri takviyesi ile güçlendirme yöntemine dair deneysel çalışma sonuçları bu çerçevede değerlendirildiğinde:

- a. Referans duvar 60kN'luk düzlem dışı tersinir yük altında kırılmışken, güçlendirilen duvarda kırılma yükü 80kN olmuştur. Buna göre %25'lik bir dayanım artışı sağlanmıştır.
- b. Referans duvarın sünekliği 23 mm iken güçlendirilmiş duvarın sünekliği 12 mm olmuştur. Buna göre süneklik %48 azalmıştır.
- c. Enerji yutma kapasiteleri bakımından karşılaştırıldığında (Şekil 8.1, Şekil 8.2) referans duvarın yaklaşık 1080 kNmm, güçlendirilmiş duvarın ise yaklaşık 845kNmm enerji tükettiği görülmektedir. Buda güçlendirilmiş duvarda %22 oranda daha az enerji tükettiği anlamına gelir.

Bulunan bu değerlere göre; bu güçlendirme yöntemi uygulandığında, deprem etkisine karşı %25'lik bir dayanım artışı sağlanırken %48'lik bir süneklik azalması olmaktadır. Başka bir ifadeyle yapı depreme karşı güçlendirilirken kırılganlığı artmaktadır.



Şekil 8.1 Referans deney numunesi



Şekil 8.2 Güçlendirilmiş deney numunesi

9. KAYNAKLAR

- A. İlki ve N. Kumbasar**, “Karbon Lif Takviyeli Polimer Kompozitlerin yapı elemanlarının onarım ve güçlendirilmesinde kullanılması”, Yapı Mek. Lab. Kongresi. TÜBİTAK
- ABYYHY 1997.** “ Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Ens. Bşk., Ankara.
- Bayülke N., 1980.** “Yığma Yapılar”, T.C. İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, Ankara,
- Bayülke N., 1992.** “Yığma Yapılar”, İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, No 26, Ankara.
- Bayülke N., 1999.** “Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi”, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, No 15, İzmir, 255 s.
- Bayülke, N.,1999.** “Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi”, 3. Baskı, İMO İzmir Şubesi.
- Begingil, M., 1991.** "The Effect of Additivies on the Shear Strength of Brick Masonry Wall under Biaxial Loading", Asia-Pasific Conference on Masonry, Singapore, , pp. 21-25.
- Benmokrane, B., Rahman, H.,Mukhopadhyaya, P., 2000.** “Use Of Fiber Reinforced Polymer Reinforcement Integrated With Fiber Optic Sensors For Concrete Bridge Deck Slab Construction”, Canadian Journal of Civil Engineering 27: 928-940
- Binda, L., Modena, C, Baronio and G., Abbaneo, S., 1997.** “Construction and Building Materials”, Vol.l 1, NO.3, 133-142 p.

- Bommer, J., Hern andez, D. A., Navarrete, J. A., Salazar, W. M., 1996.** “Seismic Hazard Assessments for El Salvador”, *Geof sica International*, 35(3).
- Celep, Z., 2001.** “Mevcut Binaların Deprem G venliğinin Belirlenmesi ve Güçlendirilmesi”, *Mevcut Yapıların Deprem Y klerine Karşı Güçlendirilmesi ve  ıkmalı Binalardaki Sorunlar Sempozyumu*, İstanbul.
- Corradi, M., Borri,A., Vignoli A. 2003.** “Experimental Study on The Determination of Strength of Masonry Walls”, *Construction and Building Materials* 17 325–337
- De Luca, A., Giordano, A., Mele, E. 2004.** “A Simplified Procedure For Assessing The Seismic Capacity of Masonry Arches”, *Engineering Structures* 26 1915–1929
- Demers, M., Neale, K., 1999.** “Confinement Of Reinforced Concrete Columns With Reinforced-Reinforced Composite Sheets - An Experimental Study”, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 26,: 226-241
- Demir, H. 1992.** “Depremlerden Hasar G rm   Betonarme Yapıların Onarım Ve Güçlendirilmesi, İT  İn aat Fakültesi Matbaası, İstanbul,
- Deniaud, C., Cheng, JJ., 2001.** “Review of shear design methods for reinforced concrete beams strengthened with fiber reinforced polymer sheets”, *Canadian Journal of Civil Engineering* 28 (April, 2001):271-281
- Efrosini H., 1995.** “Shear Strengthening Of Concrete Girders Using Carbon Fiber Reinforced Plastic Sheets”. 1964-Publication, Ottavva, National Library of Canada, Bibliotheque nationale du Canada.

- Ehsani, M. R., 1997.** “Shear and Flexural Strengthening of R/C Beams with Carbon Fiber Sheets” Journal of Structural Engineering
- Ehsani M.R., Saadatmanesh H. 1996.** "Seismic Strengthening of Circular Bridge Pier Models with Fiber Composites" ACI Structural Journal (V93, No:6)
- Emeritus, A., 2001.** ”Masonry Walls: Materials and Construction”, Construction and Building Materials, Vol. 15, 323-330 p.
- Ercan A., 2003.** ”Yapı İnceleme Yöntemleri”, Mühendislik Jeofiziği II, birsen Yayınevi, İstanbul, 188s.
- Ersoy, U., 1999.** “ Betonarme Binaların Onarım ve Güçlendirilmesi” Tubitak, İMO
- Fam, A.Z., Yassa H., 1996.** “Carbon fiber reinforced plastic prestressing and shear reinforcements for concrete highway bridges”, 1969- Publication, Ottawa, National Library of Canada Bibliotheque Nationale du Canada,
- Foraboschi, P. 2004.** ” Strengthening of Masonry Arches with Fiber-Reinforced Polymer Strips”, Journal Of Composites For Construction © Asce / May/June 2004
- Ghobarah,A., El Mandooh Galal, K. 2004.** “Out-of-Plane Strengthening of Unreinforced Masonry Walls with Openings”, Journal Of Composites For Construction © Asce / July/August 2004
- Guinea, G. V., Hussein, G., Elices, M. and Planas, J. 2000.** “Micromechanical modelling of brick-masonry fracture,” Cement and Concrete Research, 30, pp. 731–737,

- Hamoush, S., McGinley, M., Mlakar, P., Terro,M.J., 2002.** “Out-of-Plane Behaviour of Surface Reinforced Masonry Walls”, Construction and Building Materials, Elsevier Science Ltd., Great Britain, 2002.
- Hendry, A.W. 1990.** “Structural Masonry”, MacMillan Education Ltd., Hong Kong,
- Hendry A.W. 2001.** “Masonry Walls: Materials and Construction”, Construction and Building Materials 15.323_330
- Houben, H. and Guillaud, H., 1989.** “Earth Construction - A Comprehensive guide", Intermediate Technology Publications, London.
- İlki, A., Kumbasar, N., 2000.** “Karbon Lif Takviyeli Polimer Kompozitlerin Yapı Elemanlarının Onarım ve Güçlendirilmesinde Kullanılması”, Tubitak
- Juha'sova'a, E., Hura'ka, M., Zembatyb,Z. 2002.** “Assessment of seismic resistance of masonry structures including boundary conditions”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 22, 1193–1197
- Kanıt, R., Atımtay,E., 2006.** “Experimental Assessment of the Seismic Behavior of Load-Bearing Masonry Walls Loaded Out-of-Plane” Turkish J. Eng. Env. Sci., 30 , 101,113.
- Kanıt, R., Atımtay,E., ve ark. 2005.** “Düzlem Dışı Yüklenen Yığma Yapıların Deneysel Davranışı”, YDGA Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Artırılması Çalıştayı, ODTÜ, 17 Şubat 2005, Ankara,
- Kaya, E., 2003.** “ Yığma yapıların çelik ve betonarme takviyesiuygulanabilirliği ve yapım hataları” Ege Üniversitesi, fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İZMİR

- Karantoni, F., Fardis, M.,N., 1990.** “Assessment of Analysis Methods and of Strengthening Techniques for Earthquake Resistant Masonry Structures”, Structural Conservation of Stone Masonry, International Technical Conference, Rome.
- Kora, D., 1990.** “Practical Techniques to Improve the Structural Stability of Stone Masonry Retaining Walls in Situ”, Structural Conservation of Stone Masonry, International Technical Conference, Rome.
- Kasumata 1997.** “R/C Rectangular Columns Strentgthening with CFRP Laminetes” JPDPA, Japan
- Lara, M. A., 1987.** “The San Salvador Earthquake of October 10, 1986 --History of Construction Practices in San Salvador”, Earthquake Spectra, 3(3), pp. 491-496.
- Lee, C., Bonacci, J., Thomas, M., 2000.** “Acceîerated Corrosion And Repair Of Reinforced Concrete Columns Using Carbon Fiber Reinforced Polymer Sheets”, Canadian Journal of Civil Engineering 27 (October, 2000): 941-948
- Luciano, R., Sacco, E. 1998.** “A Damage Model for Masonry Structures” European Journal of Mechanics, A/Solids, 17, no 2, 285-303,
- Marfia, S., Sacco, E. 2001.** “Modelling of Reinforced Masonry Elements “, International Journal of Solids and Structures, 38 4177-4198
- Marzahn, G., 1996.** “Improving the Shear Bond Behaviour of Masonry”, University of Leipzig, LACER Vol. 1.
- Marzahn, G., 1997.** “Shear Strength of Dowelled Masonry”, University of Leipzig, Lacer Vol. 2.

- Mayrhofer., C, 2001.** “Reinforced Masonry Walls Under Blast Loading”, International Journal of Mechanical Science, Volume 44, 1067-1080 p.
- Myers, J. J., Murthy, S., Micelli, F., 2001.** “Effect of Combined environmental cycles on the bond of FRP sheets to concrete”, Proceedings-Composites in Construction, 2001 International Conference, Porto, Portugal
- Nanni, A., Alkhrdaji, Chan, G., Bosko, M., Xinhao, Y., and Mayo, R., 1999.** “Overview of Testing To Failure Program of A Highway Bridge Strengthened With FRP Composites”, Selected proc, 4 th Int. Symp on PRP for Reinforcement of Concr Str. (FRPRCS4), Baltimore, MP, Nov, , pp. 67-80
- Norris,1997** “ Shear and Flexural Stengthening of R/C Beams with Carbon Fiber Sheets” J. Struct. Engrg., Volume 123, Issue 7, pp. 903-911
- Orbay A., 1996.** “The Use of Reinforced Masonry System For Low Rise Multistory Residential Buildings in Türkiye”, XXIVth LAHS World Housing Congress, 64-75 p.
- Ozkul,H., Yıldırım, H. 2000.** “Strengthening of Steel Reinforced Concrete Beams with FRP”,Second Japan-Turkey Workshop on Repair And Strengthening.
- Paulay, T., Prestly, M.J.N., 1992.** “Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings”, John Wiley & Sons Inc.,
- Proto, A., Nanni, Manfredi, G., and Cosenza, E., 2001.** “Selective Upgrade of Beam-Column Joints with Composites”., Proceedings of the Int. Conf. on FRP Composites in Civil Eng., Dec., Hong Kong.
- Rosa, M. V., Valdemarca, M., Modena,C., 2001.** “ Behavior of Brick Masonry Vaults Strengthened by Frp Laminates”, Journal of Composites For Construction ,August 2001

Sadatmanesh, 1997 “RC Beams Strengthened with GFRP Plates” Structure Journal, ,94(5):493-551

Scielzo A., 1990. ”Structural Problems of Conservation and Reinforced Work of a Monumental Building in the Old Part of Salerno (Italy)”, Structural Conservation of Stone Masonry, International Technical Conference, Rome.

Shehata, Emile; Morphy, Ryan; Rizkalla, Sami, 2000. “Fibre Reinforced Polymer Shear Reinforcement for Concrete Members; Behavior and Design Guidelines”, Canadian Journal of Civil Engineering: 859-872

Sinha, B.P. 1978. “An Ultimate Load Analysis of Laterally Loaded Model Orthotropic Brickwork Panels of Low Tensile Strength”, Structural Engineer, 56,

Sinha, B.P., Loftus, M.D. and Temple, R., 1979. “Lateral Strength of Model Brickwork Panels”, Proceedings Institution of Civil Engineers, 67,

Stierwalt, D.D., Hamilton, H.R. 2004. “Creep of Concrete Masonry Walls Strengthened With FRP Composites”, Construction and Building Materials

Soudki, K., Shervwood, T., 2000. “Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened With Carbon Fiber Reinforced Polymer Laminates Subjected To Corrosion Damage”, Canadian Journal of Civil Engineering 27 (October, 2000): 1005-1010

TS 2510 “Kargir Duvarlar Hesap ve Yapım Kuralları”

TS 705 “Fabrika Tuğlaları-Duvarlar İçin Dolu ve Düşey Delikli Tuğla Kuralları”

TS 2513 “Doğal Yapı Taşları”

TS 2514 “Kerpiç Bloklar ve Yapım Kuralları”

TS 2515 “Kerpiç Yapıların Yapım Kuralları”

TS 2848 “Kargir Duvar Harçları”

TS 2717 EN 13139 “Agregalar - Harç yapımı için”

TS EN 206-1 “Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk”

TS EN 771-1 “Kâgir birimler - Özellikler - Bölüm 1: Kil kâgir birimler (Tuğlalar)”

TS 708 “Beton Çelik Çubukları”

TS 138 EN 10002-1 “Metalik malzemeler – Çekme deneyi – Bölüm 1: Ortam sıcaklığında deney metodu”

TS 7720-1:2000 “Yük Taşıyıcı Duvarlar ve Betonarme Döşemeler Arasındaki Yatay Birleştirmeler - Mekanik Laboratuvar Deneyleri - Düşey Yüklerin ve Döşemelerden Aktarılan Momentlerin Etkileri”

TS 12143 “Çimento-Portland Kompoze”

TS 19 “Çimento-Portland Çimentoları”

United Nations Deveiopment Programme, 1984. “Repair and Strengthening of Historical Monuments and Buildings in Urban Nuclei”, Building Construction Under Seismic Conditions in the Balkan Region, Volume 6, Vienna, 296 s.

- Valluzzi, M. R., Binda, L., Modena C. 2005.** “Mechanical Behaviour of Historic Masonry Structures Strengthened by Bed Joints Structural Repointing “, *Construction and Building Materials* 19 63–73
- Voyrderis, A., Tzanetos. and G., Froussos, A., 1990.** “Additional Stres on Masonry During Repairing and Strengthening Works and Application Problems of Restoration Techniques on Masonry With Heavy Damages”, *Structural Conservation of Stone Masonry, International Technical Conference, Rome.*
- Yang, X., Nanni, A., Chan, G., 2001.** ”Effect of Comer Rdius on Performance of Externally Bonded FRP Reinforcement”, *Non-Metallic Reinf.for Concrete Structures-FRP RCS- 5, Cambridge, July 16-18, 2001*, pp. 197-204
- Yong, X., A. Nanni, 2001.** “Concrete Beams Srenghthened with misaligned CFRP laminates, *Non-Metallic Reinforcement for Concrete Structures-FRPRCS-5, Cambridge, July 16-18, 2001*, pp. 79-85
- Wenzel, F., 1990.** “On the State of Structural Repair of Masonry”, *Structural Conservation of Stone Masonry, International Technical Conference, Rome.*
- West, H.W.H., Hasetline, B.A. 1977,** “The Lateral Load Resistance of Brickwork to Lateral Loading Experimental Methods and Results of Tests on Small Specimens and Full Sized Walls”, *Structural Engineer*, 55, 113
- Zepnik, R., Schönbrodt, N., 1990.** “Application of Cement Grouting To Historic Buildings”, *Structural Conservation of Stone Masonry, International Technical Conference, Rome.*
- Zonta D., 2000.** “Structural Damage Detection and Localization by Using Vibrational Measurements”, *Ph.D. Thesis, Universita Degli Studi Di Bologna.*