

**YIĞMA YAPILARIN DIŞTAN PERDE DUVAR İLE
GÜÇLENDİRİLMESİNDE PERDENİN BİRLEŞİM YERLERİ
PERFORMANSININ DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

Ömer CAN

**DOKTORA TEZİ
YAPI EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ARALIK 2009
ANKARA**

Ömer CAN tarafından hazırlanan “YIĞMA YAPILARIN DIŞTAN PERDE DUVAR İLE GÜÇLENDİRİLMESİNDE PERDENİN BİRLEŞİM YERLERİ PERFORMANSININ DENEYSEL ARAŞTIRILMASI” adlı bu tezin doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Recep KANIT

.....

Tez Danışmanı, Yapı Eğitimi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Yapı Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Metin ARSLAN

.....

Yapı Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Recep KANIT

.....

Yapı Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Ergin ATIMTAY

.....

Yapı Mekaniği ODTÜ

Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ

.....

Yapı Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Murat GÜNDÜZ

.....

Yapı Anabilimdalı, ODTÜ

Tarih: 23/12/2009

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

Prof. Dr. Nail ÜNSAL

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Ömer CAN

**YIĞMA YAPILARIN DIŞTAN PERDE DUVAR İLE
GÜÇLENDİRİLMESİNDE PERDENİN BİRLEŞİM YERLERİ
PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI
(Doktora Tezi)**

Ömer CAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Aralık 2009

ÖZET

Türkiye'nin % 95'inin deprem riski altında olduğu bilinmektedir. Depremler nedeni ile meydana gelen can ve mal kayıpları yalnız kentsel alanları değıl, kırsal alanları da olumsuz etkileyebilmektedir. Depremler, betonarme ve çelik yapılar kadar yığma yapıları da etkilemektedir. Kolay inşa edilmeleri, ekonomik olmaları ve yöresel inşaat malzemelerinin kullanımı gibi avantajları bulunan yığma yapılar, Türkiye'de özellikle geleneksel yapım yöntemleri ile inşa edilmektedir. Bu nedenle yığma yapıların deprem güvenliğı, olası deprem anındaki davranışı, depremde oluşacak hasarların tespiti ve onarımı büyük önem taşımaktadır.

Bu konuda yapılan çalışmalar, deprem etkisi altındaki yığma yapının, oluşan çatlamaların devamlılığı sonucunda yük alamaz duruma geldiğini, yani kırıldığını göstermiştir. Bu çalışmada prekast paneller halinde üretilip birbirlerine eklenerek oluşturulacak perde duvarların yapıya dıştan monte edilerek, oluşabilecek deprem kuvvetinin tamamını karşılayarak yapıyı ayakta tutacak bir yöntemin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu yöntemin yığma yapılara uygulanmasında perde duvarın; döşeme hizasında hatıllara bağlantı çubuklarıyla ve temel hizasında sömellere ankraj çubuklarıyla birleşimi yapılarak performanslarının artırılması düşünülmüştür. Buna göre perde-döşeme birleşim yeri ve perde-perde birleşim yeri olmak üzere 2 farklı birleşim

yeri detayı laboratuvar şartları göz önüne alınarak modellenmiş ve deneyi yapılmıştır. Sonuç olarak perde-döşeme birleşim deneyinde 297 kN, perde-perde birleşim deneyinde ise 255 kN taşıma kapasitesine ulaşılmıştır. Ayrıca örnek bir yığma yapı projesi alınarak önce deprem hesabı yapılmış deneysel çalışma sonuçlarına göre her iki doğrultuda hesaplanan dıştan perde duvarlar eklenerek yığma yapının güçlendirilebileceği görülmüştür.

Bilim Kodu :714.3.035
Anahtar Kelimeler : Perde duvar, Yığma yapı, Güçlendirme,
Sayfa Adeti : 86
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Recep KANIT

**THE INVESTIGATION OF THE PERFORMANCES OF SHEARWALL
JOINTS IN THE RETROFITTING OF MASONRY STRUCTURES WITH
OUTSIDE SHEARWALLS**

(Ph. D. Thesis)

Ömer CAN

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

December 2009

ABSTRACT

It is known that the 95% of Turkey is under severe earthquake risk. Life and economical losses affect negatively not only rural areas but also urban areas. Earthquakes affect reinforced concrete, steel and masonry structures. Masonry structures which are easily constructed, economical and having the advantage of being able to be constructed with local materials are being constructed with conventional methods in Turkey. For this reason safety of masonry structures against earthquake damage, behavior of masonry structures under earthquake loading and determination of damages after an earthquake are very important. Studies performed in this subject were shown that masonry structures become brittle due to the persistence of fractures.

In this study it was aimed to develop a method in which precast shear walls are applied to masonry walls. In this method shearwalls are designed to meet the earthquakes loads. In the application of the proposed method to masonry structures, performance of connections thought to increase by connecting shear walls to slabs and shear walls to foundations with anchors. Two different connection details of shear wall-slab, shear wall-shear wall connections were modeled and tested.

As a result of experiments 297 kN and 255 kN failure loads were obtained from first and second experiments respectively. In addition earthquake calculation of

a sample masonry structure was performed and applications of outside shear walls were suggested for the retrofitting of this masonry structure.

Science Code	: 714.3.035
Key Words	: Shearwall, Masonry Building, Strengthening
Page Number	: 86
Adviser	: Prof. Dr. Recep KANIT

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince ilgisini ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. Recep KANIT'a değerli katkıları ile çalışmalarımı teşvik eden Prof. Dr. Ergin ATIMTAY ve Prof. Dr. Metin ARSLAN'a, deneysel çalışmalarımındaki yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Latif Onur UĞUR, Arş. Gör. Dr. Mürsel ERDAL, Arş. Gör. Dr. Gökhan DURMUŞ, Yük. Müh. Gökalg SERİMER'e, Yük. Müh. M. Kemal YENER'e, Yük. Müh. Selçuk ÇUBUKÇU'ya, Ömer Hakan GÜNAYDIN'a ve diğer çalışma arkadaşlarıma ayrıca meslek hayatım ve çalışmalarım boyunca her türlü desteğiyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan fedakar aileme ve sevgili eşime teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR TARAMASI.....	4
2.1. Yığma Yapılar.....	5
2.2. Sistem Güçlendirmesi.....	19
2.3. Perde Duvar Güçlendirmesi.....	29
3. MALZEME VE METOTLAR.....	32
3.1. Malzeme.....	32
3.1.1. Döşemede ve perde duvarda kullanılan betonun özellikleri.....	32
3.1.2. Döşemede ve perde duvarda kullanılan çelik hasır ve donatı özellikleri.....	32
3.1.3. Birleşimde kullanılan çelik levha ve çelik bağlantı çubuklarının özellikleri.....	34
3.2. Metot.....	35
3.2.1. Perde-döşeme birleşim deneyi.....	36

3.2.2.	Perde-perde birleşim deneyi	40
3.2.3.	Yükün tanımı	44
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	45
4.1.	Perde-döşeme birleşim deney süreci sonuçları	45
4.1.1.	Deney düzeneği	46
4.1.2.	Ölçümlerin değerlendirilmesi	47
4.2.	Perde-perde birleşim deney süreci sonuçları	51
4.2.1.	Deney düzeneği	52
4.2.2.	Ölçümlerin değerlendirilmesi	53
4.3.	Örnek bir yığma yapı deprem hesabı (Örnek uygulama)	58
4.4.	Örnek bir yığma yapının güçlendirilmesi	71
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	75
5.1.	Sonuç	75
5.2.	Öneriler	76
	KAYNAKLAR	77
	ÖZGEÇMİŞ	84

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Döşeme ve perde de kullanılan betonun 28 günlük basınç dayanımları	32
Çizelge 3.2. TS-708'e göre hasır çeliklerde kullanılan nervürlü çeliklerin özellikleri	33
Çizelge 3.3. $\phi 6$ 'lık Q188/188 hasır çeliğin özellikleri	33
Çizelge 3.4. TS-4559'e göre nokta kaynaklı hasır çeliklerin kenetlenme boyları	33
Çizelge 3.5. TS-708'e göre Döşemede kullanılan nervürlü çeliklerin özellikleri.....	34
Çizelge 3.6. Perde ve döşemede kullanılan donatıların özellikleri	35
Çizelge 3.7. Deneyde kullanılan levhanın özellikleri	35
Çizelge 4.1. Rijitlik ve kütle merkezi	61
Çizelge 4.2. Zemin kat için ilave duvar ağırlığı (ton)	66
Çizelge 4.3. Birinci kat için ilave duvar ağırlığı (ton)	67
Çizelge 4.4. İkinci kat için ilave duvar ağırlığı (ton)	68
Çizelge 4.5. Kat döşemelerine etkiyen eşdeğer deprem yükleri (F_i) ve kesme kuvveti (T_i) değerleri	69
Çizelge 4.6. x eksenine paralel olan duvarlara etkiyen kayma gerilmesi (τ)	70

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Perde-döşeme birleşimi.....	37
Şekil 3.2. Perde duvarın döşeme hatılına bağlanması.....	37
Şekil 3.3. Döşeme-perde birleşim yeri modeli.....	38
Şekil 3.4. Döşeme-perde birleşimi deney düzeneği.....	38
Şekil 3.5. Perde-döşeme birleşim deneyi perde donatı detayı	39
Şekil 3.6. Yapıda perde-perde birleşimi gösterimi	41
Şekil 3.7. Perde-perde birleşim deney numunesinin 3 boyutlu gösterimi.....	41
Şekil 3.8. Perde-perde birleşimi deney düzeneği ve ölçüleri.....	42
Şekil 3.9. Perde-perde birleşim detayı	42
Şekil 3.10. Perde-perde birleşiminde kullanılan çelik plakaların detayı.....	43
Şekil 3.11. Deneylerde uygulanan yük döngüleri	44
Şekil 4.1. Perde-döşeme birleşimi yük-deplasman grafiği.....	48
Şekil 4.2. Perde-döşeme birleşimi yük-deplasman grafiği.....	53
Şekil 4.3. Perde duvar moment-eğrilik grafiği.....	57
Şekil 4.4. Örnek yığma yapı kat planı.....	60
Şekil 4.5. Perde duvar donatı planı	72
Şekil 4.6. Belirlenen perde duvar moment-eğrilik grafiği.....	73
Şekil 4.7. Dıştan perde duvar eklenmiş yığma yapı kat planı.....	74

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Bağlantı çubuklarının açılan deliklere epoksi ile yerleştirilmesi.....	45
Resim 4.2. Birleşimde kullanılan bağlantı çubuklarının havalı tabanca ile sıkıştırılması.....	46
Resim 4.3. Deney numunesi genel görünümü	47
Resim 4.4. 150kN’da oluşan çatlaklar	48
Resim 4.5. 170kN’da oluşan çatlaklar	49
Resim 4.6. 300kN’da oluşan çatlaklar	49
Resim 4.7. Deney sonrası bağlantı çubuklarının görünümü	50
Resim 4.8 Deney sonrası hatıl betonun birleşim yeri görünümü	50
Resim 4.9. Birleşimde kullanılan levhaların gösterimi.....	51
Resim 4.10. Deney düzeneği.....	52
Resim 4.11. 100kN yük altında oluşan çatlaklar.....	54
Resim 4.12. 120 kN yük altında oluşan çatlaklar.....	54
Resim 4.13. 140 kN yük altında oluşan çatlaklar.....	55
Resim 4.14. 200kN yük altında oluşan çatlaklar.....	55
Resim 4.15. 255kN yük altında oluşan çatlaklar.....	56
Resim 4.16. 255 kN yük altındaki çelik plakanın görüntüsü	56
Resim 4.17. Çatlak ölçer düzeneği.....	57

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
ρ_{sh}	:Perde de yatay gövde donatılmasının hacımsal oranı (min: 0,0025)
b_w	: Perdenin gövde kalınlığı
A_{ch}	:Boşluksuz perdenin en kesit alanı
Δ	:Rölatif yer değiştirme
f_{cd}	:Betonun tasarım basınç dayanımı
f_{ctd}	:Betonun tasarım çekme dayanımı
f_{yd}	:Boyuna donatının tasarım akma dayanımı
f_{ywd}	:Enine donatının tasarım akma dayanımı
V_r	:Perde kesitinin kesme dayanımı
V_t	:Binaya etkiyen toplam deprem yükü (taban kesme kuvveti)
A_s	:Çekme donatısı kesit alanı

Kısaltmalar	Açıklamalar
AAC	:Autoclaved aerated concrete
ABYYHY	:Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik
CMISF	:Concrete masonry-infilled steel frames
CFRP	:Carbon fibre reinforced polymer
CC	:Corner crashing
DBYYHY	:Deprem bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik
FEMA	:Federal Emergency Managment Agency
FSMB	:Face shell mortar bedding
FRP	:Fibre reinforced polymer
GFRP	:Glass fibre reinforced polymer
GLD	:Gravity load design
KLH	:Kullanılmış lastik halkaları

MDOF	:Multi degree of freedom
NSM	:Near surface mounted
NDT	:Non-destructive testing
RC	:Reinforced concrete
SIWIS	:Seismic infill wall isolator subfrane
SDOF	:Single degree of freedom
TMS	:The Masonry Society
URM	:Unreinforced masonry

1. GİRİŞ

Türkiye'nin % 95'inin deprem riski altında olduğu bilinmektedir. Ülkemizde meydana gelen depremler diğer ülkeler ile karşılaştırıldıklarında, büyüklüklerine oranla çok fazla hasara yol açtıkları belirlenmiştir. Depremler nedeni ile meydana gelen can ve mal kayıpları yalnız kentsel alanları değil, kırsal alanları da olumsuz etkileyebilmektedir. Bu durum, Türkiye'de inşa edilen birçok yapının deprem güvenliğine sahip olmadığını göstermiştir. Yeni inşa edilecek yapıların deprem güvenliğine göre projelendirilmeleri ve uygulanmaları kadar, mevcut yapıların da deprem güvenliği açısından gözden geçirilmesinde büyük yarar vardır. Bu anlamda, özellikle deprem kuşağı üzerinde bulunan ülkemizde, olası yeni depremlerde, olumsuz bir takım sonuçları yaşamamak adına, bir dizi önlemlerin alınması kaçınılmazdır. Bu önlemlerden biri de, özellikle deprem etkisi altında bulunan bölgelerden başlamak üzere, bu bölgelerdeki kamu binaları ile toplu konut alanlarının ve diğer yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi ve yeterli güvenliği taşımayan yapıların iyileştirilmesidir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımları üzerine yapılan araştırmalar, deprem güvenliği açısından betonarme, çelik ve az da olsa ahşap yapılar üzerinde yoğunlaşmış bulunmaktadır. Depremler, betonarme ve çelik yapılar kadar yığma yapıları da etkilemektedir.

Kolay inşa edilmeleri, ekonomik olmaları ve yöresel inşaat malzemelerinin kullanımı gibi avantajları bulunan yığma yapılar, Türkiye'de özellikle geleneksel yapım yöntemleri ile inşa edilmiş ve edilmektedir. Bu nedenle yığma yapıların deprem güvenliği, olası deprem anındaki davranışı, depremde oluşacak hasarların tespiti ve onarımı büyük önem taşımaktadır.

Ülkemizde bulunan yığma yapılar, tuğla, kerpiç, briket ve taş, vb. malzemelerin harç ile bir araya gelmesi ile yapıldıklarında, taşıyıcı sistem açısından sürekli ortam oluşturmazlar ve yığma yapıların yükler altındaki davranışlarının sayısal yöntemler

ile ortaya konulması oldukça güçtür. Bu nedenle bu yapıların yükler altındaki davranışlarının deneysel yöntemler ile ortaya konulması daha uygun gözükmektedir.

Bu konuda yapılan çalışmalar, deprem etkisi altındaki yığma yapının, oluşan çatlamların devamlılığı sonucunda yük alamaz duruma geldiğini, yani kırıldığını göstermiştir. Bu çalışmanın amacı; Seçilecek bir yığma yapının planı üzerinde, mevcut deprem yönetmeliklerindeki kriterlere göre oluşabilecek deprem yükünü tasarlayıp, o yüke göre, sistemin tümüne (temelden en üst döşeme hizasına kadar), dışarıda prefabrike olarak üretilmiş olan perde duvar ile dıştan güçlendirilmesidir.

Dıştan perde duvar güçlendirmesi, diğer güçlendirme yöntemlerine göre;

- Uygulamasının daha kolay olması,
- Güçlendirme esnasında yapının boşaltılmaması,
- Binanın işlevini sürdürmesi,
- Maliyetinin düşük olması, vb., avantajlara sahiptir.

Bu çalışmada, deney sonuçlarına göre belirlenecek boyutlardaki prekast paneller birbirlerine eklenmek suretiyle, yapıya dıştan monte edilerek, depreme karşı koyabilecek ve yapıyı ayakta tutabilecek bir yöntem geliştirilmiştir.

Bu yöntemde; dışarıda prekast olarak üretilen perde duvarlar, bağlantı çubukları ile döşeme altı hatıllara ve ankraj çubukları ile temel hizasında sömellere bağlanmaktadır. Bina yüksekliğince döşeme hizasında birbirine eklenerek uygulanmaktadır. Sistemin zayıf yerlerinin döşeme hatılına bağlanıldığı yer ile perde duvar eklenti yerlerinin olduğu düşünülerek anılan bağlantı ve birleşim yerlerinin performansları deneysel olarak belirlenmiştir.

Buna göre perde-döşeme birleşim yeri ve perde-perde birleşim yeri olmak üzere iki farklı birleşim yeri detayı laboratuvar şartları göz önüne alınarak modellenmiş ve tekralı yük altında deneye tabi tutulmuştur.

Bu çalışma iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde bağlantı ve birleşim yeri deneyleri yapılmış bir sonuca ulaşılmıştır. İkinci bölümde ise örnek bir yığma yapı ele alınarak deprem yükü hesabı yapılmıştır. Deneysel çalışmanın sonucuna göre deprem yükü hesabı yapılan örnek binayı dıştan perde duvar ile güçlendirilmesi yapılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR TARAMASI

Doğal afetlerin en önemlilerinden birisi olan deprem, yer kabuğundaki çeşitli nedenlerden doğan titreşimlerle oluşmaktadır. Bu titreşimler yapıların mesnetlerinde zamana bağlı yer değiştirme hareketi doğurarak, dinamik bir etki oluşturmaktadırlar. Bu titreşimler yapıların alışılmış yüklerinin üzerinde yüklenmesine neden olmaktadır. Yapı dinamiğinin temel konusu olan bu titreşimler, özellikle ülkemiz gibi depremin sık ve şiddetli olarak görüldüğü ülkelerde daha fazla önem taşımaktadır.

Depremlerin yol açtığı can ve mal kayıplarının tümü yapı hasarları sonucunda oluşmaktadır. Bu nedenle depremin yapılarda oluşturabileceği hasarların bilinmesi gerekir. Ülkemizde inşa edilmiş bulunan yapılardan özellikle kırsal alanlarda bulunanların çoğunluğu yığma yapılardan oluşmaktadır. Yapıların hasar görmesi ülke ekonomisine büyük yük getirmektedir. Bu yapıların olası deprem davranışlarının deprem öncesi tespit edilerek, kolay ve maliyeti düşük yöntemler ile güçlendirilmesi sonucunda mal ve can kaybı önlenirken, diğer taraftan doğal afetlerin ülke ekonomisine vereceği zararlar da azaltılabilecektir.

Türkiye’de bulunan konut ve endüstri yapılarının büyük bölümünün deprem kuşağı üzerinde yer aldığı bilinmektedir. Deprem olması durumunda ise hasar görme olasılıkları bulunmaktadır. Bu nedenle bu yapıların deprem etkisine karşı güçlendirilmeleri gerekmektedir. Güçlendirmenin hangi yöntem ile yapılacağı büyük önem taşımaktadır. Bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Konu ile ilgili yapılan kaynak araştırmaları üç ana başlık altında toplanmıştır.

2.1. Yığma Yapılar

Poulay ve Priestly, kitaplarının yığma yapılar ile ilgili olan bölümlerinde, yığma yapılar ve yığma yapı duvarında karşılaşılan sorunlar için bir sınıflandırma yapmışlardır. Bunlar;

- taşıyıcı duvarlar,
- birleştirilmiş duvarlarda ara duvar mafsallaşması,
- birleştirilmiş duvarlarda parapet mafsallaşması,
- birincil ve ikincil yanal kuvvet sistemlerinin seçimi,
- düzlem içi yüklenmiş duvarlardır.

Kitapta ayrıca, düzlem dışı yüklenen bir duvar ile düzlem içi yüklenen duvarların bağlantısına değinilmiştir. Bu konuda;

- düzlem dışı esneklik için kesit analizi,
- düzlem dışı bükülme için tasarım,
- düzlem içi esneklik için kesit analizi,
- düzlem içi bükülme için tasarım

konuları formüllerle anlatılmış ve her biri için birer sayısal örnek verilmiştir. Dikdörtgen ve dikdörtgen olmayan kesit durumlarının narinlik unsurları incelenen kitapta, duvarı kesme reaksiyonlarına göre tasarlariken nelere ihtiyaç duyulacağı ve açıklamalar formüllerle ifade edilmiştir.

Kitapta yığma yapının çelik donatılar ile güçlendirilmesinden bahsedilmiş, bu donatıların ankraj ve bağlantıları, minimum ve maksimum donatı şartları hakkında bilgi verilmiştir. Duvarın düzlem dışı yüklenmesini önleyecek duvar kalınlığı ampirik olarak belirlenmiştir[1].

Kâgir perde ve kiriş bağlantısının nasıl güçlendirileceği mekanik olarak ifade edilmiş, betonarme çerçevenin içini kâgir malzemeler ile doldurulması sonucu oluşan sistemin sismik davranışları incelenmiştir. Pencere altında yer alan kâgir duvarların ve pencere üstünde bulunan parapetlerin esneklik tasarımı konu edilmiştir. Güçlendirilmiş bir duvarın temel bağlantıları mekanik olarak anlatılmıştır. Üç katlı,

boşluklu yığma bir duvarın geniş bir tasarım örneği sayısal olarak verilmiş, güçlendirilmiş yığma yapıların sismik davranışları irdelenmiştir [1].

Khaled, çalışmasında farklı yüklemelere maruz, betonla güçlendirilmiş yığma bina davranışlarını sonlu elemanlar metodu ile araştırmıştır. Deneysel çalışmasında çevrimsel kuvvet uygulayarak, bölme duvarların performansını; duvarların dönme açısı (duvar yüksekliği/dönme uzunluğu); düşey yönde güçlendirme miktarı ve uygulanan dış kuvvet seviyesi olarak 3 parametreye bağlı olarak araştırmıştır. Analitik ve deneysel çalışma sonucunda, yığma yapılarda bölme duvarlarda sünekliğin ve gerekli dayanımın sağlanmamasının temel sorun olduğunu belirlemiştir. Gerekli süneklik sağlanamadığından, bölme duvarlarda dalgalanmalar oluşurken, düşey çeliklerde oluşan uzamadan dolayı maksimum yükleme sırasında çatlakların oluştuğunu, taşıyıcı duvarlarda bu olumsuzlukların yaşanmadığını belirlemiştir. Ani yükleme durumunda ise her iki grup duvarda çatlakların arttığı gözlemlenmiştir. Duvarların dayanımlarında, doğrusal ve doğrusal olmayan açıdan düzgün bir ilişki belirlenmiştir. Düşey ve doğrusal yük artsa bile, düşey dayanımda belli oranlarda artış belirlemiştir [2].

Benedetti ve ark., çalışmalarında $\frac{1}{2}$ ölçeğindeki yığma binanın geniş uygulama alanları olan deneysel programların sonuçlarını açıklamaktadırlar. Hasarsız binaları deprem yüküne tabi tutarak, güçlendirmişler ve yeniden deney yapmışlardır. İtalyan 8 adet (ISMES) ve Yunan 6 adet (LEE) yapıların özelliklerine sahip 24 yığma binaya 119 sarsma tablası deneyi uygulamışlardır. Sonuçta, yapıya çeşitli etkili yüklerin uygulanmasını ve yapının bu yükler altındaki dinamik davranışları belirlemişlerdir. Hasar gören duvarların çökme kontrolünde yatay elemanların desteği çok büyük olduğunu, bu elemanların yatay profiller, çelik donatılar olabileceğini belirlemişlerdir. Tuğla ile yapılmış yığma binalardan taş ile yapılmış yığma binaların dayanım azaltma faktörü (q) çok az farklı çıkmıştır. Bu nedenle güçlendirilmemiş yapılar içinde bu değerlerin kullanımını önermişleridir [3].

Pluijm, yığma yapıların birleşim ve mafsallarındaki davranışları belirlemiştir. Örneklerin bağlantı noktalarına, kendi özelliklerine uygun homojen izotropik

metaller yerleştirerek deneye tabi tutmuştur. Yığma yapı davranışlarını belirlemek için, birleşim ve bağlantı noktalarına kuvvet uygulayarak, sonlu elemanlar metodunu kullanmış ve gevrek malzemelerin geliştirilmesini araştırmıştır. Yığma binaların birleşim ve masallarındaki harçların etkisi ile oluşacak çatlama ve kırılma davranışlarını incelemiştir. Duvarın yatay burulma, dışey burulma ve dayanım şartlarını araştırmış, yatay mafsallara kuvvet uygulandığında, burulma oluştuğunu belirlemiştir. Ayrıca, duvarın düzgün elastik davranışlarını araştırmıştır [4].

Benedetti ve ark., çalışmalarında ½ ölçeğinde 12 adet taş ve tuğladan yığma sistemi 58 kez sarma tablasında deneye tabi tutmuşlar, örneklere orta şiddette deprem etkisi verdikten sonra güçlendirerek yeniden test etmişlerdir [5].

Mu, çalışmasında düzlem dışı eksenel olmayan yatay yüklenen yığma yapıların davranışlarını incelemiştir. İki boyutlu sonlu elemanlar metodu ile analiz yapmış ve sayısal yöntemlerle karşılaştırmıştır. Yerdeğiştirme kontrolü ve açı kontrol metotlarını uygulamıştır. Dolu ve boşluklu duvarları test etmiş ve düzlem dışı davranışlarını yükseklik/kalınlık oranı 30'un altında olan farklı şartlarda incelemiştir. Yığma duvarların eksenel kuvvetler ve basınç kuvvetleri yükleme şartlarını oluşturmuştur. Sonlu elmanlar yöntemi ile farklı yerçekimi kuvvetlerine maruz kalan düzlem dışı duvarları inceleyerek, sonlu elmanlar metodu ile sayısal metotları karşılaştırmış ve yığma duvar davranışlarını belirlemiştir [6].

Corradi, çalışmasında yığma yapıların deprem davranışlarını deneysel olarak belirlemişler, deneyde taş ve tuğla örnekler kullanmışlardır. Farklı boyuttaki örneklere basınç testi, diagonal basınç testi ve makaslama testi uygulamış, örneklerin makaslama kuvvetini ve Young modülünü belirlemişlerdir [7].

Bayraktar ve ark. , çalışmalarında 2 Temmuz 2004'de Ağrı Doğubayazıt'ta meydana gelen depremin yığma taş binalara yaptığı etkileri incelemişlerdir. Depremden etkilenen yapıların çoğunun yığma yapı olduğunu, bu yapıların çoğunun taştan ve rasgele yapıldığını, hemen hemen hiçbirinde güçlendirme olmadığını ve bu yapıların ahşap dikmeler üzerine ağır kiremitle kaplandığını belirtmişlerdir. Deprem etkisi ile

ağır hasarlı ya da çöken bu yapıların çatlama ve kırılma çizgileri araştırılmış, detaylandırılmış, hasar nedeni olarak yer, bölge, tasarım hatası ve inşaat kalitesinin düşüklüğü belirtilmiştir [8].

Lei, çalışmasında yığma yapıların tasarımında toplam yükleme, eksenel yükleme ve değişebilen yüklemeler göz önüne alındığını, dizayn yapılırken, sınır yükleme durumu göz önünde tutulsa da, pratikte uygulanması zor olduğunu, dayanıklılık ve güvenlik olmak üzere iki parametrenin limit durumu dizaynında kullanıldığını, dayanıklılığı kontrol etmenin ve dayanıklı yapılar üretmenin mümkün olduğunu belirtmiştir [9].

Karaşin ve Karaesmen, çalışmalarında Bingöl’de 2003’de meydana gelen depremde hasar gören yapıların çoğunluğunun yığma yapı olduğunu, hasar gören yığma duvarlı yapıların hatıllarının eksik olduğunu, köşe bağlantılarının sağlam ve tok olmadığını, köşeleri iri taştan yapılmış yapıların daha az hasar gördüğünü, sismik açıdan riski yüksek yapılarda güçlendirme çalışmalarının başlaması gerektiğini belirtmişlerdir [10].

Arun, çalışmasında kargir yapıda duvarların dolu ya da boşluklu olmasının, tek, iki ya da üç cidarlı oluşunun, duvarlara açılan boşluk biçiminin, çatı ve döşeme oluşturma şeklinin yapının davranışını etkilediğini, kargir yapı oluşturmada ya da hasar görmüş yığma yapıda önlem almadan yapı malzemesinin özelliklerinin oluşturulması gereğini, yığma yapıların dış etkiler altındaki davranışların bilinmesi gereğini, yığma yapı üretiminde geleneksel yapım yöntemlerinin de kullanılmasını vurgulamıştır [11].

Associated Cement Companies, güçlendirilmemiş yığma yapıların deprem yüklerine karşı gerekli dayanımın sağlanmasının bir yolunun yatay betonarme bantlar (RC) ile yüzeyin kaplanması olduğunu, bunun yalnız dayanıma değil aynı zamanda yığma yapının yapısal güvenliğinin iyileştirilmesinde katkıda bulunacağını belirtmişlerdir. Bu çalışmada yatay statik ve dinamik yüklemeler de araştırılmıştır. Deprem

bölgelerinde yapılan yığma binaların hasarlarının azaltılmasında detaylandırılmalarının doğru yapılması gereğini vurgulamışlardır [12].

Tomazevic ve ark., çalışmalarında deprem kuvvetleri ile yüklenen yığma duvarların davranışlarının belirlenmesi için pek çok deneysel çalışma yapıldığını vurgulamışlardır. Bölgesel kırılma çatlakları oluştuğundan sonra duvarın diktülitesinin, sağlamlığının ve enerji tüketme kapasitesinin azaldığını, kırılma malzemelerle üretilen taşıyıcı duvarların deprem yüküne göre dizayn edilmiş olsalar bile, risk altında olabileceklerini, boşluklu elemanlar ile üretilen duvar malzemelerin, boşluk oranlarının fazlalığı nedeni ve ince kabukları ile deprem bölgelerinde kullanımının yeterli dayanımı ve sünekliği sağlayabileceğini belirtmişlerdir [13].

Alyamaç ve ark., çalışmalarında depremden sonra ağır kayıplar vermemek için eski yapıların durumunu belirlemenin gereğini belirtmişlerdir. Deprem çalışmalarını; deprem güvenliğinin belirlenmesi ve onarım-güçlendirme işleri olarak iki grupta toplamışlardır. Çalışmalarında deprem güvenliğinin belirlenmesinde gerekli ve etkili olan, standart ve yönetmelikler ile bilimsel çalışmalarda yer alan ve tecrübe ile belirlenen konular Çizelge ve form haline getirilmiştir. Böylece yapı güvenliğinin belirlenmesinde daha doğru ve ortak değerlerin kullanımına katkıda bulunmuşlardır [14].

Abrams, çalışmasında FEMA 273'e göre, yığma yapıların iyileştirilmesini araştırmıştır. Deneysel çalışmada duvarların düzgün ve düzgün olmayan davranışlarını statik ve dinamik yükleme ile incelemiş, yapıların hasar yerlerini ve hasar nedenlerini belirlemiştir [15].

Massart, çalışmasında son zamanlarda tarihi yapıların korunması konusunda çalışmaların arttığı, bu yapıların onarımlarındaki dizayn yöntemlerinin önemli olduğunu vurgulamıştır. Tuğla ve harçla üretilmiş yığma yapıların mekanik davranışlarını belirlemiştir. Deneysel çalışma için çatlama mekanizması oluşturularak, mesoskopik modelleme yapmış, spektrum ve makroskopik yaklaşımlardan da yararlanarak, yığma duvarların analizini yapmıştır. Büyük ölçekli

yapıların mesoskopik ve makroskopik davranışlarına bakış açısı getirmiş ve kargir kırılğan malzemelerle üretilen yapıların çatlamasının ana taşıyıcılarda oluştuğunu belirlemiştir. Zemin kuvveti ve genel kuvvetlerin belirlenmesinde mesoskopik ölçek kullanmıştır [16].

Kanıt ve ark., çalışmalarında kırsal kesimlerdeki tipik konut yapısı olan yığma yapıların deprem göçme mekanizmasını belirlemek amacı ile bir takım deneyler yapmışlardır. Yığma yapıyı oluşturan yığma duvarlar bir deprem süresinde hem düzlem içi hem de düzlem dışı sismik kuvvetlere maruz kaldığını ve düzlem dışı ivmelerin düzlem içi ivmelerden daha kritik olabileceğini dikkate almışlardır. Deney sonuçları ve tartışmalar, düzlem dışı yüklenen bir yığma duvarın, çift yönlü çalışan betonarme döşeme gibi kırılma deseni gösterdiğini belirlemişlerdir. Yığma duvarın göçmesi kırılğan bir göçme olarak izlenmiştir. Düzlem dışı yüklenen bir duvarda kırılma çizgileri daha hızlı gözlemlendiği ve duvarın taşıdığı yükün kısa sürede azaldığını belirtişlerdir. Bu şeklide, düzlem dışı yüklenen yığma duvarların Afet Yönetmeliği'nde (1998) belirlenen deprem yükü azaltma katsayısı olan $R_a(T1) = 2,5$ değerini sağlayacak yeterli sünekliğe sahip olmadığını gözlemlemişlerdir [17].

Simsir, çalışmasında düzlem dışı yüklenen duvarların deprem davranışını sarma tablası ile araştırmıştır. Güçlendirmede menteşeler kullanmış, her duvara belirli aralıklarla menteşe yerleştirerek, yükleme yapmış ve sonuçları Single Degree of Freedom (SDOF) ve Multi Degree of Freedom (MDOF) modelleri ile test etmiştir. Deneyde FEMA 356'yı kullanmış ve çatlama ve rijitlik diyagramlarını oluşturmuştur [18].

Wipplinger ve Arca, çalışmalarında güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş yığma yapıların deprem yüklerine karşı dayanıklı olmadığını, gelecekteki depremlerden zarar görmemeleri için daha da güçlendirilmeleri gereğini belirtmişlerdir. Temelden izolasyon sistemi ile güçlendirmede, izolasyonun büyük yapılarda ve yığma yapılarda iyi sonuçlar verdiğini, bu metotla üretilen yapılarda deprem enerjisini tüketildiğini ve yer değiştirmelerin belirli değerlerde kaldığını ve yapıların yük taşıma kapasitelerinin arttığını belirtmişlerdir [19].

Wu ve ark., çalışmalarında zemin hareketi ile hasar görmüş yapıların yük altındaki davranışlarını üç boyutlu dinamik yükleme ile araştırmışlardır. Araştırmada 2 katlı betonarme çerçeveli duvar ve 2 katlı yığma duvar kullanmışlardır. 2 boyutlu sistemde elastik malzemelerle duvarlar yüklenerek, üç boyutlu sisteme aktarılmıştır. Hasar modelleri 3D ile programlanarak analiz edilmiştir. Hasar biçimleri farklı yükler ve farklı zemin hareketleri ile belirlenmiştir. Yığma yapılar ile betonarme ile güçlendirilmiş örnekler modellenerek analiz edilmiştir. Araştırma sonucunda, aynı zemin yapısına sahip 2 katlı yığma yapının betonarme ile güçlendirilmiş 2 elemanlı yapıdan daha fazla hasar gördüğünü, 6 katlı betonarme çerçeve ile güçlendirilen yapının ise en az hasar gördüğünü belirlemişlerdir. Ayrıca, iç elemanların hareketi ve diktüliteden ziyade, aşırı yükleme ve zemin hareketlerinin yapıya daha fazla zarar verdiğini belirlemişlerdir. Ayrıca, bir yapıdan taşıyıcılık adına olan beklentileri ve yumuşak kat hareketlerini yüksek titreşimler uygulanarak göstermişlerdir. Örneklere direk yük uygulamak yerine diktülite hızına ve yapısal performansına göre yük uygulanmasını önermişlerdir [20].

Christen ve ark., çalışmasında geçmişte yığma yapıların çok azının deprem etkilerine göre dizayn edildiklerini, son depremlerde California, Japonya ve diğer ülkelerde hasar gören yapıların çoğunun yatay kuvvetlerin etkisi ile hasar gören yığma yapılar olduğunu belirtmişlerdir. Yığma yapılara pek çok güçlendirme yönteminin etkili olarak uygulanmadığını, ancak bunların bazılarının ekonomik ve estetik olmadığını vurgulamışlardır. Son zamanlarda uygulanan plastik esaslı malzemelerle güçlendirmenin, yatay yük taşıma kapasitesini artırdığını ve bu yöntemlerle güçlendirilen yapı temellerin deprem kuvvetlerinden çok az etkilendiğini belirtmişlerdir. Bu gibi kompleks malzemelerle güçlendirme yöntemlerinin yangın dayanımlarını ve mimari tasarıma etkilerini araştırmışlardır [21].

Casabonne, çalışmasında yığma yapıların güçlendirilmesinde taşıyıcı duvar yapılarının kullanımını ve deprem yüküne dayanma kapasitelerini araştırmıştır. Araştırmasında Latin Amerika ülkelerini incelemiştir [22].

Hall ve ark., çalışmalarında ABD’de yığma binaların çoğunun FRP ile güçlendirildiğini, bu sistemin geleneksel olarak uygulandığını belirtmiştir. Çalışmasında yığma yapı güçlendirmesinde FRP ile çeliğin birlikte kullanılarak yanal yüklemdeki dayanımları araştırılmıştır. Sonuçta, FRP ile çeliğin birlikte kullanımı ile güçlendirilen duvarların deprem enerjisi tüketme kapasitelerinin ve diktülitenin arttığı, bu güçlendirme yönteminin deprem tüketme kapasitelerinin ve diktülitesinin yalnız FRP ile güçlendirilen duvarlara göre daha iyi olduğu belirlenmiştir [23].

Mohamed, çalışmasında yığma yapıların betonla güçlendirilmesini araştırmıştır. 6 adet 1/3 ölçeğinde tek katlı örnekleri test etmiş, 3 örneği eski yöntemlerle üretirken, diğer üç örneği yeni yöntemler kullanarak üretmiştir. Örnekler 25 cm. yüksekliğinde olup 7-10 mm kalınlıkta harçla 95 cm. yüksekliğinde, 120 cm. uzunluğunda örülmüştür. (ASTM C39/C39M-99 1999). 80 MPa yük uygulanmıştır. İnşaat yönteminin taşıyıcılığa etkisini belirlemek için düşey yükleme yapmışlar ve yanal yüklemelere karşı beton panelleri duvara yerleştirmiş, sağlamlık, enerji tüketimi, çatlama kontrolü yapmıştır. Beton panellerle güçlendirilen yığma yapının son yatay yüklemekten etkilenmediğini, yük arttığında diyogonal çatlakların oluştuğunu ve bu çatlakların temele kadar devam ettiğini, ancak çatlak dağılımının dengeli ve eşit boyutta olduğunu, beton panellerin diyogonal çatlaklara karşı etkili olduğunu belirlemiştir [24].

Nazier, çalışmasında inşaat ve onarım tekniklerinde yeni malzemelerin üretildiğini, güçlendirmede lif takviyeli plastik (FRP) kullanımının 20 yıldır kullanıldığını belirtmiştir. FRP ile güçlendirmenin dezavantajının yangına dayanıklı olmaması ve bağlantı noktalarında ısı köprüleri oluşturması olduğunu belirlemiştir. Bu nedenle güçlendirmede inorganik fiberlerin kullanımı gündeme gelmiştir. Deney sonuçlarına göre inorganik fiberle güçlendirilmiş elemanların dayanıklılığı artarken, düzgün yüzeyler de elde edilmiştir [25].

Tong yığma yapıların dünyada yaygın olarak kullanıldığını, yığma yapıların mühendislik ve yapım hatalarından dolayı deprem sırasında can ve mal kaybına

neden olduğunu, bu nedenle etkin güçlendirme yöntemleri ile iyileştirilmesi gereğini vurgulamıştır. Son yıllarda güçlendirmede kullanılan FRP lifli plastik çubuk ve tabakaların özellikle düzlem içi yüklere karşı etkin olduğunu belirtmiş ve deneysel çalışmasında yüzeyden mantolanan (NSM) FRP çubukları incelemiş ve bu yöntemle güçlendirilen yığma duvarların deprem davranışlarının iyileştiğini sonlu elemanlar metodu ve ANSYS ile göstermiştir [26].

Jin, çalışmasında CFRP (Carbon Fibre Reinforced Polymer) ile güçlendirilen yığma duvarları incelemiştir. Dört adet yığma duvara sayısal modelleme yapmış, 2D ve dörtgen elemanlar metodu ile araştırma yapılan örneklerle eksenel yükleme ve artan yanal yükleme ile test etmiştir. CFRP ile güçlendirilen duvarların yanal yükleme kapasitelerinde ve diktülitelerinde önemli artışlar gözlemlemiştir [27].

Gölmüş ve Türer, çalışmalarında Türkiye'deki yapı stokunun yaklaşık %50'sinin yığma yapı olduğunu, bu binaların çoğunun mühendislik eğitimi almayan kişilerce inşa edildiğini, bu evlerin çoğunun ağır çatı malzemeleri ile kaplandığını, bu çatıların deprem anında düzlem içi ve düzlem dışı yükleme ile duvarların büyük kuvvetle itilmesine ve binanın yıkılmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında, kullanılmış araba lastiğine ard-germe uygulayarak, güçlendirme tekniği geliştirmişlerdir. Kullanılmış oto lastikleri yanaklarından kesilerek, lastik halkaları oluşturmuşlardır. 30 adet lastiğe çekme deneyi uygulamışlardır. Lastikleri bağlantı elemanları ile bağlayarak, yeniden çekme deneyi uygulamışlardır. En düşük çekme dayanımı 90 kN, en büyük çekme dayanımı 190 kN olarak ölçülmüştür. Deneyde birebir ölçekli üç tanesi tuğladan, iki tanesi briketten olmak üzere toplam 5 adet yığma duvar kullanmışlar ve bu duvarlara düzlem içi ve düzlem dışı yükleme yapmışlardır. Tuğla duvarlara üç aşamada uygulanan deneyde, ilk aşamada duvarlara ard-germe kuvveti verilmeyerek, ikinci ve üçüncü aşamada duvarın üzerine 50 kN ve 100 kN'luk ard-germe kuvvetleri araba lastikleri kullanarak uygulanmıştır. Ard germe uygulanan duvarın zayıf yöndeki yanal yük dayanım artışı, ard-germe uygulanmayan duvara göre yaklaşık 10 kat olmuştur. Briket duvarlarda ise, iki aşamada zayıf yön yanal kuvvet dayanım deneyleri yapılmıştır. Birinci aşamada herhangi bir ard-germe kuvveti etki ettirilmezken, ikinci aşamada 30 kN'luk ard-

germe kuvveti uygulanmıştır. Araba lastikleri ile ard-germe uygulanan duvarın zayıf yöndeki yanal yük dayanımları yaklaşık 5,5 kat artmıştır. Her iki deneyde de çatlak oluşumları ilk önce eğilme kuvvetinin en büyük değerde olduğu yerlerde oluşmuştur. Ayrıca, güçlendirme tekniğinin birebir ölçekli bir ev üzerindeki etkisinin belirlenmesi için 3 m. genişliğinde, 4 m. uzunluğunda, 3 m. yüksekliğinde tek odalı yığma ev test edilmiştir. Aynı malzeme ve boyutta yeniden bir ev inşa edilerek, kullanılmış lastikler ile güçlendirilerek, yeniden test edilmiştir. Ard-gerilme uygulanmayan duvarda yaklaşık 18° ana duvarda ve zayıf duvarda çatlaklar oluşarak, ani çökme yaşanırken, araba lastikleri KLH (kullanılmış lastik halkaları) ile yatay yönde 20 kN, düşey yönde 50 kN ard, çekme kuvvetleri uygulanarak güçlendirilen binada 34°'de pencerede oluşan ve temel seviyesine devam eden çatlaklar oluşmuştur. Bina başlangıçtaki konumuna getirilince ise, çatlaklar lastiklerin üzerinde bulunan çekme kuvvetlerinin etkisi ile kapanmıştır [28].

Velmurugan ve Solaimurugan, çalışmalarında 6 katmanlı 300x300 mm boyutunda, 610 g/m³ yoğunlukta polyester esaslı cam fiber ile yığma yapıların güçlendirilmesini çalışmışlardır. Çalışmalarında kullandıkları malzemeler, katmanlarının kalınlığı yaklaşık 3,4 mm, kavler fiberler 175 /km, 350 g/km, 525 g/km; cam ve karbon fiberler 1200 g/km, 800 g/km den yapılmış, .ASTM D861–89 ve ASTM 578–79 standardındadır. Deneyde ASTM D3039/ISO 3268–75 ve ASTM D 2344–00, ASTM D790–00/ ISO 178–75 ve BS 4994:1987, ASTM D256–00/ ISO 180–82, ASTM D5528–01 kullanmışlardır. Düzlem dışı yüklenen elamanlarda çatlamanın kontrolü için geleneksel FRP tabakaların yanı sıra cam/polyester fiberlerle dayanıklılığı araştırmışlardır. Düzgün olarak dağıtılan fiberlerin dayanıklılığı, sünekliği artırdığını, düzensiz yerleştirilen fiberlerin ise dayanıma fazla etkisinin olmadığını belirlemişlerdir. Bükülmeden, düzgün yerleştirilen fiberlerin ve özellikle kavler grubu fiberlerin kullanımının, karbon ve cam içerikli fiberlerden daha fazla dayanım ve süneklik sağladığını belirlemişlerdir [29].

Sallio, çalışmasında Türkiye yapı stokunun yaklaşık % 50'sinin yığma binalardan oluştuğunu, bu binaların genellikle mühendislik eğitimi almamış ev sakinleri tarafından inşa edildiğini ve bu evlerin genellikle ağır çatı kütleleri ile kapatıldığını

belirtmiştir. Bu çatıların deprem anında, yığma bina duvarlarının düzlem dışı ve düzlem içi yönündeki duvarların büyük bir kuvvetle itilmesine ve binanın şiddetli bir şekilde yıkılmasına neden olduğunu, özellikle kırsal alanlarda yoğun olarak üretilen yığma yapıların orta şiddetli depremlerde bile hasar gördüğünü veya yıkılarak can ve mal kayıplarına neden olduğunu, Türkiye’de mevcut yapı stokunun önemli bir bölümünü oluşturan bu yapıların deprem dayanımlarının artırılması gereğini belirtmiştir. 1950’li yıllarda yığma olarak inşa edilen ve tez çalışması kapsamında incelenen Buldan Göğüs Hastalıkları Hastanesi binasının mevcut durumu kesme kuvvetlerini karşılayacak yeterli duvar alanına (rijitlik ve dayanıma) sahip olmadığını, yapının rijitliğinin artırılması ve duvar kesme dayanımlarının yeterli düzeye çıkarılması için bazı duvarların püskürtme beton uygulaması ile güçlendirilmesi öngörmüştür. Binanın mevcut durumu ile güçlendirilmiş durumunu SAP 2000 de analiz edilerek sonuçları karşılaştırılmıştır. Uygulamaya ait detayları da vermiştir [30].

Juha’sova ve ark., çalışmalarında yaptıkları çalışmada, yığma yapıların depremsel tepkilerini incelemişler, GDOF sarsma tablasında, geniş ağır modelin sınırlı şartlarda deney süresince modellenmesini anlatmışlardır. Araştırmanın temel hedefi orta ve kuvvetli sismik etkiler içeren eski yığma yapıların dinamik direnç kapasitelerinin artırılmasıdır. Teorik ve sayısal analizlerin sonuçlarını herhangi bir test başlamadan önceki başlangıç oransal hesaplamalar ile karşılaştırılmıştır. Güçlendirme, yeniden düzenleme ve yapıların özel lifli harçlar kullanarak onarımı ve yapının yığma bölümlerinin güçlendirilmesi hakkında araştırmalar yapılmıştır [31].

Valuzzi ve ark., yaptıkları çalışmada aşırı yükleme olayına tabi tutulmuş tuğla yığma yapıların mekanik davranışını sunmuşlardır. Özel hasara maruz tutulan yapılarda, uzun zaman etkisi ile ani çökmeye sebep olabilecek yayılan ince çatlakların oluşabileceğini belirtmişlerdir. Yatak derzine çelik çubukların yerleştirilmesi temeline dayanan güçlendirme tekniğini uygulanmışlardır. Deneysel testler ve nümerik analizler sonucunda çubukların varlığının çatlama olayının kontrolü ve yapının istenilen güvenlik şartları içinde tutulmasına izin verdiğini göstermiştir [32].

Hendry, kitabının ilk bölümünde yığma yapılarda duvarların yerleşim şeklini anlatmış, güçlendirilmemiş ve kesme kuvvetlerine karşı donatı ile güçlendirilmiş yığma yapıları açıklamıştır. Yığma yapılar tasarlanırken karşılaşılabilecek sınır durumlarını, güvenlik faktörlerini ve yığma yapıların analizini açıklamıştır. Ayrıca, yığma yapıların güçlendirme metotlarının değiştiğini ifade etmiştir. Kagir paneller üzerinde yapılan standart basınç deneylerinde, kagir panellerin sorununun derzleri olduğu belirtmiştir. Delikli tuğla duvarlarda basınç/ağırlık değerindeki artışının mukavemet artışına etkisinin % 20 seviyesinde olduğu istatistiksel değerlendirmelerde anlatmıştır. 14, 10, 3 delikli tuğlaları basınç deneyine tabi tutmuş ve testte 3 delikli tuğlanın elde ettiği basınç değeri maksimum çıkmıştır. Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda elde edilen ampirik formüllerle kagir duvarın basınç mukavemeti bulunmuştur. İnşaat detayları ve işçilik faktörlerinin basınç mukavemetine etkisi istatistiksel açıdan değerlendirilmiş, işçilik hataları üzerine;

- harç bileşenlerinin oransal olarak yanlış kullanımı,
 - su emme oranının hatalı ayarlanması,
 - hatalı birleştirme yöntemleri,
 - yerleştirmeden sonra tuğlanın sarsılması,
 - duvarın şakülünde ve doğru seviyede yapılmaması,
 - iklim şartlarının etkisi
- konularını incelenmiştir.

Basınç altındaki kagir duvarın çeşitli analizlere dayalı kırılma teorilerini anlatmıştır. Kesme, çekme ve iki eksenli çekme altındaki kagir yapılarda yaşanan kenetlenme mukavemeti ve kenetlenme yapısını araştırmış, kimyasal kenetlenmenin yanı sıra mekanik bir kenetlenmenin sağlanması için tuğlanın gözenek boyutlarının 0,005 mm'den fazla olması ve çimentonun ettringit tabakasının arkasına geçmesi için suyun belirli bir oranda emilmesi gerektiği belirtmiştir. Çekme aderans mukavemetinin belirlenmesinde en önemli etkenin nem olduğunu yapılan deneysel çalışmalar sonucunda belirtmiş, eğilimde çekme etkisinin, direkt çekme etkisinden daha önemli ve daha sık karşılaşılabilecek bir durum olduğu belirlemiştir[33].

Taşıyıcı duvarların dışında, ısı yalıtımı için boşluklu tuğla ile imal edilen dış duvarlar ve depreme karşı takviye edilmiş kesme duvarları açıklamıştır. Yapılan çalışmaların çoğunun dikdörtgen kesitli duvar üzerine olmasına rağmen, gerçek yapılarda duvarların dönüşlere sahip olduğunu, yapı güçlendirilirken de birbirine dikey temas eden bu duvarların birleşim yerlerinin güçlendirilmesi gereğine dikkat çekmiştir[33].

Kagir yapı dizayn edilirken üç farklı konu değerlendirilmiştir. Bunlar; binalardaki farklı duvarlar arasındaki yük dağılımı, duvarlardaki yük eksantrikliğinin tespiti ve duvarlardaki yatay yük dağılımlarıdır. Yazar düşey yük analizini yaparken, düşey yükleri betonarme döşemelerdeki yüklerin kirişlere bindiği gibi, perdelerle binmesi esasına dayanarak, üçgen ve trapez yükler şeklinde ayrılması gerektiğini belirtmiştir. Uzunluğun kalınlığa oranı 1,8 olan perdenin maksimum kesme dayanımını verdiğini ve bu değer kareye yakın kesitteki perdeye oranla % 20 fazla olduğunu yanal analizlerde bulmuştur. Yapılan çalışmalarda düzlem içi ön yükleme yapılan kâgir duvarların, düzlem dışı yüklemelere karşı dayanımının arttığı bulunmuştur[33].

Kitapta kiriş-duvar birleşimlerinde süreksizlikler, doldurulmuş çerçeveler, açıklıkların sismik hareketinden bahsedilmiş, duvarlardaki süreksizliklerden olan kapı, pencere boşluklarının yanal yükler karşısında duvar mukavemetine % 50-70 oranında olumsuz etki yaptığı belirlenmiştir. Son olarak yığma yapılarda panel olarak ve yapı malzemesi olarak deneylerin anlatımına yer verilmiştir [33].

Aiello ve Sciolti, yaptıkları çalışmada FRP tabakaların yığma yapıların güçlendirmesi konusunda gelecek vaat eden bir teknik olduğunu, ancak geniş alanlarda kullanımı için dizayn konusunda çalışmaların yapılması gerektiğini belirtmişlerdir. Dünyada, RC elementleri ve kompozit materyallerin yaygın olarak kullanıldığını, ancak yığma yapıların güçlendirilmesinde kullanımlarının az olduğunu tespit etmişlerdir. Son zamanlarda yapılan araştırma projelerinin bir bölümünün Güney İtalya'daki yığma yapılarda kullanılan doğal taş ve FRP plakaların arasındaki analizle ilgili olduğunu açıklamışlardır. Bu çalışmalarının ilk aşamasında, 2 CFRP tabakası ve 2 farklı tip yığma bloklar kullanarak, iç yüzeyler

arasındaki gerilmeyi ve kayma değerlerini belirlemişlerdir. Uzunluk ilişkisi parametresi ve özel geometrilerin ilişkisini de açıklamışlardır [34].

Kanıt ve ark., yaptıkları çalışmada Türkiye'nin geleneksel yapı tipinin yığma bina olduğunu, yığma binaların da, deprem tehdidi altında olduğunu belirtmişlerdir. Yük taşıyıcı yığma duvarın düzlem dışı kırılmasının, yığma binanın deprem dayanımında zayıf halkayı oluşturduğunu belirtmişleridir. Yığma duvarın düzlem dışı kırılmasını anlamak, tasarım ipuçları ve kuralları çıkarabilmek ve mevcut binaların güçlendirilmesini kolaylaştırmak için yığma duvar deneyleri yapmışlardır. Yığma duvar deneylerini 1/1 ölçekli, dolu harman tuğlaları ve uygulamada kullanılan harç karışımları kullanılarak imal edilmişlerdir. Düzlem dışı zorlamaları, duvarın orta bölgesine dört noktadan tekil, ancak tersinir yükün uygulanması ile oluşturmuşlardır. Düzlem dışı tersinir yüklerle zorlanan yığma duvarın, betonarme plak döşemelerde oluşan çekme çizgilerine benzer kırılma deseni oluşturarak kırıldığını göstermişlerdir. Ancak, bu kırılma sünek değil gevrek olarak gerçekleşmiştir. Oysa, Türk Afet Yönetmeliği, yığma duvarda belli bir sünekliğin oluşmasını öngörmekte ve Davranış Katsayısı olarak $R=2,5$ 'in kullanılmasını istemektedir. Düzlem dışı yükleme ve kırılma deneyinden çıkan sonuç, $R=2,5$ büyüklüğünde bir katsayının kullanılmasını desteklememektedir. Düzlem dışı yüklenen duvarda kırılma yapısının dışına doğru, kenar mesnetlerde çekme gerilmeleri oluşturacak şekilde oluşmuştur. Çekmeye çalışan mesnetlerde, aşağıdan yukarıya doğru mesnetlere paralel çekme çatlakları oluşmuştur. Mesnetlerin serbestçe dönmesine izin veren çekme çatlaklarının oluşmasından sonra duvar düzleminin üstünde "kırılma çizgileri" gözlenmiştir. Düzlem dışı yüklenen duvarın dayanımı büyük ölçüde, mesnet çizgilerine paralel düşey çekme çatlaklarının oluşmasına bağlı olduğu gözlenmiştir. Bu gözlemden hareketle, ikinci bir deney planlanmış ve mesnetleri L-geometriye sahip derzler arasına yerleştirilmiş levhalarla takviye ederek, etkisini araştırmışlardır. Köşelere $s=50$ cm aralıklarla yerleştirilen L-plakalar yığma duvarın kırılma modunu değiştirmiştir. Duvar üstünde "kırılma çizgileri" oluşmamış ve kırılma, bina dışına doğru değil, bina içine doğru ve sünek olmuştur. Köşelere yerleştirilen L-geometrilik takviye plakalarının kullanılması durumunda, Türk Afet Yönetmeliği'nin öngördüğü

$R=2,5$ katsayısının gerektirdiği süneklik sağlanmıştır. Deneylerden elde edilen histeresis eğrileri çizilmiştir [35].

Giordano ve ark., yaptıkları çalışmada yığma yapıların analizi için farklı sayısal tekniklerin uygulanabilirliğini incelemişler, tam ölçekli yığma yapı örneği üzerinden elde edilen deneysel test verileri ile hesaplanan sonuçları karşılaştırmışlardır. Bu araştırmada üç yaklaşım kullanmışlardır. Bunlar, homojenize malzeme ve çatlakları oluşturan kural kavramları temeline dayanan standart FEM, Visual CASTEM 2000 ve dikey, yatay harç bileşimlerinin araştırılmasında sonlu elemanlar metodudur [36].

Batur, tez çalışmasında yığma yapıların depereme karşı gösterdiği reaksiyonlardan yola çıkarak yığma yapı elemanlarında meydana gelen gerilmeleri hesaplamıştır. Seçilen deprem bölgesine göre yapıyı modellemiştir. Belirlenen döşeme, hatıl ve duvar kalınlığına göre bina ağırlığı bulup eşdeğer deprem yükü metoduna göre binaya gelen deprem yüklerini bulmuştur. Gelen yüklere karşı duvarlarda oluşan gerilmeleri bularak emniyet gerilmeleriyle karşılaştırmıştır [37].

2.2. Sistem Güçlendirmesi

Angel, çalışmasında düzlem dışı yüklenen yığma panellerin çatlamadaki davranışlarının tam olarak belirlenemediğini, bu çalışma ile birçok yığma panelin incelenerek, deneysel olarak yığma panel davranışlarının belirlenmesinin sağlanabileceğini, bu panellerin düzlem dışı davranışlarının analitik olarak belirlenmesinde önceki düzlem içi yükleme ile ve düzlem içi yüklemesiz hasarlardan yararlandığını vurgulamıştır. Analitik modellemede yığma panellerin basınçla yüklenmesi, narinlik oranı, düzlem içi yükleme genişliği gibi parametrelere dikkat etmiştir. Yatay kuvvetler, yığma panel düzlemine paralel ve düzleme dik olarak uygulanmış ve duvarlara veya tuğlalara betonarme çerçeveler yerleştirilmiştir. Önce düzlem içi statik yükleme yapmış, çatlamadan sonraki örnekleri güçlendirerek, yeniden test etmiş ve güçlendirilmemiş yığma panellerin deprem anındaki davranışları ile karşılaştırmıştır [36].

Sakr, çalışmasında, hava boşluğu, izolasyon malzemesi ve metal parçacıkları içeren beton bloklar ve tuğlalardan üretilmiş Kuzey Amerika’da yaygın olarak kullanılan çift yığma duvarları incelemiştir. Bu duvarların dizayn ve uygulamalarının iyi yapılması halinde izolasyon kapasitelerinin iyi olduğunu, yük taşıma kapasite yüksekliğinin pek çok faktöre bağlı olduğunu, bu faktörlerden bazılarının bağlantı çeşitlerine, daralma kapasitesine, ekzantrik yüklemeye, duvarın narinlik oranına bağlı olduğunu belirlemiştir. Bugüne kadar, bu faktörleri, tuğlanın dış yüzeyi ve yüklemeye karşı direncini içeren, birçok standardı beraberinde kullanan oransal analizin bulunmadığını vurgulamıştır. Deneysel çalışmada 30 adet çift tuğladan üretilen yığma duvar kullanılmış ve 60 adet referans duvar alınmıştır. Yığma duvarlar düzlem içi ve düzlem dışı yüklerle yüklenmiştir. Farklı bağlantı çeşitliliğinin belirlenmesinde 3 tip, boşluk oranlarının belirlenmesinde 36 mm, 76 mm, 114 mm örnekler, ekzantrik yükleme kapasitesinin belirlenmesinde 10 mm, 23 mm, 46 mm örnekler ve duvarın narinlik oranının belirlenmesinde yoğunluk oranı 20’den 30’a kadar olan örnekler kullanılmıştır. Sonlu elemanlar modeli ile sonuçlar formüle edilmiş ve bu yöntem çift duvarlı yığma binaların test edilmesi için uygun görülmüştür. Tek boyutlu yığma duvarlarda kullanılan, blok ve tuğlaların gerçek dönme hareketleri de formülize edilmiştir. Bu metot düzgün olmayan metallerde, sünek gerilim mekanizmalarında, bağlantı çeşitlerinde, yoğunluk kapasitelerinin belirlenmesinde, aşırı yükleme anında, narinlik oranının belirlenmesinde kullanılabilir. Bu yöntemin kullanımı ile yığma duvarların son yüklenmeleri ile ardışık yüklenmeleri arasındaki ilişkisi tam olarak belirlenebilmektedir [37].

Kun, çalışmasında yığma duvarların davranışlarını belirlemek için 10 adet büyük ölçekli duvar üretilerek, deneye tabi tutmuştur. Yükseklikleri 2390 mm, uzunluğu 790 mm, kalınlığı 140 mm olan örneklerden, 2 duvar eksantrik yükle, 4 duvar tek yükle, 3 duvar tersinir yükle yüklenmiş, yük taşıma kapasiteleri, uygulanan moment değerleri, yanal ötelenme değerleri, sünme değerleri belirlenmiştir [38].

Wight ve ark., çalışmalarında ilk kez Yeni Zellenda’da inşa edilen eski beton yığma duvarlarını sarsma tablası ile test etmişlerdir. 4 örnek duvara sarsma tablasında dinamik deney uygulamışlar, sünme, ötelenme kapasiteleri, dayanım değerlerini

araştırmışlardır. Eskiden yapılmış yığma duvarlardaki ötelenmenin, yeni inşa edilenlere göre daha büyük olduğunu belirlemişlerdir [39].

Joaqim ve ark., çalışmalarında tuğla ve beton elemanlarla yapılmış yığma yapıların davranışlarını 4 yığma panele dayanıklılık testi yaparak belirlemişlerdir. Paneller tuğladan, betonarme kirişlerle ve beton katmanlar halinde yapılmıştır. Tuğla panellerin negatif sünme değeri, beton tabakadan yapılmış duvarınkinden yaklaşık 2 kat daha negatif sünme değerine ulaşmıştır. Tuğla ve beton paneller karşılaştırıldığında, beton panelin yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir [40].

Senthivel ve Uzoegbo, yaptıkları çalışmada kalsiyum silikat tuğla ile üretilmiş yığma panelleri 5 farklı kademede deprem kuvveti ile yükleyerek, eğilme değerlerini belirlemişlerdir. Araştırmada 230x110x70 mm lik kalsiyum silikat içeren 35x55x110 mm'lik tuğlalardan 360x360 cm boyutunda duvar örülerek, 23,6 MPa kuvvet uygulanmış, su/çimento oranı 0,95 olan kireç-çimento harcı kullanılmıştır. Zayıf yüklemede eğilmenin belirlenmesinde gerçek değerler kullanılmıştır. Çatlamanın belirlenmesi için kuvvet sabit tutulmuş, çatlama ve eğilme değerleri normal sınırlar arasında ölçülmüştür [41].

Cecchi ve ark., çalışmalarında 12 yapay duvar, 10 doğal blok üzerinde deney yapmışlardır. Bu deneyler sonucunda, yığma yapı duvarların düzlem dışı yüke karşı güçlendirilmesi gerektiğini, bu yapıların taşıyıcı duvarlarının olması gerekenden daha ince yapıldığını, dayanım değerlerinin çok düşük olduğunu belirlemişlerdir. Deneylerde, kinematik limit analizi olan Reissner-Mindlin teorisini kullanmışlar, örnekleri düzlem dışı yükle yükleyerek, mekanik davranışlarının belirlenmesinde 3D kullanmışlar, duvarlarının çatlama ve çökme değerlerini belirtmişlerdir [42].

Kanıt ve ark., çalışmalarında yığma yapıların sismik davranışını özetlemişlerdir. Deprem kaynaklı yer hareketi yığma yapıyı sismik enerji ile yükler. Bu enerji yapıda yanal deplasmanlara yol açar. Dinamik ötelenmenin sonucu olarak zemin kattan çatı katına kadar oluşan ivmeler, zemin kattan çatı katına ulaştığında en büyük değeri

alır. Çatı katında oluşan maksimum ivme yığma duvarı hem düzlem içi, hem de düzlem dışı yükler. Göçme mekanizmasında duvarların düzlem dışı yıkıldığı varsayılmıştır. Düzlem dışı tersinir yükler ile yüklenen yığma duvarların deneysel sonuçları sunulmuş ve açıklanmıştır. Tersinir yükün yönüne göre duvar davranışının değiştiği tespit edilmiştir, erken göçmenin duvarın çevre mesnetlerini çekme gerilmesine maruz bırakan yükleme altında oluştuğunu gözlemlemiştir. Duvardaki ilk çatlaklar kırılma yükünün % 61'inde meydana gelmiştir. Çekme çatlakları oluştuğundan sonra duvarın rijitliği yaklaşık olarak % 51 oranında azalmıştır. Duvarın göçmesi, köşe mesnetlerin tepeden düşey olarak ayrışması ile olmaktadır. Duvarda, çift yönlü betonarme döşemedeki akma çizgileri gibi çatlaklar oluşmuştur. Sonuç olarak, test edilen yığma duvarın yönetmelikte verilen süneklik şartını sağladığını gözlemlemiştir [43].

Mamari ve ark., çalışmalarında deprem etkisindeki yığma duvarların geleneksel malzemelerle kaplanarak güçlendirilmesini incelemiştir. ACI 530-95/ASCE 5-95/TMS 402-95'e göre yığma duvarlar yanal olarak desteklenen malzemelerle güçlendirilmiş ve sonlu elemanlar metodu ile analiz edilmiştir. Bu yöntemle güçlendirmeyi deprem bölgeleri için önermişlerdir [44].

Rosenboom, çalışmasında deprem yükleri altında düzlem içi yüklenen beton yığma duvarların estetik olduğunu, ancak son yüklenme durumunda taşıyıcılıklarının iyi olmadığını vurgulamıştır. 5 adet ½ ölçeğinde örneği test etmiştir. Yükleme- yer değiştirme analizi yapmıştır. Sonradan yüklenen kil tuğladan yapılmış yığma duvarların deprem bölgelerinde kullanılmasının sınırlandırılması ve hesaplamalarda çevrimsel yüklemenin de kullanılması gerektiğini belirtmiştir [45].

Shang ve ark., çalışmalarında çalışmalarında deprem yüküne maruz yığma duvarları incelemiştir. 3 tam ölçek 190 mm kalınlıkta, 9,0 m uzunlukta, 2,4 m yükseklikte beton blok duvarları test etmişlerdir. Duvarların köşelerine diagonal çubuklar yerleştirmişlerdir. Böylece, düzlem dışı yüklenen duvarların taşıdıkları yükü artırmışlardır. Güçlendirilen duvarın yanal öteleme kriterlerinin düzlem dışı yüklenme kriterinden daha önemli olduğunu belirlemişlerdir. [46].

Casolo, çalışmasında düzlem dışı yüklenen yığma duvarların dinamik deprem davranışlarını incelemişlerdir. Deprem sırasında hasar gören kilise ve anıt duvarların yana doğru ve öne doğru eğilmelerini incelemiştir. Duvarlar çatlama eğiliminde oldukları için, dörtgen rijit elemanlar metodu ile incelenmişlerdir. Düzlem içi eksenel yüklenen hasar görmemiş elasto-plastik özellik gösteren, hareketli duvarlar ile düzlem dışı yer değiştirmeleri araştırılmıştır. Çevrimsel yükleme karşısındaki davranışlar, birleşim noktaları histeri eğrileri ile gösterilmiş, duvarın üretildiği kargir malzeme davranışları ve hasar durumları rijit elemanlar yöntemi ile belirlenmiştir [47].

Wang, çalışmasında yığma duvarlarda boşluk oluşturmak için ayırma aparatları kullanmıştır. 10 adet tam ölçekli yığma duvarı düşey eksantrik yükle yüklemiş, 46 adet ayırma bağı kullanarak, duvarları deneye tabi tutmuştur. Deneysel sonuçlarını nümerik analiz yöntemleri ile değerlendirmişlerdir. Ayırma bağı aparatlarının duvarın taşıma ve dayanım kapasitesinde artış sağladığını belirlemiştir [48].

Jain ve ark., çalışmalarında karbon epoxy panelleri orta düzleme GY260 olarak enjekte etmişler, deneyde yaklaşık 125 mm uzunluğunda 25 mm genişliğinde örnekler kullanmışlardır. ASTM STPP 1012, ASTM STPP 1110, ASTM STPP 876 standartlarına göre deney yapmışlardır. Güçlendirmede fiber karbon kullanarak dayanımın artırılmasının araştırmışlar, ancak düzlem dışı yüklemede ve karmaşık yapıların kritik yüklemelerinde fiber plakaların tutturularak dayanıklılığa etkisini incelenmesinin tamamlanmadığını belirtmişlerdir. Karbon ve epoxy birleşiminin duvara uygulanmadan önceki ve uygulandıktan sonraki dayanımlarını araştırmışlar, güçlendirmede kullanılan fiberlerin yoğunluğu, çapı ve tipleri üzerinde yoğunlaşmışlardır. Fiber uygulanarak güçlendirilen duvar örneklerinin dayanımında 4 kata kadar iyileşme belirlemişlerdir. Ayrıca, bu duvarların yükleme durumundaki çatlak sayısında belirgin azalmalar gözlemlemişlerdir [49].

Albert ve ark., çalışmalarında pek çok yığma duvarın güçlendirmeye ihtiyacı olduğunu belirtmişler ve bu duvarların FRP ile güçlendirilmesini 10 yığma duvara 30 deney uygulayarak açıklamışlardır. Güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş duvarlara

yükleme yaparak, test etmişlerdir. FRP ile güçlendirmenin duvarın yük taşıma kapasitesinde ve diktülitede artışa neden olduğunu belirlemişlerdir [50].

Hamoush ve ark., çalışmalarında FRP ile güçlendirilmiş düzlem dışı yükle yüklenen yığma duvarların davranışlarının deneysel modelleme ile incelemişlerdir. Deneyde ASTM Standardından C90 ve ASTM C270 S harcı kullanmışlardır. Örneklere 10,34 MPa yük uygulamışlardır. 80 duvar paneli (3x2x8, 900x600x200 mm) düzlem dışı statik yükle yüklemişlerdir. 9 panel tabakasına, iki yüzeyden yükleme yaparken, S-Glass fiber uygulamışlar, farklı uzunlukta ve birbirine çok yakın uzunluktaki duvarlara WEB fiber ile güçlendirme yapmışlardır. Örneklere MYS makinesi ile dört noktadan kuvvet uygulamışlar, duvarlara dıştan yapılan güçlendirmenin duvarın esneklik kabiliyetini artırdığını, birden fazla FRP tabaka ile güçlendirilmiş duvarın taşıyıcılığında artış gözlemlendiğini, tek tabaka FRP ile güçlendirilen duvarların taşıyıcılığında çok az bir değişiklik olduğunu ve güçlendirmede FRP plakaların olumlu özelliklerine rağmen, yaygın kullanımının sağlanamadığını belirtmişlerdir [51].

Dakhakhni ve Wagih, çalışmalarında boşluklu betondan yığma duvarların çelik çerçeveler yerleştirildikten sonra, cam fiber tabakalarla güçlendirilerek, düzlem içi yanal yüklenmesinde yüzeyinden harçla kaplanmasının etkileri incelenmişlerdir. Önce, cam fiber tabakalar ile güçlendirilen yığma duvarların düzlem içi davranışları 14 örnek üzerinde farklı yükleme yapılarak, farklı fiber tabakalar kullanılarak belirlenmişler, cam fiber tabakaların yığma duvarın basınç kuvvetleri altındaki taşıyıcılık kapasitesinde % 90 oranında artış sağladığını ve düzlem içi yükleme 4 kat daha fazla yük taşıdığını belirlemişlerdir. İkinci aşamada, duvarın ötelenmesini belirlemek için duvarı çevrimsel yüklemeye tabi tutmuşlar, 6 adet tam ölçekte çelik çerçeveli duvarı test etmişlerdir. Cam fiber polimerle güçlendirilen duvarın yanal yük taşıma kapasitesinin arttığını, böylece, düzlen dışı yüklenme durumunda dış yüzeyde oluşacak tabalar halindeki kopmaların azalacağını belirtmişler, bunu ani yükleme ve normal yükleme kapasitelerindeki artış izlemiştir. Üçüncü aşamada cam fiber polimer ile güçlendirilmiş çerçeve yerleştirilmiş yığma duvarın analitik çalışmaları tamamlanmıştır. Analitik çalışmada CC (corner crushing) metodu kullanılmış, cam

fiber polimerle güçlendirilen duvarın çeşitli faydaları ve davranışları sunulmuştur [52].

Hamoush ve ark., çalışmalarında düzlem dışı yüklenen yığma duvarların FRP ile güçlendirilmesini araştırmışlardır. 900x600x200 mm boyutlarında 18 adet yığma paneli ASTM C90 ve ASTM C270 e göre üreterek ve düzlem dışı yüklerle yükleyerek test etmişlerdir. 9 örneğe tek kat S-cam lifli plastikle yüklenme bölgesinden güçlendirirken, 9 örneği iki kat S-cam lifli plastikle yüklenme bölgesinden güçlendirmişlerdir. Örnekler dört noktadan noktasal kuvvet uygulanmış ve çatlama kuvveti ile ötelenme miktarı belirlenmiştir. FRP plakalar ile güçlendirilen yığma duvarların sünme performanslarının iyileştiğini, tek tabaka FRP ile güçlendirilen duvarın iki kat FRP ile güçlendirilen duvara göre, daha az iyileştiğini, lifli plastik ile güçlendirmenin yaygınlaşması gerektiğini belirtmişlerdir [53].

Dafnis ve ark., çalışmalarında deprem yükü ile yüklenen yığma panellerin beton çerçeveler ile güçlendirilmesini araştırmışlardır. Duvarın üst seviyelerindeki boşlukların artması, duvarın oluşturulmasında kullanılan harcın yüksek kalitede olmaması gibi nedenler ve deprem sırasında oluşan düzlem dışı yüklenme ile çökmeler oluştuğunu belirtmişlerdir. Duvarların rijit elemanlarla desteklenmesi durumunda yapının yeterli sünekliği gösterebildiğini belirtmişlerdir [54].

Carley ve Myers, çalışmalarında güçlendirilmemiş yığma duvarların düzlem dışı yüklenmeleri durumunda, kırılgan olmaları ve düşük sünme kapasitelerinden dolayı fazla yük taşıyamadıklarını, TMS (The Masonry Society) ve FEMA (Federal Emergency Management Agency) tarafından da, güçlendirilmemiş yığma yapıların deprem anında büyük mal kaybına ve insanların ölümüne neden olduğunun açıklandığını belirtmişlerdir. Yığma yapıların güçlendirilmesi için alternatif yöntemlerden birinin FRP (fiberle güçlendirilmiş polimer) duvarın dış yüzeyine uygulanması ve böylece yüksek sünme kapasitesinin sağlanması olduğunu vurgulamışlardır. Bunun belirlenmesi için 12 güçlendirilmemiş yığma duvarı FRP ile güçlendirmişler ve farklı yükleme ile test etmişlerdir. Duvarlara düzgün yayılı yük de

uygulamışlar, sonuçta hasar seviyelerini beklenen değerler arasında belirlemişlerdir [55].

Hutchinson ve ark., çalışmalarında yığma yapıların deprem etkisine göre dizayn edilmiş olsalar dahi, yüklenme ve deprem anında düzlem dışı yüklenmeye maruz kaldıklarından, hasar görebileceğini, bu nedenle modern malzemeler ve yeni çözümler ile iyileştirilmeleri gerektiğini belirtmişlerdir. Poliüretan, poliüretan- fiber karışımları ile güçlendirilmiş yığma duvarlarda düzlem dışı yükleme yapmışlar ve duvarları test etmişlerdir. Kalınlıkları 6,4-22,2 mm olan farklı iki tip poliüretan ile kaplanan duvarda ve farklı iki tip karbon fiber ile kaplanan duvarda deney yapmışlar, yığma duvarların yük-yer değiştirme durumlarını ve hasar karakteristiklerini göstermişlerdir. Düzlem dışı yüklenen yığma duvarın, tek tabaka poliüretan ile dahi güçlendirilmesinin çatlama kontrolünde önemli iyileştirmeler sağladığını, ancak tercih gerektiğinde, daha fazla katmandan oluşan poliüretan ile güçlendirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir [56].

Brown, çalışmasında 2001 yılında New Meksiko’da GFRP ile güçlendirilen 4 duvarı statik ve dinamik test yöntemleri kullanarak incelemiştir. 2 şiddetinde deprem yükü verilen duvarlarda, kalıcı deformasyonlar oluşmuştur. Aynı şekilde, yığma panelleri de incelemiş ve benzer sonuçları yığma paneller için de ölçmüştür. Duvar ve panellerin GFRP ile güçlendirildiklerindeki analitik modellemelerini geliştirmiştir [57].

Mılao, çalışmasında yığma duvarların dıştan CFRP ile güçlendirilmesini araştırmıştır. 4 örnek duvarı düzlem içi yanal yük ve düşey yük uygulanarak, test etmiştir. Yanal yüklemde ötelenme, çatlama deseni ve CFRP tabakaların duvara etkisini belirlemiştir. CFRP ile güçlendirilen duvarların yükleme kapasitelerinde ve yer değiştirme kabiliyetlerinde önemli iyileşmeler ile duvarın yanal yük altında taşıyıcılığında artışlar gözlemiştir [58].

Yasser, çalışmasında deprem kuvvetleri altında yığma duvarlarda düzlem dışı yüklenme nedeni ile çökme veya çatlamlar oluşabildiğini, bunun da kültürel ve

ekonomik kayıplara neden olduğunu belirtmiştir. Çalışmasında, tarihi ve yığma yapıların fiber polimerler (FRP) ile güçlendirilmesini araştırmıştır. 42 güçlendirilmiş ve 10 tam ölçekli tuğladan duvarı fiber polimer malzemeler ile güçlendirmiş, statik ve dinamik yüklemeye tabi tutmuştur. Güçlendirilmiş duvarların taşıma kapasitelerinde, enerji tüketme kapasitelerinde ve dayanıklılıklarında olumlu gelişmeler oluşmuştur. Fiber polimerle güçlendirme yönteminin tarihi yapılarda da uygulanarak kültürel ve sosyal mirasa sahip çıkılabileceğini, bunun Kanada ekonomisine de katkı sağlayacağını belirtmiştir [59].

Dakhakhni ve Wagih, çalışmalarında 24 adet güçlendirilmemiş yığma duvara farklı şiddette, farklı yüklemeler yapmışlardır. Ayrıca 5 yığma duvara çelik çerçeveler yerleştirerek, çeşitli tabakalar ile güçlendirerek yeniden test etmişlerdir. Böylece düzlem dışı yüklenen duvarın yük taşıma kapasitesinde ve sağlamlığında artış gözlemlenmiştir. Test sonuçlarında, katkı ile güçlendirilen yığma duvarların deformasyonlarında azalma oluştuğunu ve yükleme anında yığma duvarların daha az hasar göreceğini açıklamışlardır [60].

Elgawady ve ark., çalışmalarında güçlendirilmemiş pek çok yapının yeniden güçlendirmeye ihtiyacı olduğunu belirtmişler. Düzlem içi deprem yükü ile yüklenen duvarların FRP ile güçlendirilmeden ve güçlendirildikten sonraki davranışlarını incelemişlerdir. 1/5 ölçekteki örneğe iki farklı etkide moment/kesme hızı 0,7 ve 1,4 olan düzlem içi dinamik yükleme yapmışlardır. Örneklere bir yüzeylerinden farklı tip ve yapıda FRP uygulamışlar, bir grup deprem yükü ve yanal kuvvet uygulayarak, güçlendirme yöntemi geliştirmişlerdir. Buna ek olarak, her örneğin, temel frekans ve ilk boyutunu sabit tutularak da yükleme yapmışlardır. Test süresince silindirik örnekler çatlamıştır. FRP ile güçlendirilen örneklerin çatlamasında azalmalar ölçülmüş, geçiş bölümlerinde ise çatlama gözlenmemiş, çevrimsel yükler altında düzgün elastik davranışlar kaydedilmiş, yanal yük taşıma kapasitelerinde yaklaşık % 30 oranında artış belirlenmiştir [61].

Paquette ve Bruneau, çalışmalarında bire bir ölçekli yaptıkları güçlendirilmemiş yığma tuğla duvarda sahte deprem etkisi oluşturmuşlardır. Deneyler

gerçekleştirilirken, beklenen deprem davranışlarının belirlenmesi ve bina köşelerindeki yıpranmanın daha iyi gösterilmesi için, sünek döşeme, rijit duvar örneklerden yararlanılmışlardır. Güçlendirilmemiş yığma duvarları genellikle fiberglas malzemelerle onarılıp yeniden teste tabi tutmuşlardır. Deney sonucunda oluşan çatlamları diyagramlar halinde göstermişler, kuvvet/yer değiştirme davranışları ve büyük deformasyonları göstermişlerdir. Bu sonuçları FEMA 356 ve ABK gibi diğer deneysel çalışmalarla karşılaştırmışlardır [62].

Elgawady ve ark., çalışmalarında FRP ile güçlendirilmiş yığma yapıları incelemişler, 6 duvarı FRP ile güçlendirerek, yük uygulamışlardır. 4 örneğe düzlem içi yükleme, 2 örneğe düzlem dışı deprem yükü uygulamışlar, daha sonra her örneği bir yüzünden FRP ile güçlendirerek, yeniden kuvvet uygulamışlardır. FRP ile güçlendirilen duvarın taşıyıcılık kapasitesinde artış olduğunu ve elastik FRP ile güçlendirilen duvarın elastik davranışlar gösterdiğini belirlemişlerdir. FRP ile güçlendirilen duvarın rijitliğinin arttığını, ancak bu modelin düzlem dışı yüklemeye uygulanmasının uygun olmadığını belirtmişlerdir [63].

Emeritus ve Hendry, yaptıkları çalışmada çağdaş yığma duvarların davranışını incelemişlerdir. Duvar malzemelerinden kil, beton ve kalsiyum silikat içeren elemanların birim boyut, biçim ve renklerinin içereceği üzerinde durmuşlardır. Harçlarla ilgili olarak, çimento, kum ile diğer malzemelere akışkanlaştırıcı eklenmesinin işlenebilirliği artıracağını belirtmişlerdir. Yük taşıyan ve taşımayan duvarlar için dizaynın önemini özetlenmişler, üretim metotları uygulamalar için, ekonomikliği ve verimliliği artıracak tanımlamalar yapılmışlardır [64].

Galati ve ark., yaptıkları çalışmada yığma yapı duvar davranışlarını, FRP çubuklar ile duvarın üst yüzeyinden güçlendirerek araştırmışlardır. 15 yığma duvarı deneye tabi tutmuşlar, duvarların güçlendirilmeden önceki performansları ile güçlendirildikten sonraki iyileşmeleri yükleme yaparak karşılaştırmışlardır. Etkili çubukları (düzgün ve rastgele), FRP materyalleri ve epoksi veya çimento esaslı materyalleri güçlendirmede kullanmışlardır. Deneylerin sonucunda, FRP ile

sünekliğin sağlandığını, epoksi kullanımının diktüliteyi artırdığını tespit etmişlerdir [65].

Tomazevic ve ark., yaptıkları çalışmada yığma duvarın sismik davranışlarını 4 değişik yanal yer değiştirme örneklerinde deneysel simülasyon ile incelemişlerdir. 32 adet değişik betonarme yığma duvara homojen bir ortamda yanal yükler vererek, devirsel yanal yer değiştirmelerin genliği, önceden tamamlanmış blokların iki değişik şekilde artışı ve her genliğin tepe değerinde üç kere tekrar edilmesi ve simüle edilmiş yer değiştirmenin sismik tepkisi belirlemişlerdir Aynı yer değiştirme örneği dinamik olarak uygulandığında, duvarın daha rijit davranış gösterdiğini ve yüksek değerlerde yanal dirençlerini statik olarak tespit etmişlerdir [66].

Stierwalt ve ark., yaptıkları çalışmada FRP kompozitleri ile güçlendirilmiş yığma duvarların sünme davranışları ile geleneksel donatılı yığma duvar davranışlarını karşılaştırıp, incelemişlerdir. 8 adet tam ölçekli donatısız beton yığma duvarı uzun süreli düzlem dışı sehimin denenmesi için imal etmişlerdir. Bu duvarları dıştan kenetlenmeli CFRP veya GFRP kompozitleri ile güçlendirmişlerdir. 2 duvarı harçla kuşatılmış donatı ile üretmişlerdir. FRP donatılı duvardaki sünmeden dolayı oluşan uzun süreli sehimler çelik donatılmış duvardakinden % 22-56 daha yüksek olarak belirlenmiştir [67].

Mayrhofer, yaptığı çalışmada yığma yapı duvarlarının derz aralıklarında meydana gelen gevrekliğin ve esnekliğin artırılmasını ve güçlendirme işlemini incelemiştir. Yatay derzle takviye edilen yığma yapı tünelleri şok tüneline incelemiştir. Farklı tuğla malzemelerinin etkisini, esneme ve yük taşıma kapasitesinde çelik takviyeleri statik olarak test etmiştir [68].

2.3. Perde Duvar Güçlendirmesi

Mosalam, çalışmasında deprem etkisindeki boşluklu yığma binaların beton blokla güçlendirilmesini incelemiştir. Statik yükleme, dinamik yükleme ve deney sonuçlarının değerlendirilmesi olarak üç bölümde incelenen araştırmada, statik

yüklem bölümünde hasarlı ve hasarsız duvarlara yüklem yapılmış, GLD (Gravity Load Design) boşluklu çerçevede ötelenme oluşurken, duvarın köşelerinde ve iç yapısında çatlamlar oluşmuştur. Dinamik yüklem bölümünde kontrol algoritmaları geliştirilerek, hatalar en aza indirilmiştir. GLD çerçevelerin deprem yüklemelerinde kullanılabileceği gösterilmiştir. Üçüncü bölümde bir çok hesap yöntemi geliştirilmiştir. Yığma binaların kırılğan dış elamanları tehdit eden davranışlarının belirlenmesinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Rakamsal analizlerde elemanların iç yüzey özellikleri belirlenmiş, ayrıca homojen üretilen malzemelerin çatlama formülleri geliştirilmiş ve iki benzer tekniğin boşluklu yapılarda kullanımı önerilmiştir [69].

Rao, çalışmasında ABD'deki yüksek binanın deprem riski altında olduğunu, bu binaların deprem etkisi düşünülmeden dizayn edildiğini, bu nedenle yeniden düzenlenmesi ve güçlendirilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Deneysel çalışmasında 1/3 ölçeğinde numunelerin sarsma tablası yöntemi ile deprem güvenliğini araştırmıştır. Betonarme ile güçlendirilen yapının analizini sonlu elemanlar yöntemi ile tamamlamıştır. Çalışmasında 10 farklı yüklemeyi 2 aşamada uygulamıştır. Her iki grup yüklemde maksimum iç kayma ve minimum temel yükleri belirlenmiştir. Deney IDS (Inelastic Demand Spectrum) olarak tanımlanmıştır. RC (reinforced concrete) kullanılmayan ve orta şiddette deprem etkisi uygulanan binalarda büyük yer değiştirmeler belirlenmiş ve bu binaların yeniden güçlendirilmesi önerilmiştir [70].

Tanhdi ve ark., yaptıkları deneysel çalışmalarında geçen yüzyılın inşaat özelliklerine ve deprem güvenlik şartlarına uygun olarak, 4 adet beton, 2 adet betonarme duvar üretmişlerdir. 2 duvarı güçlendirmişler, 2 duvarı ise güçlendirmemişlerdir. Beton blok duvarlar 200 mm kalınlıkta olup, 1300 mm uzunluktaki duvarların üstüne 482 mm kalınlıkta, 500 mm derinlikte, 1800 mm uzunlukta beton hatıl ile altına beton temel uygulanmıştır. İlk grup duvar harçsız olarak üretilmiş, bir günlük dayanım değeri 8,1–12,5 MPa olarak belirlenmiştir. İkinci grup duvar çok az betonarme ile güçlendirilmiştir. Bu duvar 100 mm kalınlıkta ve diğer duvarla aynı yükseklikte ve aynı kriterlere göre üretilmiştir. Bir günlük çevrimsel yük dayanımı 29 MPa olarak

belirlenmiştir. Duvarların güçlendirmesinde iki adet çapraz çelik ve düşey uygulanan şerit çelikler kullanılmıştır. Genişlikleri 220 mm, kalınlıkları 3.81 mm, dayanım gücü 227 MPa olan bu çapraz çelikler eksantrik yüklere dayanıklı ve düzlem dışı yüklemeye karşı, gereken sünekliği sağlayabilecek özelliklere sahip üretilmiştir. İki adet çelik çaprazın ölçüleri 80x3.81 mm ve düşey yük kapasiteleri 248 MPa olarak belirlenmiştir. Çelik şeritler duvara monte edilerek, 300 mm uzunluğunda, 150x150x16 mm yataklara oturtulmuş, duvar bağlantı noktalarından 400 mm uzaklığından yüksek hızla yüklenmiştir. Tüm duvarlar düzlem içi yüklemeye tabi tutulurken, betonarme ile üretilen duvarların çok azı düşey olarak yüklenmiştir. Harçla üretilen duvar örneklerinde 10–20 mm kalınlığında harç kullanılarak, harçsız duvara uygulanan testler aynen uygulanmıştır. Tamamen çelik şeritle güçlendirilmiş sistemin düzlem içi yük taşıma kapasitesinde ve dayanımında artış gözlenmiştir [71].

Zarnic ve ark., çalışmalarında betonarme çerçeve ile güçlendirilmiş iki model yığma yapıyı sarsma tablası ile test etmişlerdir. Örnekleri tek katlı ve iki katlı kutu şeklinde 1/4 ölçeğinde aslına uygun olarak güçlü tuğla ve zayıf harçla üretilip, çatlak oluşumunu incelemişlerdir. Yığma yapıyı betonarme çerçeve ile güçlendirerek, test etmişler ve yığma duvarların düzlem içi ve düzlem dışı yüklenmelerindeki davranışlarını belirlemişlerdir. Nonlineer test yöntemleri ile analiz yapmışlar ve sonuçların geliştirilmesi gereğini belirtmişlerdir [72].

3. MALZEME VE METOTLAR

3.1. Mazeme

Deney elemanları üretilirken kullanılan malzemelerin özellikleri alt başlıklar halinde sıralanmıştır.

3.1.1. Döşemede ve perde duvarda kullanılan betonun özellikleri

Döşeme yapımında gerçeğe uygun olarak C16 kalitesinde beton, perde duvarda ise C25 betonu kullanılmıştır. Çizelge 3.1’de kullanılan betonun 28 günlük basınç dayanımları verilmiştir.

Çizelge 3.1. Döşeme ve perde de kullanılan betonun 28 günlük basınç dayanımları

Kullanıldığı yer	Beton sınıfı	28 Günlük Basınç dayanımı (N/mm ²)	Basınç Dayanımı Ortalaması (N/mm ²)
Döşeme Betonu	C16	24,2	24,03
		24,9	
		23,0	
Perde Betonu	C25	31,1	30,9
		31,4	
		30,4	

3.1.2. Döşemede ve perde duvarda kullanılan çelik hasır ve donatı özellikleri

Döşeme ve perde duvar üretilmesinde TS-4559’a uygun hasır donatı kullanılmıştır. Hasır çelikler TS-708’de belirtilen özelliklere sahip BÇIII nervürlü çelikte üretilmiştir. Hasır çeliğe ait özellikler Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. TS-708'e göre hasır çeliklerde kullanılan nervürlü çeliklerin özellikleri

Malzeme Özellikleri	Malzeme Değerleri
Min. akma sınırı	5,00 N/mm ²
Min. çekme dayanımı	5,50 N/mm ²
Min. kopma uzaması	% 5-8

Hasır çelik cinsi Q188/188, açılımı ise 6d.6.150d.150'dir. Deneyde kullanılan Q sınıfı hasır çelik Çetinel A.Ş. laboratuvarında yapılan deneyler sonucu belirlenmiş, özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. $\phi 6$ 'lık Q188/188 hasır çeliğin özellikleri

HASIRIN		HASIR ÇUBUĞUN								AĞIRLIK	
TİPİ	Boy/Eni	Aralığı		Çapı		Çıkıntısı		Alanı			
		Boy	En	Boy	En	Boy	En	Boy	En	m ²	Hasır
	m		mm						mm ²	m	N
Q188/188	5,00/2,15	150	150	6	6	100/100	25/175	188	188	29,6	312,9
						Çelik Hasır			ST1		
Min. akma sınırı						5,000 Kg/cm ²			2,200 Kg/cm ²		
Min. çekme mukavemeti						5,500 Kg/cm ²			3,400 Kg/cm ²		
Min. kopma uzaması						5%			18%		
Çubuk çapı						4-9 mm			8-28 mm		
Kaynak noktalarındaki makaslama kuvveti						30 Bs.Fe					
Emniyet Gerilmesi B 160 için						2,400 Kg/cm ²			1,400 Kg/cm ²		
Emniyet Gerilmesi B 225 için						2,800 Kg/cm ²			1,400 Kg/cm ²		

TS-4459'a göre üretilen Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'te belirtilen niteliklere sahip beton çelik hasırları kullanılmıştır.

Çizelge 3.4. TS-4559'e göre nokta kaynaklı hasır çeliklerin kenetlenme boyları

Donatı yüzeyi	ϕ (mm)	Konum I		Konum II	
		n	l_b (mm)	n	l_b (mm)
Düz	<8,5	3	500	3	400
	$\geq 8,5$	4	600	4	500
Nervürlü	<8,5	3	400	3	350
	$\geq 8,5$	3	450	3	400
n: Bindirilen göz sayısı					

Deney numunesinde; Hatıl yüksekliği 200 mm ve döşeme kalınlığı 100 mm olarak belirlenmiştir. Döşeme betonu C16 kullanılmıştır. Döşemede $\phi 8$ 'lik, hatılarda $\phi 14$ 'lik donatı kullanılmıştır. Hatılarda kullanılan $\phi 8$ 'lik etriyeler 150 mm ara ile yerleştirilmiştir. TS-708'e göre döşemede kullanılan nervürlü çeliklerin özellikleri Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. TS-708'e göre Döşemede kullanılan nervürlü çeliklerin özellikleri

TS 708 STANDART SINIR DEĞERLERİ				
Akma (N/mm ²) Min	Çekme (N/mm ²) Min	Kopma Uzaması (%) Min	Anma Kütlesi (Kg/m)	
			(Min)	(Max)
420	500	12	0,371	0,41
420	500	12	0,579	0,641

3.1.3. Birleşimde kullanılan çelik levha ve çelik bağlantı çubuklarının özellikleri

Deneyde perde duvar-hatıl bağlantısı için 6 tane Ø22'lik her iki tarafı da vidalı çelik çubuk kullanılmıştır (Çizelge 3.6). Ayrıca perde-perde birleşim detayında ise 10x100x600 mm boyutlarında çelik levha kullanılmıştır (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.6. Perde ve döşemede kullanılan donatıların özellikleri

DONATI ÇEKME DENEYİ DEĞERLERİ							
NO	Anma Çapı (mm)	Çap (mm)	Kütle (Kg/m)	Akma (N/mm ²)	Çekme N/mm ²	Çekme / Akma Rm/Re	Kopma Uzaması %
1	Ø8	8,1	0,400	548	764	1,39	19
2		8,1	0,401	533	766	1,44	20
1	Ø14	14	1,203	492	623	1,27	19
2		14	1,210	496	627	1,26	20
Bağlantı çubuğu dayanım değerleri							
1	Ø22	22		456,91	702,95	1,54	19,65
2		22		460,82	699,04	1,52	19,7
3		22		444,49	691,51	1,56	19,55

Çizelge 3.7. Deneyde kullanılan levhanın özellikleri

Çelik Kalitesi	Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	Akma Mukavemeti (MPa)	Uzama
		Et Kalınlığı (10mm)	ϵ_u (%)
St.37	393	242	28
	425	238	26
	412	249	30

3.2. Metot

Seçilecek bir yığma yapının planı üzerinde, mevcut deprem yönetmeliklerine göre oluşabilecek deprem yükünü tasarlayıp, o yüke göre sistemin tümüne (temelden en üst döşeme hizasına kadar) dışarıda prefabrike olarak üretilmiş perde duvar ile dıştan güçlendirilmesi yapılacaktır. Bu yöntemde dıştan perde duvarı yığma yapıya katlar arasındaki taşıyıcı duvar üzerine gelen döşeme hatılarına, subasman hatılına ve temelde de temel sömeline blonlarla ankarlamak suretiyle tesbiti düşünülmüştür. Prefabrike olarak üretilmesi düşünülen perde duvarların birbirlerine olan bağlantılarının da sistemin zayıf noktasını oluşturabileceğini düşünüldüğünden, perde duvarın perde duvarla birleşim yeri performansı da ölçülecektir.

Yığma yapılarda dıştan perde duvar ile güçlendirilmesinde sistem deneyi yapabilmek için mevcut laboratuvar şartlarının yetersiz olmasından dolayı, planlanan sistem güçlendirilmesinde, muhtemel zayıf noktalarının (yani birleşim yerlerinin) deney düzeneği tasarlanmış tek tek deneylerini yapılarak performansları ölçülmüştür.

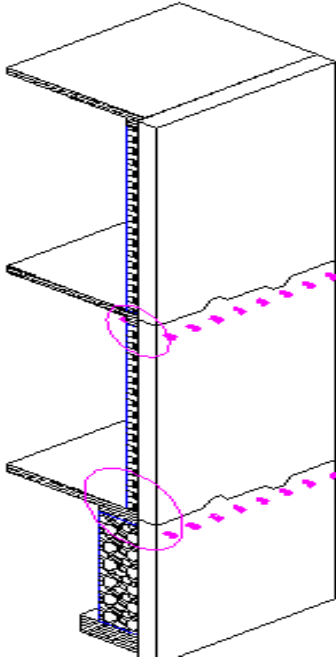
Yapılması düşünülen deneysel çalışmada 2 birleşim yerinin performansları araştırılmıştır.

Bunlar;

- Perde duvar ile katlar arasındaki döşeme hatlı betonunun birleşimi. Bunun için perde duvar Ø22 ‘lık 6 adet bağlantı çubukları ile hatla bağlanmış ve kesme kuvvetine karşı dayanımı ölçülmüştür. (1. Deney)
- Prefabrike yapılp yerinde monte edilmesi düşünülen perde duvarın kat döşemesi hizasında diğer yukarı devam edecek perde duvar ile birleşimi için perde duvar bitim yerlerine ST37 çeliğinden T profilleri bir lama vasıtasıyla birbirine kaynaklanmış ve kesme kuvvetine karşı performansı ölçülmüştür. (2. Deney)

3.2.1. Perde-döşeme birleşim deneyi

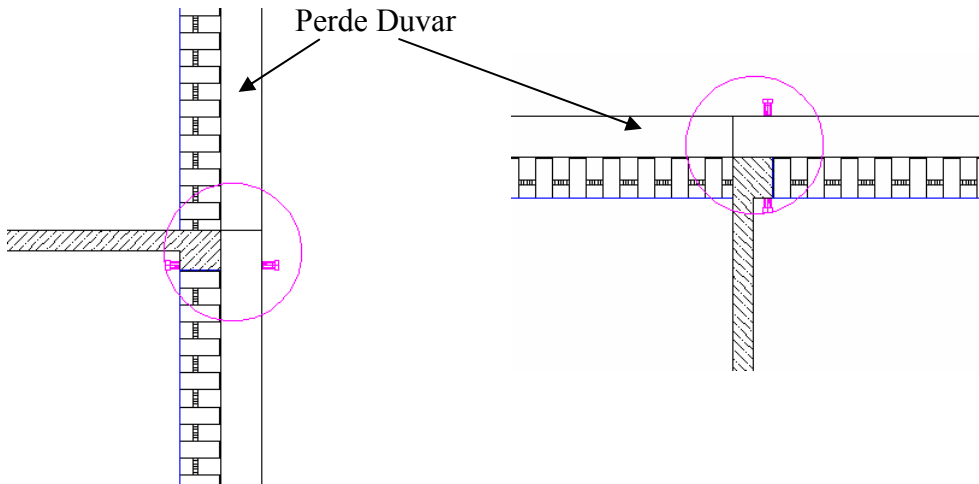
Perde duvar ile katlar arasındaki döşeme hatlı betonunun birleşimi Ø22‘lık 6 adet blonla sağlanıp kesme kuvvetine karşı dayanımı ölçülmüştür. Perde-döşeme hatlı birleşim şekli Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



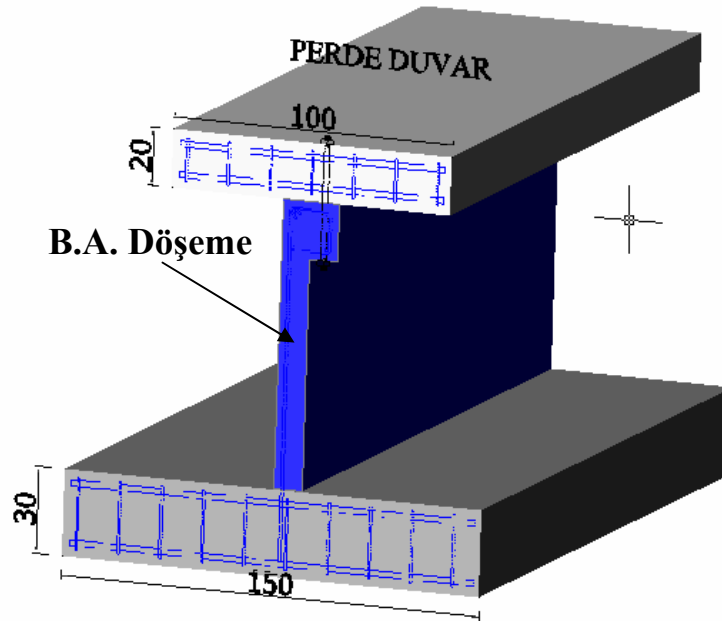
Şekil 3.1. Perde-döşeme birleşimi

Deney elemanı boyutları ve yükleme düzeneği

Döşeme ve hatılda C16 Betonu, Döşemede $\varnothing 8$ 'lik hasır donatı, Perde duvarda C25 betonu, Perde duvarda $\varnothing 8$ 'lik etriye, $\varnothing 6$ çapında 150x150 mm açıklıkta hasır, $\varnothing 14$ 'lük boyuna donatı ve 6 adet $\varnothing 22$ bağlantı çubuğu kullanılmıştır. Perde duvarın döşeme hatılına bağlantı detayı Şekil 3.2 ve 3.3'te gösterilmiştir.

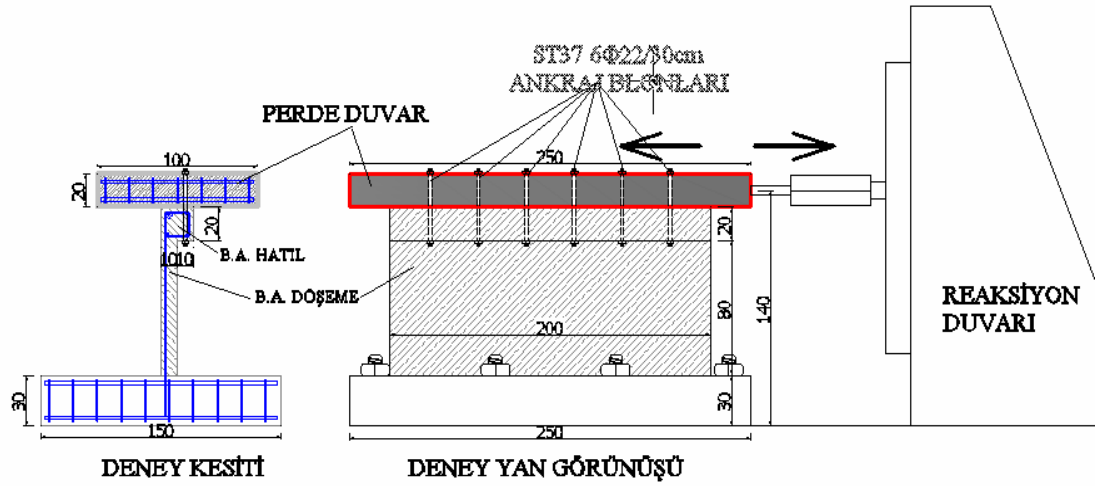


Şekil 3.2. Perde duvarın döşeme hatılına bağlanması

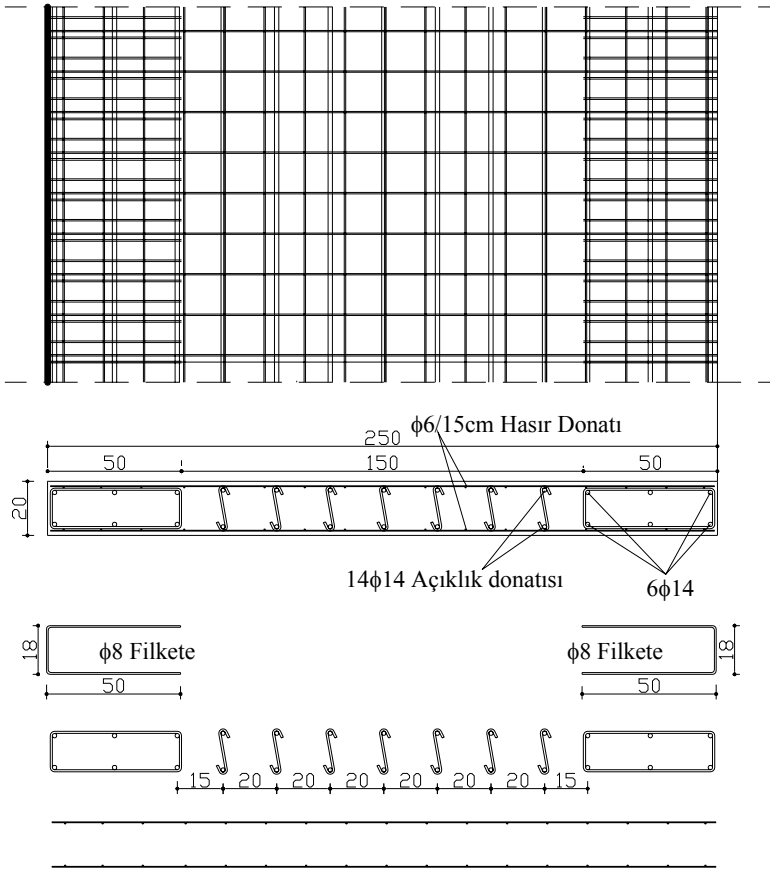


Şekil 3.3. Döşeme-perde birleşim yeri modeli

Döşeme-perde birleşimi deney düzeneği Şekil 3.4'te, Perde duvar donatı detayı Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Döşeme-perde birleşimi deney düzeneği



Şekil 3.5. Perde-döşeme birleşim deneyi perde donatı detayı

Perde duvarın kesmeye karşı dayanımı

Eşitlik 3.1 ve 3.2 yardımı ile kesme kuvveti (V_r) hesaplanmıştır.

$$V_r = A_{ch} \times (0,65x f_{ctd} + \rho_{sh} \times f_{ywd}) \quad (3.1)$$

$$\rho_{sh} = \frac{2A_{\phi h}}{b_w \times s_h} \quad (3.2)$$

$$\rho_{sh} = \frac{2 \times (34 \times \frac{3,14 \times 6^2}{4})}{200 \times 2500} = 0,0038$$

$$V_r = (2500 \times 200) \times (0,65 \times 1,42 + 0,0038 \times 500)$$

$$V_r = 1411500 N = 1411,5 kN$$

Yukarıdaki eşitliklerde; V_r perde kesiti kesme dayanımını, f_{ctd} Betonun tasarım çekme dayanımını, ρ_{sh} perde de yatay gövde donatılarının hacımsal oranını, f_{ywd} enine donatının tasarım akma dayanımını, A_{ch} boşluksuz perdenin en kesit alanını, s_h perde uzunluğunu ve b_w perde genişliğini göstermektedir.

Bağlantı çubuklarının taşıma gücü kapasitesi

Eşitlik 3.3 yardımı ile bağlantı çubuklarının çekme kuvveti ($F_{(6\phi22)}$) hesaplanmıştır.

$$F_{(6\phi22)} = A_s \times f_{yd} \quad (3.3)$$

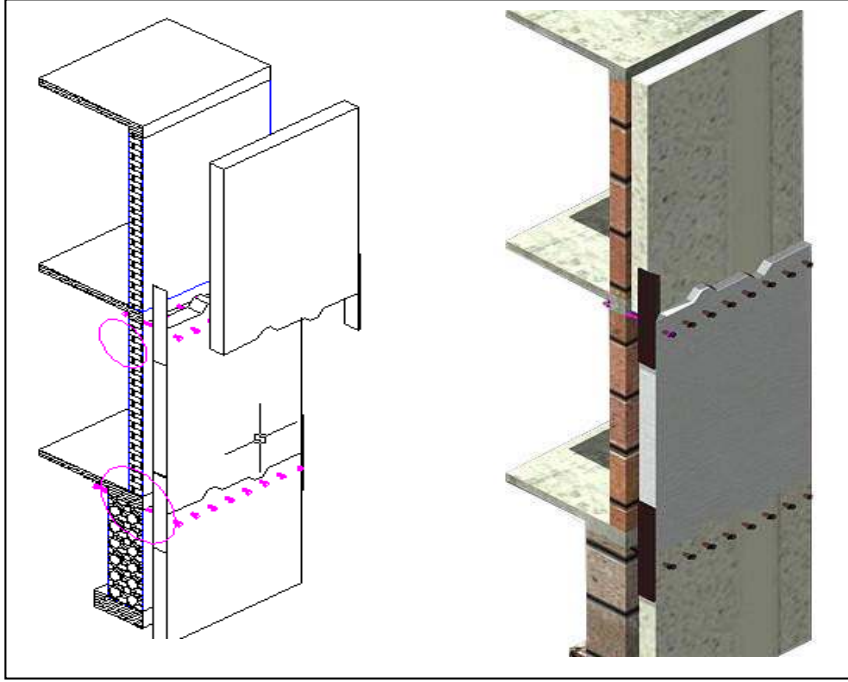
$$F_{(6\phi22)} = 6 \times \frac{3,14 \times 22^2}{4} \times 365$$

$$F_{(6\phi22)} = 832068,6N = 832,068kN$$

Yukarıdaki eşitlikte F donatının çekme dayanımını, A_s donatıkesit alanını, f_{yd} donatı akma dayanımını göstermektedir.

3.2.2. Perde-perde birleşim deneyi

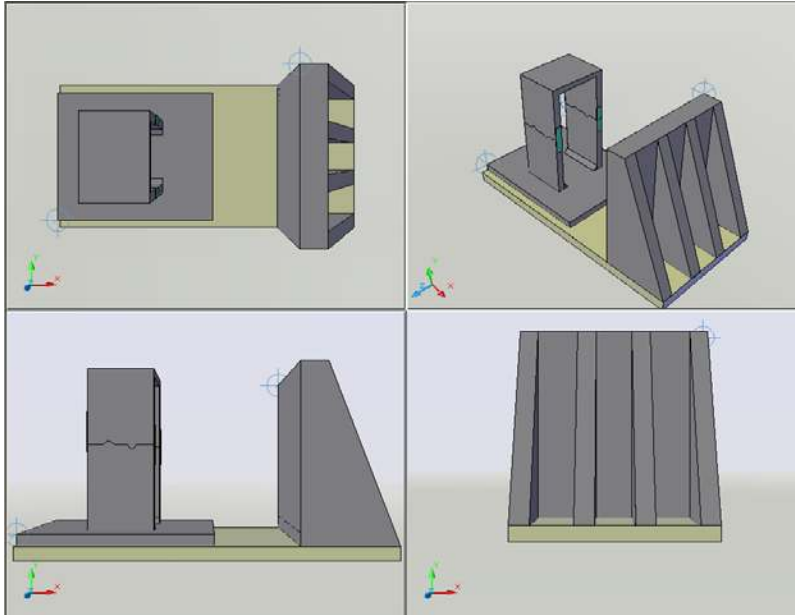
Bir yığma yapıya uygulanacak bu tip güçlendirme yöntemine göre dıştan eklenecek perde duvarın kolay monte edilebilmesi için kat yüksekliğinde prefabrik plaka şeklinde üretilip yerinde birleştirilmesi planlanmıştır (Şekil 3.6). Bu güçlendirme yöntemine göre sistemde oluşabilecek ikinci zayıf noktanın perde-perde birleşimin detayının olduğu düşünülmüştü. Birleşimin çözümü için laboratuvar şartlarını da göz önüne alarak aşağıda resim ve şekillerle gösterilen model geliştirilmiştir (Şekil 3.8). Perde duvarın donatı detayı Şekil 3.9'da, birleşim yerlerinde kullanılan çelik plaka detayını da Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



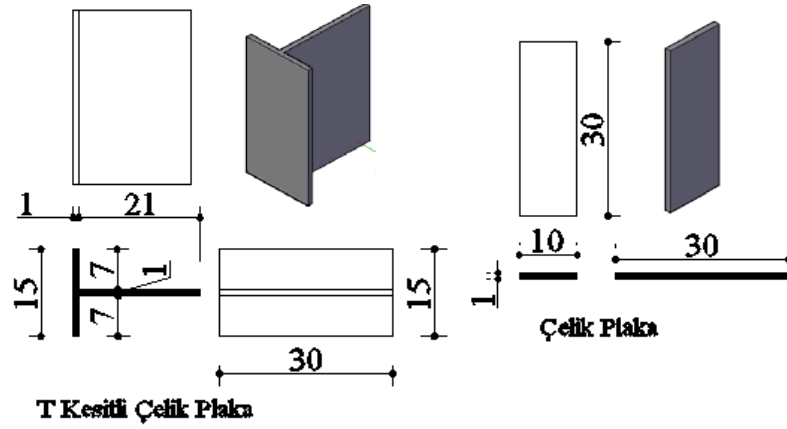
Şekil 3.6. Yapıda perde-perde birleşimi gösterimi

Deney elemanı boyutları ve yükleme düzeneği

Aşağıda perde-perde birleşim deney numunesinin ölçüleri ve 3 boyutlu gösterimi verilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Perde-perde birleşim deney numunesinin 3 boyutlu gösterimi



Şekil 3.10. Perde-perde birleşiminde kullanılan çelik plakaların detayı

Perde duvarın kesmeye karşı dayanımı

Eşitlik 3.1 ve 3.2 yardımı ile kesme kuvveti (V_r) hesaplanmıştır.

$$V_r = A_{ch} \times (0,65x f_{ctd} + \rho_{sh} \times f_{ywd})$$

$$\rho_{sh} = \frac{2A_{\phi h}}{b_w \times s_h} \quad \rho_{sh} = \frac{2 \times (14 \times \frac{3,14 \times 6^2}{4})}{1050 \times 150} = 0,005$$

$$V_r = (1050 \times 150) \times (0,65 \times 1,42 + 0,005 \times 500)$$

$$V_r = 539122,5N = 539,12kN$$

Çelik plakanın taşıma gücü kapasitesi

Eşitlik 3.3 yardımı ile birleşimde kullanılan çelik plakanın çekme kuvveti ($F_{(plaka)}$) hesaplanmıştır.

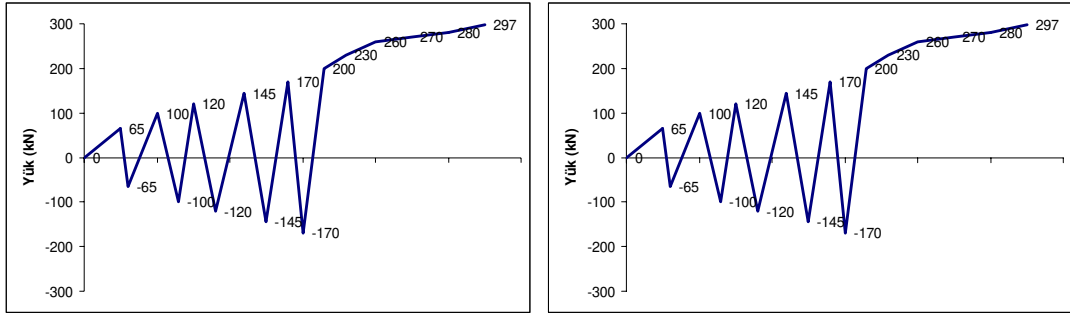
$$F_{(plaka)} = A_s \times f_{yd}$$

$$F_{(plaka)} = (10 \times 100) \times 235$$

$$F_{(plaka)} = 235000N = 235kN$$

3.2.3. Yükün tanımı

Yük lmeleri yk hcreci, yer değiştirmeler ise deplasman ölçerler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yükleme sonucunda yk hcreci ve LVDT ler yardımıyla alınan değerler, anında bilgisayara veri toplayıcı sistemi yardımıyla 1sn aralıklarla kaydedilmiştir. Yükleme geçmişi şekil 3.11’de gösterilmiştir.



şekil 3.11. Deneylerde uygulanan yük döngüleri

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde yapılan deneyler anlatılmıştır. Deneyler esnasında davranış ve dayanımında gözlenen değişiklikler bütün ayrıntılarıyla sunulmuştur.

4.1. Perde-döşeme birleşim deney süreci sonuçları

Be deneyde deprem veya herhangi bir doğal afet esnasında yığma yapıda oluşacak yükleri yapıya dışarıdan eklenecek perde duvara taşıtabilmek için; döşeme hizasında yapılacak bağlantılarla perde duvarlara aktarılabileceği düşünülmüş ve deney düzeneği de ona göre tasarlanmıştır. Perde duvar, döşeme altı hatıla 6 adet $\phi 22$ 'lik çelik blonlarla bağlanmış, blonlar hatıla ve perde duvara açılan deliklere epoksi harcı ile yerleştirilerek beton ve çubuklar arası aderans artırılmıştır (Resim 4.1). Yerleştirilen blonlar havalı tabancalarla aynı oranda sıkılmıştır (Resim 4.2).



Resim 4.1. Bağlantı çubuklarının açılan deliklere epoksi ile yerleştirilmesi



Resim 4.2. Birleşimde kullanılan bağlantı çubuklarının havalı tabanca ile sıkıştırılması

4.1.1. Deney düzeneği

Resim 4.3’de görüldüğü gibi tasarlanan deney modelinde düşey yönde yerleştirilen 4 adet deplasman ölçer, perde duvara yatay yönde uygulanacak yinelenen yükler sırasında düşey yönde ötelenme olup olmadığının kontrolünü sağlamak için, önde 2 adet ve arkada 2 adet olmak üzere yatay yönde ötelenmeleri ölçmek için toplam 4 adet dialgage kullanılmıştır. Ayrıca güçlü duvara bağlanan kapasitesi 60 ton olan krika ile çift yönlü yinelenebilir yük uygulanmıştır.

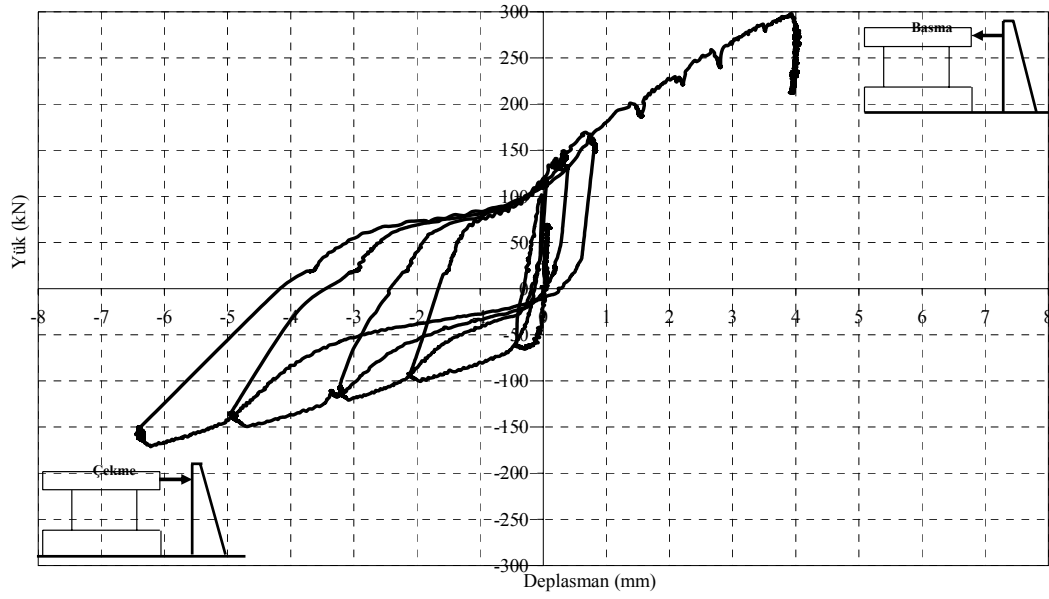


Resim 4.3. Deney numunesi genel görünümü

4.1.2. Ölçümlerin değerlendirilmesi

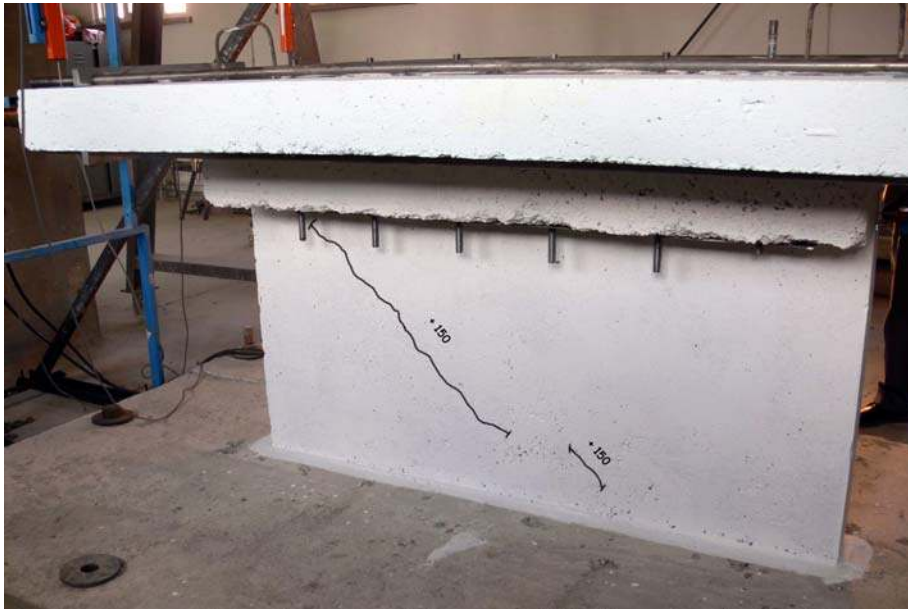
Laboratuar şartlarına uygun olarak modellenen birleşim deneyinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Deney sırasında alınan yük ve deplasman ölçümlerinin değerlendirilmesi yapılmıştır (Şekil 4.1).



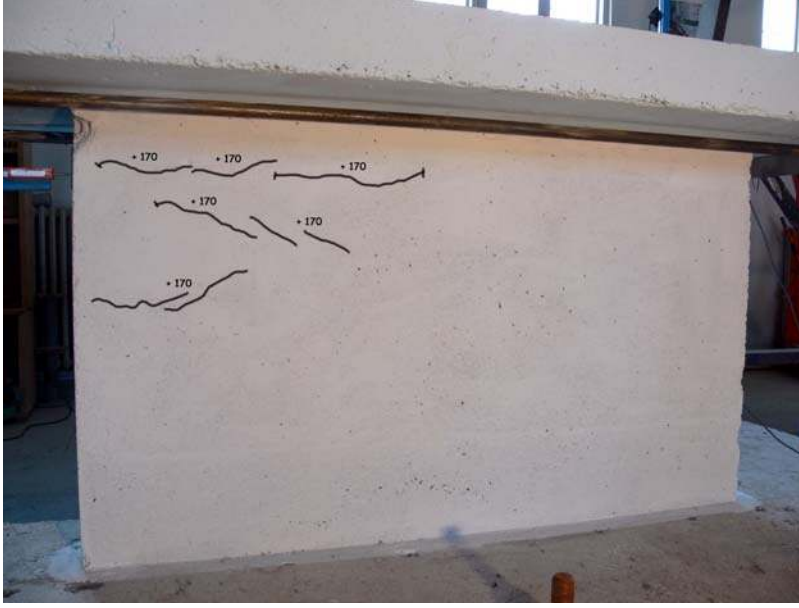
Şekil 4.1. Perde-döşeme birleşimi yük-deplasman grafiği

Yüklemeye 150 kN ulaştığında 0,5 mm'lik deplasman okunmuş ve ilk çatlaklar görülmüştür (Resim 4.4).



Resim 4.4. 150kN'da oluşan çatlaklar

Yüklemeye 170 kN ulaştığında 0,84 mm'lik deplasman okunmuş ve oluşan çatlaklar Resim 4.5'tre gösterilmiştir.



Resim 4.5. 170kN'da oluşan çatlaklar

Yükleme 300 kN ulaştığında deplasman yaklaşık 4 mm'ye ulaşmış, hatılla döşemenin birleşimyeri boyunca çatlak oluşmuş, Şekil 4.1'deki grafikte görüldüğü üzere deney elemanında yük düşüşü olmuştur (Resim 4.6) ve deney durdurulmuştur.



Resim 4.6. 300kN'da oluşan çatlaklar

Deney sonrası hatıl betonu ve bağlantı çubuklarının görünümü Resim 4.7 ve Resim 4.8’de verilmiştir.



Resim 4.7. Deney sonrası bağlantı çubuklarının görünümü



Resim 4.8 Deney sonrası hatıl betonunun birleşim yeri görünümü

- Deney 200 kN’luk yüke kadar hem basma hemde çekme yönünde çift yönlü uygulanmıştır.
- 200 kN’dan sonra döşemede çatlakların arttığı görülmüş ancak hala birleşim yerlerinde herhangi bir çatlağa rastlanmamıştır.
- 200 kN’dan sonra çekme yönünde döşemede kalıcı deformasyonlar olduğundan yük almamıştır. Bu yüzden basma yönünde yüklemeye devam edilmiş ve 297 kN’a kadar kademe kademe artırılarak yükleme yapılmıştır.

- Yük 297 kN'a geldiğinde numune artık yük almamış ve daha önce oluşan kılcal çatlaklar büyümeye başlamıştır
- Uygulanan 297 kN yükte bile oluşan maksimum deplasman 3,94 mm dir. Hatıl betonu ile döşeme birleşim yeri boyunca çatlak oluşmuştur.
- Yapılan deneyde birleşim yöntemi başarılı olmuş blonlarda herhangi bir sıyrılma, akma ve perde duvar betonunda ezilme olmamıştır.

4.2. Perde-perde birleşim deney süreci sonuçları

Bu deneyde bir önceki deneyde uygulanacak dıştan perde duvar uygulamasının monolitik tek bir parçada değil kat hizalarından paneller halinde üretilerek yapıya yerinde monte edilmesi düşünülmüştür. Deney modelinde iki perde duvarın birbirlerine 10x100x300 mm boyutlarındaki çelik levhalarla; daha önce perde duvarlar üretilirken uç kısımlarına yerleştirilen ve boyuna donatılara kaynaklanan T şeklindeki levhalara kaynak ile birbirine birleştirilmiştir. Bu aşamada perde-perde birleşim noktası çözümü amacıyla Resim 4.4'te gösterilen model geliştirilmiştir.



Resim 4.9. Birleşimde kullanılan levhaların gösterimi

4.2.1. Deney düzeneği

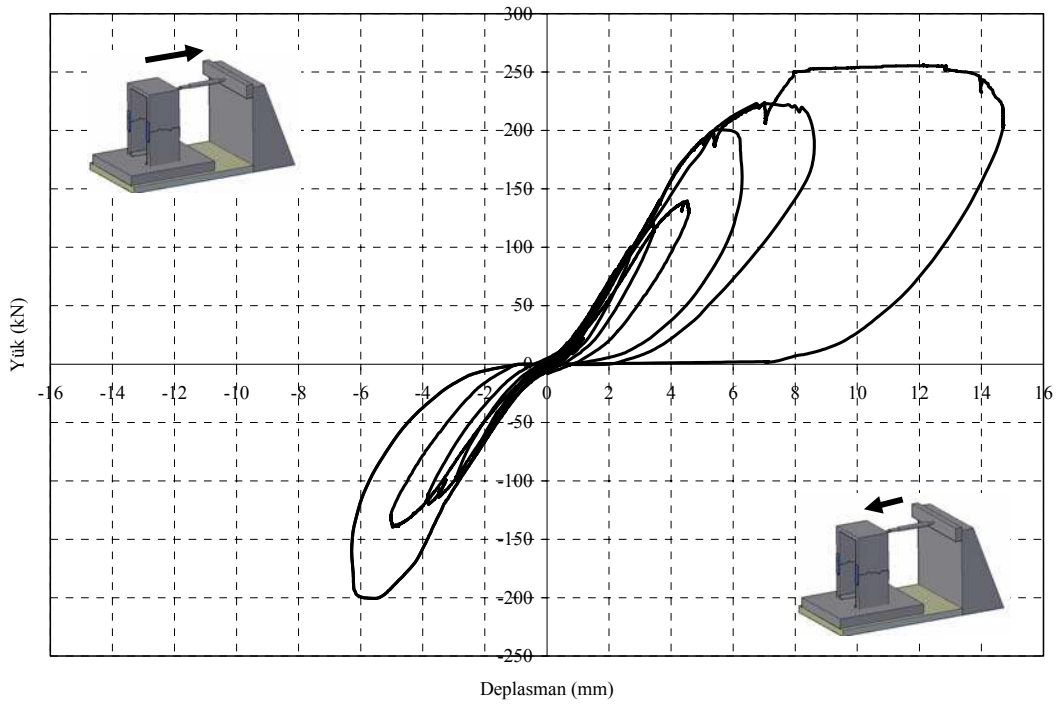
Resim 4.5'te görüldüğü gibi tasarlanan en üstte perde duvarları birbirine bağlayan döşemenin orta kısmına 1 adet, perde duvarın üst kısmına 2 adet, perde birleşim yerinin üst ve alt kısımlarına 2 şer adet, perde duvarın en alt kısmına 2 adet, üst perde duvarın orta kısmına 2 adet yerleştirilen 4 adet dialgage perde duvara dik yönde uygulanacak yinelenen yükler sırasında düşey yöndeki ötelenme olup olmadığının kontrolünü sağlamak için, önde 2 adet ve arkada 2 adet olmak üzere yatay yönde ötelenmeleri ölçmek için 4 adet dialgage kullanılmıştır. Ayrıca güçlü duvara bağlanan kapasitesi 60 ton olan kriko ile çift yönlü yinelenabilir yük uygulanmıştır.



Resim 4.10. Deney düzeneği

4.2.2. Ölçümlerin değerlendirilmesi

Laboratuar şartlarına uygun olarak modellenen birleşim deneyinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Perde-perde birleşimi yük-deplasman grafiği Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



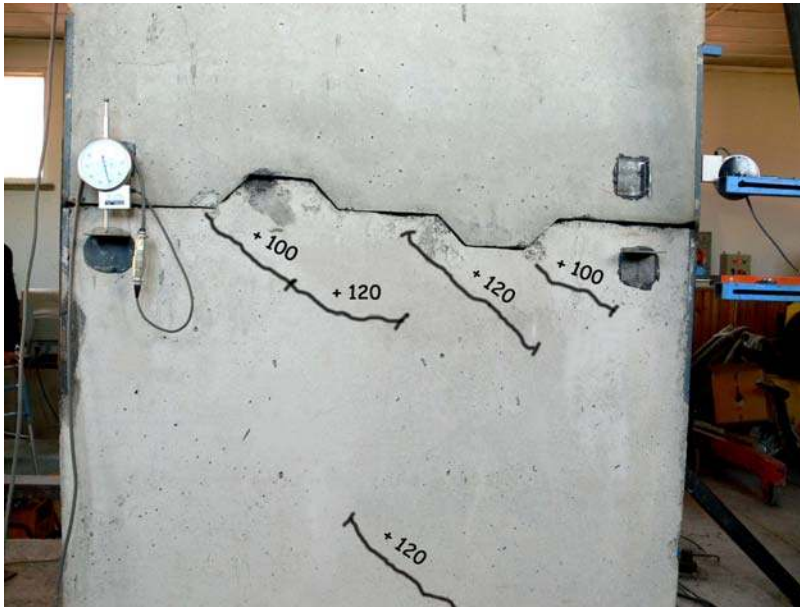
Şekil 4.2. Perde-döşeme birleşimi yük-deplasman grafiği

80 kN’a kadar yükleme 20 kN artırılarak uygulanmış ve perde duvar da hiçbir hasar gözlenmemiştir. 100 kN’lık itme uygulandığında, yaklaşık 2,85 mm’lik ötelenme ile birlikte sol yan perdenin duvarın alt kısmında ve sağ yan perdenin üst kısmında ilk kılcal çatlak gözlemlenmiştir. 100 kN çekme uygulandığında ise 2,80 mm’lik ötelenme ile birlikte perde duvarların iç kısımlarında da kılcal çatlaklar gözlemlenmiştir (Resim 4.11).



Resim 4.11. 100kN yük altında oluşan çatlaklar

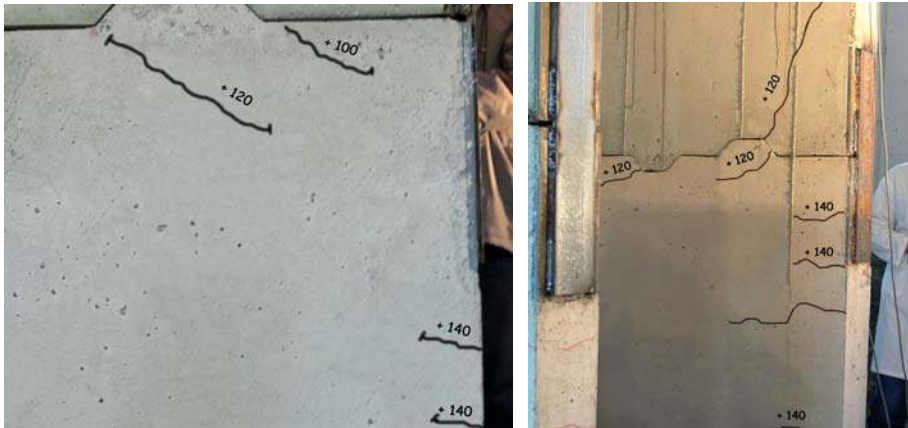
± 120 kN'luk yük uygulandığında çatlak sayısı artmış, her iki yönde de yaklaşık 3,80 mm'lik ötelenme meydana gelmiş ve her iki tarafta yaklaşık 7 tane çatlak meydana gelmiştir (Resim 4.12).



Resim 4.12. 120 kN yük altında oluşan çatlaklar

140 kN'luk itme uygulandığında yaklaşık 4,53 mm'lik ötelenme ile birlikte sol alt duvarda çatlaklar oluşmuş ve sol duvarın iç kısmında kılcal çatlak sayısı artmıştır. 140 kN'luk çekme uygulandığında ise 3,66 mm'lik ötelenme ile birlikte perde

duvarın birleşim yerleri yakınlarında, uç kısımlarında yataya paralel kılcal çatlaklar oluşmuştur (Resim 4.13).



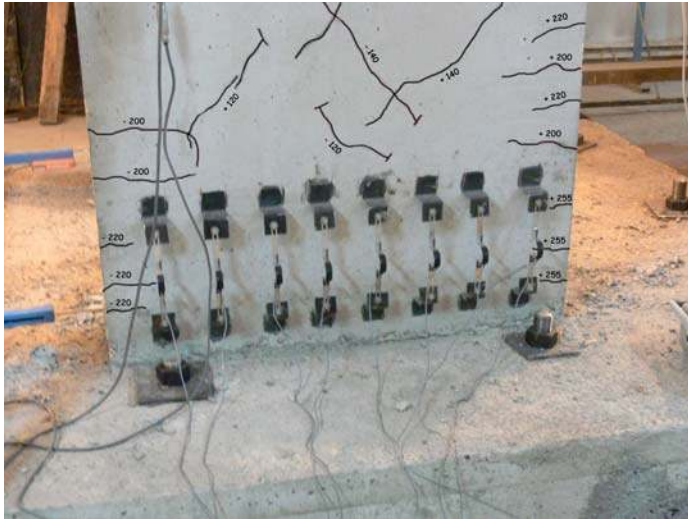
Resim 4.13. 140 kN yük altında oluşan çatlaklar

200 kN’lık itme ve çekme uygulandığında yaklaşık 6,20 mm’lik ötelenme ile birlikte, her iki duvarın ön ve arka kısımlarında yataya paralel kısa kısa oluşan eğilme çatlaklarının sayısı artmıştır. Ayrıca perde ekyerinden aşağıya doğru yaklaşık 45° ’lik bir açı ile her iki yönde kılcal çatlaklar gözlenmiştir (Resim 4.14).



Resim 4.14. 200kN yük altında oluşan çatlaklar

250 kN’lık itme uygulandığında, ötelenme 8,20 mm olarak gözlemlenmiş ve oluşan eğilme çatlaklarının boyları artmıştır. Yükleme itme yönünde devam edildiğinde, yük 255 kN ulaştığında ötelenme yaklaşık 12,99 mm olmuş, perde duvarda kullanılan boyuna donatılar akma durumuna ulaşmıştır (Resim 4.15). Sistem 255 kN daha fazla yük almamış, buna karşılık ötelenme iyice artmış, deplasman 14,70 mm’ye ulaştığında yük 245 kN’a düşmüştür. 255 kN yükleme sırasındaki birleşim yerindeki çelik levhanın görüntüsü Resim 4.16’da gösterilmiştir.



Resim 4.15. 255kN yük altında oluşan çatlaklar



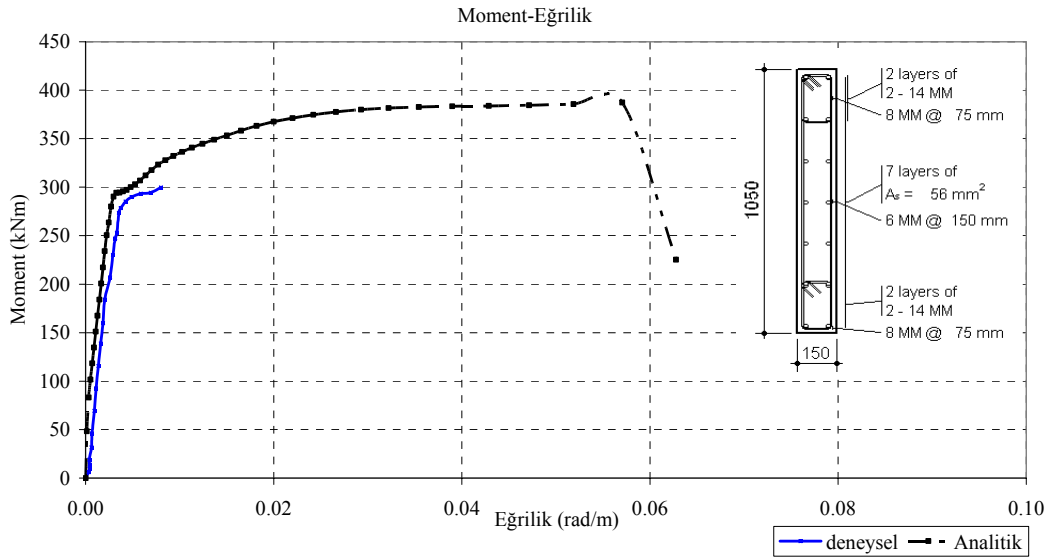
Resim 4.16. 255 kN yük altındaki çelik plakanın görüntüsü

Perde duvarın moment-eğrilik grafiği

Resim 4.6'da görülen çatlak ölçerlerle, perde duvarın deneysel moment eğrilik verileri elde edilmiştir. Teorik olarak da Response 2000 bilgisayar programında moment eğrilik değerleri hesaplanmıştır. Her iki sonuçta Şekil 4.3'te görüldüğü gibi karşılaştırılmıştır.



Resim 4.17. Çatlak ölçer düzeneği



Şekil 4.3. Perde duvar moment-eğrilik grafiği

Deneysel olarak bulunan moment eğrilik sonuçları ile Response 2000 adlı bilgisayar programıyla hesaplanan moment eğrilik sonuçları Şekil 4. 3'teki grafikte karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları teorik hesaplamaya çok az fark olduğu bulunmuştur. Deneysel çalışmada akma durumuna kadar ulaşılmış kopma durumuna kadar gidilmemiştir.

4.3. Örnek bir yığma yapı deprem hesabı (Örnek uygulama)

Bu bölümde kat planı Resim 4.18'de verilen yığma binanın deprem hesabı örnek olarak verilmiştir [37].

3 katlı mevcut yığma binanın tahkiki

Deprem bölgesi	: 1
Kat sayısı	: Zemin +2
Kat yüksekliği	: 3,00 m
Döşeme	: 12 cm kalınlığında betonarme
Zemin kat duvarları	: Harman tuğlası ($\gamma = 1,6 \text{ t/m}^3$)
Birinci kat duvarları	: Blok tuğla ($\gamma = 1,3 \text{ t/m}^3$)
İkinci kat duvarları	: Blok tuğla ($\gamma = 1,3 \text{ t/m}^3$)
Düşey hatıl	: Yok
Yatay hatıl	: Döşeme altı betonarme hatıl ($h = 20 \text{ cm}$) Taşıyıcı duvarlar üzerinde ($t = 20 \text{ veya } 30 \text{ cm}$)
Harç türü	: A (150 kg/cm^2)

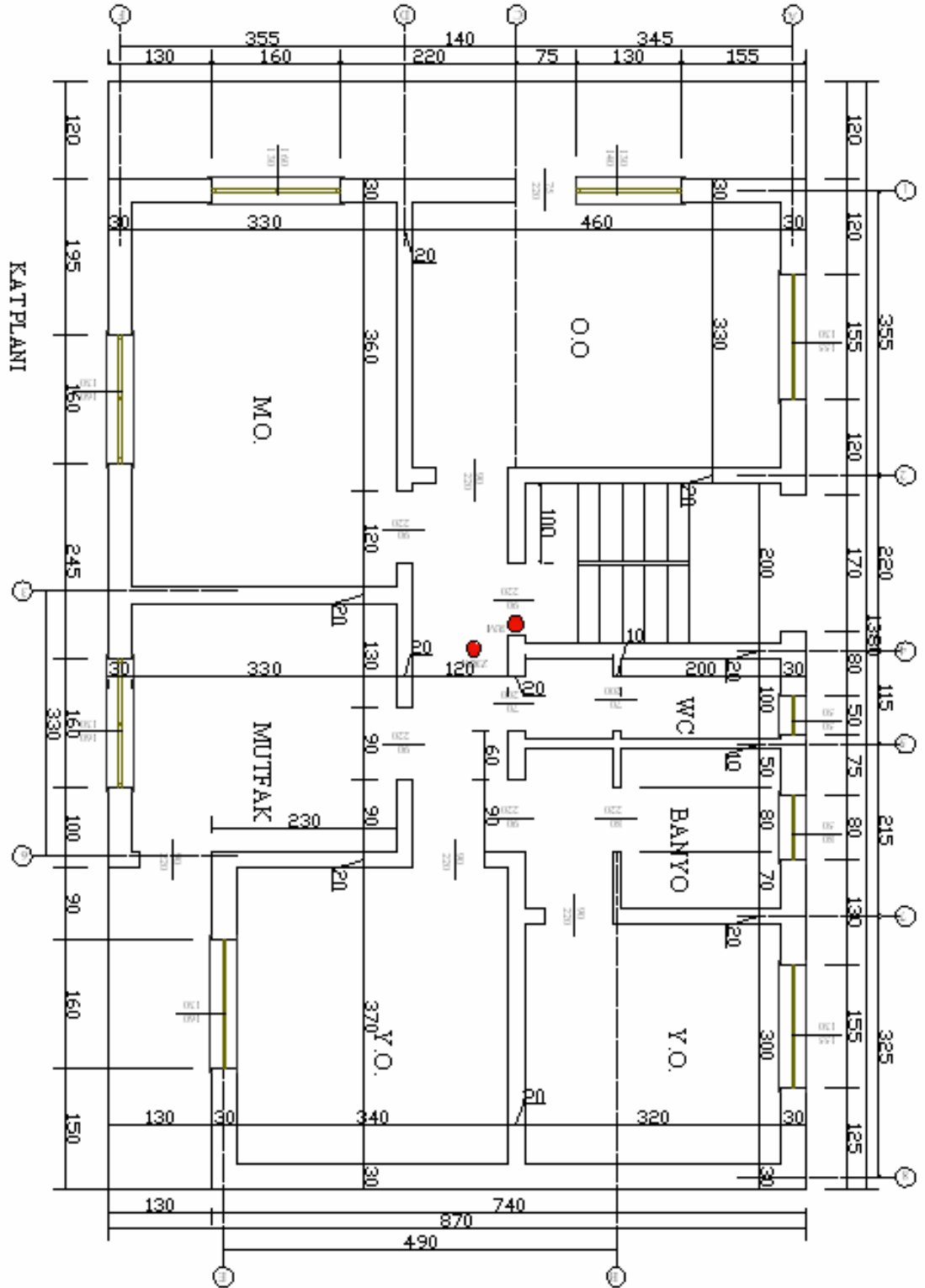
Resim 4.4'de kat planı verilen 3 katlı mevcut yığma binanın düşey ve yatay (eşdeğer deprem yükü) yükler altında stabilitesinin kontrolü yapılmıştır.

- Birinci derece deprem bölgesinde, mesnetlenmemiş duvar uzunluğu $\leq 5,5 \text{ m}$ olmalı şartına uyulmuştur.
- Her doğrultuda yatay yük taşıyan duvarların net uzunluğunun (boşluklar düşülmüş) brüt kat alanına (konsol döşemeler hariç) oranı $\geq 0,25 \times I \text{ m/m}^2$ olmalı şartına uyulmuştur. ($I = 1$)

$$L_x / A = 26,75 \text{ m} / 104,42 \text{ m}^2 = 0,256 \text{ m/m}^2$$

$$L_y / A = 26,55\text{m} / 104,42 \text{ m}^2 = 0,254\text{m/m}^2$$

- Bina köşesinde en yakın pencere ve kapı boşluğu ile bina köşesi arasında bırakılacak dolu duvar parçasının plandaki uzunluğu birinci derece deprem bölgelerinde $\leq 1\text{m}$ olmalı şartı, bir köşe haricinde sağlanmış. Sağlanmayan köşe mutfaktan balkona açılan kapı.
- Bina köşeleri dışında, pencere ve kapı boşlukları arasında kalan dolu duvar parçalarının plandaki uzunluğu, birinci dereceden deprem bölgesinde $\geq 1\text{m}$ olmalıdır şartına, dış duvarlarda uyulmuş ancak koridordaki duvarlarda uyulmamıştır.
- Bina köşeleri dışında, birbirine dik olarak kesen duvarların arakesitinde en yakın pencere veya kapı boşluğu ile duvarların arakesiti arasında bırakılacak dolu duvar parçasının plandaki uzunluğu birinci dereceden deprem bölgelerinde $\geq 0,5\text{m}$ olmalıdır şartına uyulmamış, odaların kapısı her kenarda açılmıştır.
- Kapı ve pencere boşluklarının her birinin plandaki uzunluğu $\leq 3\text{m}$ olmalıdır şartına uyulmuştur.
- Herhangi bir duvarın mesnetlenmemiş uzunluğu boyunca kapı ve pencere boşluklarının plandaki uzunluklarının toplamı $\leq$ mesnetlenmemiş duvar uzunluğunun %40' ı olmalı şartına uyulmuştur.



Şekil 4.4. Örnek yığma yapı kat planı

Rijitlik ve kütle merkezinin hesabı

Rijitlik ve kütlemerkezi hesabı Eşitlik 4.1 ve 4.2’de denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçları da Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Her iki ucundan bağlı duvarın bir ucunun rölatif yer değıştirmesi;

$$\Delta = 1/t \times ((h_b / L)^3 + 3 \times (h_b / L)) \quad (4.1)$$

$$\text{Rölatif Rijitlik; } R = 1/\Delta \quad (4.2)$$

Çizelge 4.1. Rijitlik ve kütle merkezi

Duvar No	Yönü	t (m)	L (m)	A _d (m ²)	h _b	h _b / L	Δ	R	x (m)	y (m)	Ad*x	Ad*y	R*x	R*y
1a	x	0,30	1,40	0,42	1,40	1,00	13,33	0,08	0,70	0,00	0,29	0,00		0,00
1b	x	0,30	2,20	0,66	1,30	0,59	6,60	0,15	4,55	0,00	3,00	0,00		0,00
1c	x	0,30	1,15	0,35	1,30	1,13	16,11	0,06	7,83	0,00	2,70	0,00		0,00
2a	x	0,20	3,45	0,69	2,80	0,81	14,86	0,07	1,73	3,55	1,19	2,45		0,24
3a	x	0,20	3,55	0,71	2,80	0,79	14,29	0,07	6,63	5,05	4,70	3,59		0,35
4a	x	0,20	3,45	0,69	2,80	0,81	14,86	0,07	1,73	5,75	1,19	3,97		0,39
6a	x	0,20	2,25	0,45	2,20	0,98	19,35	0,05	5,98	8,35	2,69	3,76		0,43
7a	x	0,20	2,20	0,44	2,20	1,00	20,00	0,05	1,10	9,05	0,48	3,98		0,45
8a	x	0,30	3,45	1,04	2,80	0,81	9,91	0,10	1,73	12,30	1,79	12,73		1,24
8b	x	0,30	3,65	1,10	2,80	0,77	9,17	0,11	5,28	12,30	5,78	13,47		1,34
A1	y	0,30	1,00	0,30	1,30	1,30	20,32	0,05	0,00	0,50	0,00	0,15	0,00	
A2	y	0,30	1,30	0,39	1,30	1,00	13,33	0,08	0,00	3,20	0,00	1,25	0,00	
A3	y	0,30	0,80	0,24	0,50	0,63	7,06	0,14	0,00	5,95	0,00	1,43	0,00	
A4	y	0,30	0,75	0,23	0,50	0,67	7,66	0,13	0,00	7,23	0,00	1,63	0,00	
A5	y	0,30	1,30	0,39	0,50	0,39	4,04	0,25	0,00	9,05	0,00	3,53	0,00	
A6	y	0,30	1,05	0,32	1,30	1,24	18,71	0,05	0,00	11,78	0,00	3,71	0,00	
C1	y	0,20	1,10	0,22	2,20	2,00	70,00	0,01	3,45	4,10	0,76	0,90	0,05	
C2	y	0,20	0,45	0,09	2,00	4,44	505,49	0,00	3,45	5,78	0,31	0,52	0,01	
C3	y	0,20	0,60	0,12	2,00	3,33	235,13	0,00	3,45	7,00	0,41	0,84	0,01	
C4	y	0,20	4,05	0,81	2,20	0,54	8,95	0,11	3,45	10,28	2,80	8,32	0,39	
D1	y	0,20	3,75	0,75	2,20	0,59	9,82	0,10	4,85	1,88	3,64	1,41	0,50	
D2	y	0,20	0,40	0,08	2,20	5,50	914,38	0,00	4,85	4,85	0,39	0,39	0,01	
D3	y	0,20	1,40	0,28	2,20	1,57	42,95	0,02	4,85	5,75	1,36	1,61	0,11	
D4	y	0,20	1,00	0,20	2,20	2,20	86,24	0,01	4,85	7,85	0,97	1,57	0,06	
E1	y	0,30	1,00	0,30	1,30	1,30	20,32	0,05	7,10	8,85	2,13	2,66	0,35	
E2	y	0,30	1,35	0,41	1,30	0,96	12,61	0,08	7,10	11,63	2,88	4,71	0,56	
F1	y	0,30	1,80	0,54	1,30	0,72	8,48	0,12	8,40	0,90	4,54	0,49	0,99	
F2	y	0,30	2,45	0,74	1,30	0,53	5,81	0,17	8,40	4,63	6,17	3,40	1,45	
F3	y	0,30	1,00	0,30	1,30	1,30	20,32	0,05	8,40	7,95	2,52	2,39	0,41	

Top (Lx)= 26,75 13,23

Top (Ly)= 26,55

Top(Rx)= 0,81

Top(Ry)= 1,44

52,68 84,83 4,88 4,45

Taşıyıcı duvarların rijitlik merkezi

Her iki yöndeki rijitlik merkezi Eşitlik 4.3 ve 4.4 ile hesaplanmıştır.

$$X_0 = \frac{R \times x}{\Sigma(R_y)} = 3,402m \quad (4.3)$$

$$Y_0 = \frac{R \times y}{\Sigma(R_x)} = 5,524m \quad (4.4)$$

Taşıyıcı duvarların kütle merkezi

Her iki yöndeki duvarların kütle merkezi Eşitlik 4.5 ve 4.6 ile hesaplanmıştır.

$$X_{md} = \frac{A_d \times x}{\Sigma(A_d)} = 3,984m \quad (4.5)$$

$$Y_{md} = \frac{A_d \times y}{\Sigma(A_d)} = 6,414m \quad (4.6)$$

Döşemenin kütle merkezi

Her iki yöndeki döşemenin kütle merkezi Eşitlik 4.7 ve 4.8 ile hesaplanmıştır.

$$X_{mt} = (8,7 / 2) - 0,15 = 4,200m \quad (4.7)$$

$$Y_{mt} = (13,8 / 2) - (1,2 + 0,15) = 5,550m \quad (4.8)$$

Zemin kat ve 1. kat tavan döşemeleri

Betonarme döşeme (12 cm)	=	0,300t/m ²
Kaplama + sıva = 0,05 x 2,2 + 0,02 x 2	=	0,150 t/m ²
Hareketli yük (azaltma katsayısı= 0,3)=0,3 x 0,2	=	<u>0,060t/m²</u>
		0,510 t/m ²

2. Kat tavan (çatı) döşemesi

Betonarme döşemesi (12 cm)	=	0,300 t/m ²
Kiremit örtülü oturtma çatı	=	0,125 t/m ²
Kar yükü	=	<u>0,075 t/m²</u>
		0,500 t/m ²

Duvar tipleri

Zemin katta harman tuğlası kullanılmamış (g = 1,6 t/m³)

1. ve 2. katlarda blok tuğla kullanılmış (g = 1,3 t/m³)

Zemin katta ağırlıklı kütle merkezi koordinatları

Duvar yüksekliği = Kat yüksekliği – Döşeme altı hatlı = 3000 – 200 = 2800 mm

Zemin kat taşıyıcı duvarının ağırlığının yarısı direk zemine diğer yarısı zemin kat tavan döşemesine taşındı.

Benzer şekilde 1. kattaki taşıyıcı duvarın ağırlığının yarısı zemin kat döşemesine, diğer yarısı 2. kat döşemesine taşındı.

$$x_{mz} = \frac{(13,225 \times (1,4 \times 1,6 + 1,4 \times 1,3) \times 3,984 + (8,7 \times 13,8 \times 0,51) \times 4,2)}{(13,225 \times (1,4 \times 1,6 + 1,4 \times 1,3) + (8,7 \times 13,8 \times 0,51))} = 4,099m$$

$$y_{mz} = \frac{(13,225 \times (1,4 \times 1,6 + 1,4 \times 1,3) \times 3,984 + (8,7 \times 13,8 \times 0,51) \times 5,55)}{(13,225 \times (1,4 \times 1,6 + 1,4 \times 1,3) + (8,7 \times 13,8 \times 0,51))} = 5,594m$$

Rijitlik merkezi ile ağırlıklı kat kütle merkezi arasındaki fark,

$$x_{bz} = x_0 - x_{mz} = 0,697m \quad y_{bz} = y_0 - y_{mz} = 0,430m$$

1. katın ağırlık kütle merkezi koordinatları

$$x_{m1} = \frac{(13,225 \times 2,8 \times 1,3) \times 3,984 + (8,7 \times 13,8 \times 0,51) \times 4,2}{(13,225 \times 2,8 \times 1,3) + (8,7 \times 13,8 \times 0,51)} = 4,105m$$

$$y_{m1} = \frac{(13,225 \times 2,8 \times 1,3) \times 6,414 + (8,7 \times 13,8 \times 0,51) \times 5,55}{(13,225 \times 2,8 \times 1,3) + (8,7 \times 13,8 \times 0,51)} = 5,930m$$

Rijitlik Merkezi İle Kat Ağırlıklı Kütle Merkezi Arasındaki fark,

$$x_{m1} = x_0 - x_{m1} = 0,703m$$

$$y_{m1} = y_0 - y_{m1} = 0,406m$$

2. Katın ağırlıklı kütle merkezi koordinatları

$$x_{m2} = \frac{(13,225 \times 1,4 \times 1,3) \times 3,984 + (8,7 \times 13,8 \times 0,51) \times 4,2}{(13,225 \times 1,4 \times 1,3) + (8,7 \times 13,8 \times 0,51)} = 4,138m$$

$$y_{m2} = \frac{(13,225 \times 1,4 \times 1,3) \times 6,414 + (8,7 \times 13,8 \times 0,51) \times 5,55}{(13,225 \times 1,4 \times 1,3) + (8,7 \times 13,8 \times 0,51)} = 5,797m$$

Rijitlik merkezi ile kat ağırlıklı kütle merkezi arasındaki fark eşitlik 4.9 ve 4.10'da gösterilen formüllerle hesaplanmıştır.

$$x_{m2} = x_0 - x_{m2} = 0,736m \quad (4.9)$$

$$y_{m2} = y_0 - y_{m2} = 0,273m \quad (4.10)$$

Deprem yüklerinin hesabı:

Deprem yükü hesabı için Eşitlik 4.11 kullanılmıştır.

$$F = \frac{W_t * A_0 * S}{R} \quad (4.11)$$

$A_0 = 0,40$ (1. derece deprem bölgesi), $S=2,5$ ve $R=2$ değerleri 2007 afet yönetmeliğine göre alınmıştır.

Kat ağırlıkları: $W_i = Duvar\ ağırlığı + Döşeme\ ağırlığı$

Zemin kat, birinci kat ve ikinci kat için duvar ağırlıkları Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’de hesaplanmıştır. Boşlukların üstündeki ve altındaki duvar parçalarının ağırlıkları alınmamıştır.

Çizelge 4.2. Zemin kat için ilave duvar ağırlığı (ton)

Boşluk No	Yükseklik	Uzunluk	Genişlik	Duvar		
				Yüksekliği	Hacmi	Ağırlığı
1a	1,400	1,300	0,300	0,600	0,234	0,374
				0,800	0,312	0,406
1b	2,200	0,750	0,300	0,600	0,135	0,216
				0,000	0,000	0,000
1c	1,300	1,600	0,300	0,700	0,336	0,538
				0,800	0,384	0,499
2a	2,200	0,900	0,200	0,600	0,108	0,173
				0,000	0,000	0,000
6a	2,200	0,900	0,200	0,600	0,108	0,173
				0,000	0,000	0,000
6b	2,200	0,900	0,200	0,600	0,108	0,173
				0,000	0,000	0,000
7a	2,200	0,900	0,200	0,600	0,108	0,173
				0,000	0,000	0,000
A1	1,300	1,550	0,300	0,700	0,326	0,522
				0,800	0,372	0,484
A3	0,500	0,500	0,300	0,900	0,135	0,216
				1,400	0,210	0,273
A4	0,500	0,800	0,300	0,900	0,216	0,346
				1,400	0,336	0,437
A5	1,300	1,550	0,300	0,700	0,326	0,522
				0,800	0,372	0,484
C1	2,200	0,900	0,200	0,600	0,108	0,173
				0,000	0,000	0,000
C2	2,000	0,700	0,200	0,800	0,112	0,179
				0,000	0,000	0,000
C3	2,200	0,900	0,200	0,600	0,108	0,173
				0,000	0,000	0,000
D1	2,200	0,900	0,200	0,600	0,108	0,173
				0,000	0,000	0,000
D2	2,200	0,900	0,200	0,600	0,108	0,173
				0,000	0,000	0,000
E1	1,300	1,600	0,300	0,700	0,336	0,538
				0,800	0,384	0,499
F1	1,300	1,600	0,300	0,700	0,336	0,538
				0,800	0,384	0,499
F2	1,300	1,600	0,300	0,700	0,336	0,538
				0,800	0,384	0,499
						9,991

Çizelge 4.3. Birinci kat için ilave duvar ağırlığı (ton)

Boşluk No	Yükseklik	Uzunluk	Genişlik	Duvar		
				Yüksekliği	Hacmi	Ağırlığı
1a	1,400	1,300	0,300	0,600	0,234	0,374
				0,800	0,312	0,406
1b	2,200	0,750	0,300	0,600	0,135	0,216
				0,000	0,000	0,000
1c	1,300	1,600	0,300	0,700	0,336	0,437
				0,800	0,384	0,499
2a	2,200	0,900	0,200	0,600	0,108	0,140
				0,000	0,000	0,000
6a	2,200	0,900	0,200	0,600	0,108	0,140
				0,000	0,000	0,000
6b	2,200	0,900	0,200	0,600	0,108	0,140
				0,000	0,000	0,000
7a	2,200	0,900	0,200	0,600	0,108	0,140
				0,000	0,000	0,000
A1	1,300	1,550	0,300	0,700	0,326	0,424
				0,800	0,372	0,484
A3	0,500	0,500	0,300	0,900	0,135	0,176
				1,400	0,210	0,273
A4	0,500	0,800	0,300	0,900	0,216	0,281
				1,400	0,336	0,437
A5	1,300	1,550	0,300	0,700	0,326	0,424
				0,800	0,372	0,484
C1	2,200	0,900	0,200	0,600	0,108	0,140
				0,000	0,000	0,000
C2	2,000	0,700	0,200	0,800	0,112	0,146
				0,000	0,000	0,000
C3	2,200	0,900	0,200	0,600	0,108	0,140
				0,000	0,000	0,000
D1	2,200	0,900	0,200	0,600	0,108	0,140
				0,000	0,000	0,000
D2	2,200	0,900	0,200	0,600	0,108	0,140
				0,000	0,000	0,000
E1	1,300	1,600	0,300	0,700	0,336	0,437
				0,800	0,384	0,499
F1	1,300	1,600	0,300	0,700	0,336	0,437
				0,800	0,384	0,499
F2	1,300	1,600	0,300	0,700	0,336	0,437
				0,800	0,384	0,499
						8,879

Çizelge 4.4. İkinci kat için ilave duvar ağırlığı (ton)

Boşluk no	Yükseklik	Uzunluk	Genişlik	Duvar		
				Yüksekliği	Hacmi	Ağırlığı
1a	1,400	1,300	0,300	0,600	0,234	0,304
1b	2,200	0,750	0,300	0,600	0,135	0,176
1c	1,300	1,600	0,300	0,700	0,336	0,437
2a	2,200	0,900	0,200	0,600	0,108	0,140
6a	2,200	0,900	0,200	0,600	0,108	0,140
6b	2,200	0,900	0,200	0,600	0,108	0,140
7a	2,200	0,900	0,200	0,600	0,108	0,140
A1	1,300	1,550	0,300	0,700	0,326	0,424
A3	0,500	0,500	0,300	0,900	0,135	0,176
A4	0,500	0,800	0,300	0,900	0,216	0,281
A5	1,300	1,550	0,300	0,700	0,326	0,424
C1	2,200	0,900	0,200	0,600	0,108	0,140
C2	2,000	0,700	0,200	0,800	0,112	0,146
C3	2,200	0,900	0,200	0,600	0,108	0,140
D1	2,200	0,900	0,200	0,600	0,108	0,140
D2	2,200	0,900	0,200	0,600	0,108	0,140
E1	1,300	1,600	0,300	0,700	0,336	0,437
F1	1,300	1,600	0,300	0,700	0,336	0,437
F2	1,300	1,600	0,300	0,700	0,336	0,437

Zemin kat aralığı;

$$W_z = 13,225 \times (1,4 \times 1,6 + 1,4 \times 1,3) + (8,7 \times 13,8 \times 0,510) + 9,991 = 124,915 \text{ ton}$$

$$W_z \cong 1249,15 \text{ kN}$$

1. Kat ağırlığı;

$$W_1 = (13,225 \times 2,8 \times 1,3) + (8,7 \times 13,8 \times 0,510) + 8,879 = 118249 \text{ ton}$$

$$W_1 \cong 1182,49 \text{ kN}$$

2. Kat ağırlığı;

$$W_2 = (13,225 \times 1,4 \times 1,3) + (8,7 \times 13,8 \times 0,500) + 4,499 = 88,889 \text{ ton}$$

$$W_2 \cong 888,89 \text{ kN}$$

Toplam bina ağırlığı;

$$W_t = W_z + W_1 + W_2 = 3320,63kN$$

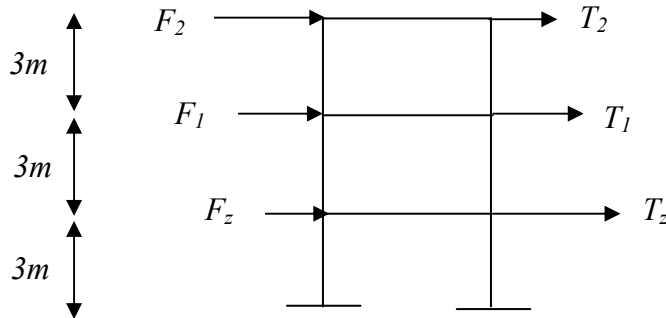
Toplam eşdeğer deprem yükü;

$$F_t = \frac{3320,63 \times 0,4 \times 2,5}{2} = 1660,32kN$$

Kat döşemelerine etkiyen eşdeğer deprem yükleri (F_i) ve kesme kuvveti (T_i) değerleri Çizelge 4.5'te hesaplanmıştır.

Çizelge 4.5. Kat döşemelerine etkiyen eşdeğer deprem yükleri (F_i) ve kesme kuvveti (T_i) değerleri

Katlar	W_i (kN)	H_i (m)	$W_i \times H_i$	$F_i = F_t * \left(\frac{W_i * H_i}{\sum_{j=1}^n W_i * H_i} \right)$ (kN)	T_i (kN)
2	888,99	9	8000,91	704,98	704,98
1	1182,49	6	7094,94	625,15	1330,12
Z	1249,15	3	3747,45	330,20	1660,32
Toplam	3320,63		18843,3	1660,32	



En elverişsiz kesit zorları zemin katta olacaktır. Rijitlik merkezi ile ağırlıklı kat kütle merkezi arasındaki fark;

$$X_{bz} = X_0 - X_{mz} = 0,697m > 13,8 \times 0,05 = 0,690m$$

$$Y_{bz} = Y_0 - Y_{mz} = 0,430m < 13,8 \times 0,05 = 0,690m$$

Dış merkezlik, en az binanın büyük boyutunun % 5'i alınmıştır. Kesme kuvveti ve burulma momenti taşıyıcı duvarlara rölatif rijitlikleri oranında dağıtılacaktır.

Deprem kuvvetinin x eksenine paralel etkimesi durumunda zemin katta burulma momenti ;

$$M_{bz} = T_z \times (Y_0 - Y_{mz}) = 1660,32 \times 0,690 = 1145,62 kNm$$

Çizelge 4.6. x eksenine paralel olan duvarlara etkiyen kayma gerilmesi (τ)

Duvar No	Yönü	R	y (m)	$d_y = y - y_0$	$R \cdot d_y$	$R \cdot d_y^2$	$F_t = R / \Sigma R \cdot T_z$	$F_{tb} = R \cdot d / \Sigma (R \cdot d^2) \cdot M_{bzx} \text{ (kN)}$	$F_t = F_{t+} - F_{t-} \text{ (kN)}$	$A_d \text{ (m}^2\text{)}$	$\tau = F_t / A_d \text{ (kN/m}^2\text{)}$	$\tau = F_t / A_d \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
1a	x	0,075	0	5,524	0,414	2,289	154,69	24,00	178,69	0,42	425,44	4,25
1b	x	0,152	0	5,524	0,84	4,638	313,50	48,64	362,14	0,66	548,69	5,49
1c	x	0,062	0	5,524	0,342	1,892	127,88	19,84	147,71	0,35	428,16	4,28
2a	x	0,067	3,55	1,974	0,132	0,261	138,19	7,66	145,85	0,69	211,38	2,11
3a	x	0,07	5,05	0,474	0,033	0,016	144,38	1,92	146,30	0,71	206,05	2,06
4a	x	0,067	5,75	0,226	0,015	0,003	138,19	0,88	139,07	0,69	201,54	2,02
6a	x	0,052	8,35	2,826	0,147	0,415	107,25	8,51	115,76	0,45	257,25	2,57
7a	x	0,05	9,05	3,526	0,176	0,622	103,13	10,21	113,34	0,44	257,59	2,58
8a	x	0,101	12,3	6,776	0,684	4,637	208,31	39,64	247,96	1,04	239,57	2,40
8b	x	0,109	12,3	6,776	0,739	5,005	224,81	42,78	267,60	1,10	244,38	2,44
Toplam		0,805				19,778	1660,32	204,08	1864,40	6,54		

Düşey Yükten dolayı zemin kat duvarında oluşan basınç gerilmesi Eşitlik 4.12'de verilen denklemle hesaplanmıştır. Burada; σ_b basınç gerilmesi, W_t toplam bina ağırlığı ve A_d taşıyıcı duvar alanını göstermektedir.

$$\sigma_b = \frac{\Sigma W_t}{\Sigma A_d} \quad (4.12)$$

$$\sigma_b = \frac{332,063}{6,54} = 5,07 \text{ kg} / \text{cm}^2 \cong 507 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Kullanılan harç A tipi harç olduğuna göre, TS2510'a göre Kayma emniyet gerilmesi hesaplanmıştır [81].

$$\tau_{em} = 0,12 * \sigma_b \text{ veya } \tau_{em} \leq 3 \text{ kg} / \text{cm}^2 \text{ olmalı}$$

$$\tau_{em} = 0,12 * \sigma_b = 0,12 \times 5,07 = 0,608 \text{ kg} / \text{cm}^2 \cong 60,8 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Görüldüğü üzere eşdeğer deprem kuvvetiyle bulunan duvarlar üzerindeki kayma gerilmelerinin hepsi kayma emniyet gerilmesinden büyüktür (Çizelge 4.6).

4.4. Örnek bir yığma yapının güçlendirilmesi

Bölüm 4.3'te örnek bir yığma yapının deprem hesabı yapılmış ve sonuçta depreme karşı güçlendirilmesi sonucuna varılmıştı. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre örnek yığma yapıya dıştan perde duvar eklenmesi ile binaya gelen deprem yükünün tamamını perde duvarlara taşınması ön görülmüştür.

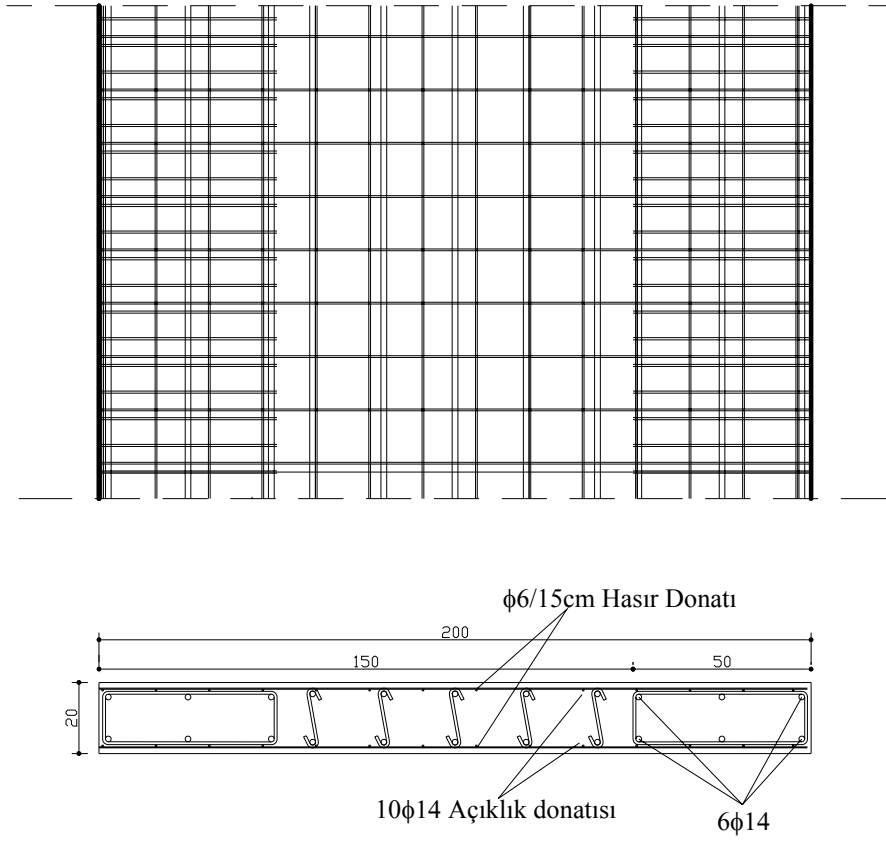
Toplam eşdeğer deprem yükü;

$$F = \frac{W_t * A_0 * S}{R}$$

$$F_t = \frac{3320,63 \times 0,4 \times 2,5}{3} = 1106,88 \text{ kN}$$

Bizanın toplam ağırlığı (W_t) daha önce Bölüm 3.2.4'te hesaplanmıştı. $A_0 = 0,40$ (1. derece deprem bölgesi), $S=2,5$, $R=3$ olarak DBYBHY-2007'ye göre alınmıştır.

Eş değer deprem yükü yönteminde Eşitlik 3.14'e göre bulunan hesaplanan x-x yönündeki deprem kuvveti $F = 1106,88 \text{ kN}$ bulunmuştur. Tasarlanan perde duvarın donatı planı Şekil 4.4'te, moment-eğrilik grafiği Şekil 4.5'te ve perde duvar yerleşim planı Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.5. Perde duvar donatı planı

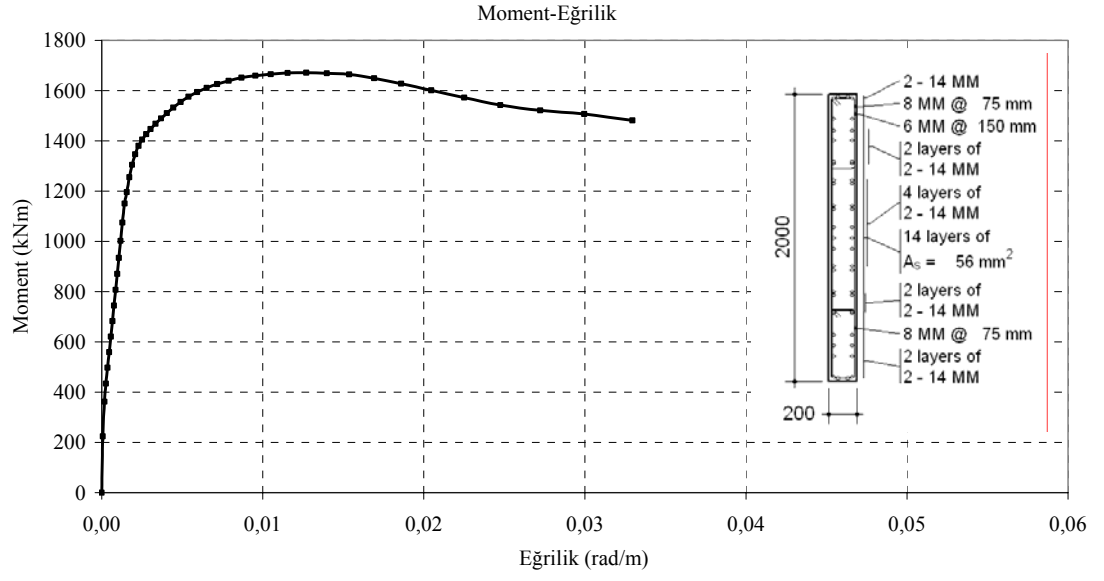
$$V_r = A_{ch} \times (0,65x f_{ctd} + \rho_{sh} \times f_{ywd})$$

$$\rho_{sh} = \frac{2A_{\phi h}}{b_w \times s_h}$$

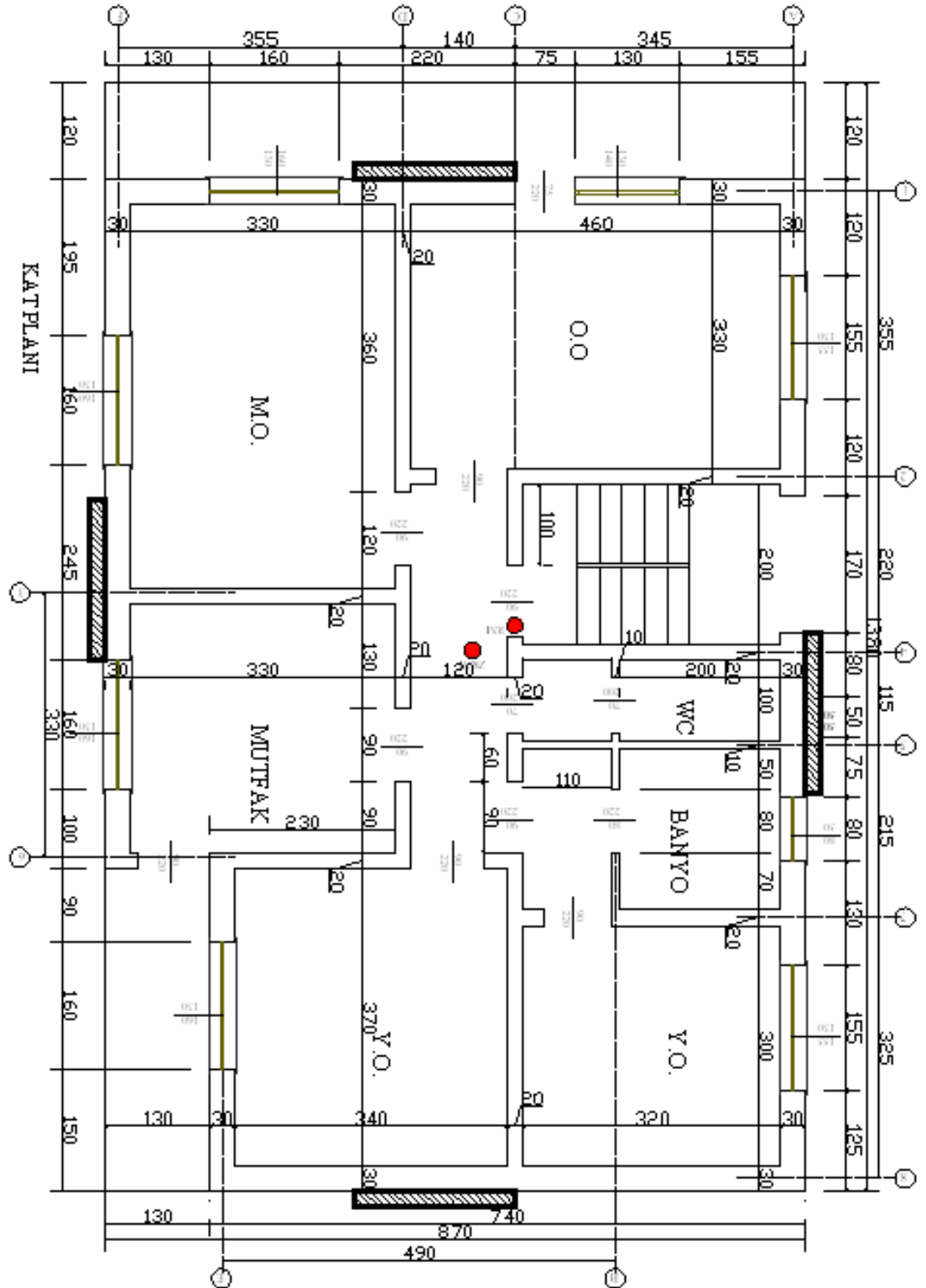
$$\rho_{sh} = \frac{2 \times (28 \times \frac{3,14 \times 6^2}{4})}{200 \times 2000} = 0,0039$$

$$V_r = (2000 \times 200) \times (0,65 \times 1,42 + 0,0039 \times 500)$$

$$V_r = 1329200N = 1329,2kN$$



Şekil 4.6. Belirlenen perde duvar moment-eğrilik grafiği



Şekil 4.7. Dıştan perde duvar eklenmiş yığma yapı kat planı

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuç

Bu bölümde, her bir deney örneğinin deneysel özellikleri ayrı ayrı incelenmiştir. Bu kapsamda; deney örneklerinin eleman davranışları, deneylerden elde edilen sonuçlar ve yükleme sonucunda oluşan hasarlar detaylı bir biçimde sunulmuştur. Deprem analizi yapılan bir yığma bina deneylerden elde edilen sonuçlara göre güçlendirilmesi yapılmıştır.

Modellenen perde-döşeme birleşim deneyinde; Yük 297 kN'a geldiğinde numune yük almamış ve daha önce oluşan kılcal çatlaklar büyümeye başlamıştır. Uygulanan 297 kN yükte bile oluşan maksimum deplasman 3,94 mm'dir. Yapılan deneyde birleşim yöntemi başarılı olmuş blonlarda herhangi bir sıyrılma, akma ve perde duvar betonunda ezilme olmamıştır.

Modellenen perde-perde birleşim deneyinde; Prekast olarak üretilip yerinde monte edilmesi düşünülen perde duvar için yapılan birleşim deneyinde; Yükleme itme yönünde 255 kN olduğunda ötelenme 12,99 mm olmuş perde duvarda kullanılan boyuna donatılar akma durumuna ulaşmıştır. 255 kN daha fazla yük almamış buna karşılık ötelenme iyice artmış, 14,70 mm'ye ulaştığında yük 245 kN'a düşmüştür. Birleşim deneyinde yük 2 adet perdeye uygulandığı için, her bir perde 127,5 kN yük taşımıştır.

Perde-döşeme birleşim deneyi sonucunda maksimum 297 kN'luk bir kuvvete, perde-perde birleşim deneyi sonucunda ise maksimum 255 kN'luk bir kuvvete ulaşılmıştır. Bölüm 3.2.4'te örnek bir yığma yapının deprem hesabı yapılmış, buna göre incelenen örnek yığma yapıya gelen deprem yükü bir yönde 1106,88 kN olarak bulunmuştur. Tasarlanan perde duvarın taşıma gücü 1329,2 kN olarak hesaplanmıştır.

Deneysel çalışma sonucu bulunan perde duvar döşeme birleşim yeri en büyük dayanımı $F=297$ kN ve perde perde birleşim yeri en büyük dayanımı $F= 255$ kN bulunmuştur.

Bulunan sonuca göre plan üzerinde her iki yönde (x-x yönünde ve y-y yönünde) 2 adet 20x200 cm kesitinde perde duvar yerleştirilmesi yeterli görülmüştür. Resim 4.19’da örnek yığma yapı kat planında yerleştirilen dıştan perde duvar yerleri gösterilmiştir.

5.2. Öneriler

Perde döşeme birleşim deneyinde 6 ϕ 22 ‘lik ankarj çubukları deneyde modellenen perde kesitine göre seçilmiştir. Ancak öngörülen kesme kuvvetinin altında bir sonuca ulaşılmıştır. Bu yüzden en uygun bağlantı çubuğu miktarını bulmak için çalışma yapılması uygun olacaktır.

Perde döşeme birleşim deneyinde bağlantı çubukları arasındaki mesafe, çubuk adedinin perde uzunluğuna eşit dağıtılması sonucu belirlenmiştir. Farklı bağlantı çubuk aralıklarının etkisi için de çalışma yapılabilir.

Bilgi: Arş. Gör. Ömer CAN’ında içinde bulunduğu bir grup tarafından; 07/2009-36 kodlu ve “Dıştan Perde Duvar Güçlendirmelerinde Blonlu Perde-Hatıl Birleşim Yerlerinde Blon Sayısının Araştırılması” konulu Bilimsel araştırma projesi kapsamında; uygun bağlantı çubuk sayısını belirlemek için deney programı yapılmış, deney kapsamında 4 adet birleşim deneyi yapılmaktadır. 4 adet, 6 adet, 5 adet, 7 adet blonlu bağlantıları yapılarak deneyler gerçekleştirilecektir. Çalışma halen devam etmektedir. Ulaşılabilecek deneysel sonuçlar önerilen çalışmaların gerçekleştirilmesine katkıda bulunacağı ümit edilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Poulay T., Priestly M.S.N. "Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings, *John Wiley & Sons, Inc.*, 7: 8-9 (1992).
2. Khaled, İ., "Inelastic behavior of reinforced masonry shear walls, an experimental and analytical study", Ph.D.Thesis, *Carleton University*, Canada, 209 (1995).
3. Benedetti, D., Carydis, P., Pezzoli, P., "Shaking table test on 24 simple masonry buildings", *Science Direct Construction and Building Materials*, 4: 206-210 (1998).
4. Pluijm, R. V.D., "Out-of plane bonding of masonry: Behavior and Strength" Ph.D.Thesis, *Technical University of Netherland*, Netherland, 1-48 (1999).
5. Benetti, D., Carydis, P., Limongelli M.P; "Evaluation of the seismic response of masonry buildings based on energy functions", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30: 1061-1081 (2001).
6. Mu, L., "Stability of unreinforced masonry members under simultaneous vertical and out-of-plane lateral loads", Ph.D.Thesis *University of Minnesota*, Minnesota, 15 (2003).
7. Corradi, M. ve ark., "Experimental study on the determination of strength of masonry walls", *Science Direct, Construction and Building Materials*, 17(5): 325-337 (2003).
8. Bayraktar, A., Nart C., Yalçın, A., "Damages of masonry buildings during the July 2, 2004 Doğubeyazıt (Ağrı) Earthquake in Turkey", *Engineering Failure Analysis*, 14, (4): 147-157 (2007).
9. Lei, A., "Limit state design of reinforced masonry walls", Maser Thesis, *The Cooper Union for the Advancement of Science and Art.*, New York, 206 (2005).
10. Karaşin, A. , Karaesmen, E., "1 Mayıs bingöl depreminde meydana gelen yığma yapı hasarları", *YDGA 2005 Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Artırılması Çalıştayı*, ODTÜ, Ankara, 112-119 (2005).
11. Arun, G., "Yığma kargir yapı davranışı", *YDGA 2005-Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Artırılması Çalıştayı*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 84-89 (2005).
12. Associated Cement Companies, "Effect of RC bands on dynamic behavior of masonry buildings" Newyork, 77 (2006).

13. Tomazevic, M., Lutman, M., Bosiljkov, V., "Robustness of hollow clay masonry units and seismic behavior of masonry walls" ***Science Direct, Construction and Building Materials***, 20 (10): 1028-1039 (2006).
14. Alyamaç,K.E., Erdoğan,A.S., "Yığma yapıların deprem güvenliğinde kullanılacak faktörler", ***YOGS 2006 Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, Pamukkale Üniversitesi***, Denizli, 444-468 (2006).
15. Abrams, D.P., "Performance-based engineering concepts for unreinforced masonry building structure", ***Prog.Structure Engineering Material***, 3: 48-56 (2001).
16. Massart, T.J., "Multi-scala modeling of damage in masonry structures", Ph.D. Thesis, ***Technical University of Netherlands, Netherlands***, 152 (2003).
17. Kanit, R. ve ark., "Depreme maruz yığma duvarın kırılması ve deprem yönetmeliğinin irdelenmesi", ***Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi***, Antalya, 232-240 (2005).
18. Simsir, C.C., "Influence of diaphragm flexibility on the out-of plane dynamic response of unreinforced masonry walls", Ph.D. Thesis, ***University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois***, 250 (2004).
19. Wipplinger M.P.E ve ark., "Dynamic testing of a masonry structure on a passive isolation system", ***Journal of Architectural Engineering © Asce***, 15-21 (2004).
20. Wu, C., Hao, H.,Lu, Y., "Dynamic response and damage analysis of masonry structure and masonry unfilled RC frames to blast ground motion" ***Science Direct, Engineering Structures***, 27 (3): 323-333 (2005).
21. Christen, D.B., Gilstrap, J., Dolan, C.W., "Composite materials reinforcement of existing masonry walls", ***Journal of Architectural Engineering***, 63-70 (1996).
22. Casabonne, C., "Masonry in the seismic areas of the Americas, recent investigation and developments". ***Structural Engineering Material***, 2:319-327 (2000).
23. Hall, J.D., Schuman, P.M., Hamilton, H.R., "Ductile anchorage for connecting FRP strengthening of under-reinforced masonry buildings", ***Journal of Composites for Construction***, 3-10 (2002).
24. Mohamed A.H., Abdel, H., Asce, M., Samer, A.B., "Cyclic performance of concrete-backed stone masonry walls", ***Journal of Structural Engineering, © Asce***, 596-605 (2003).

25. Nazier, M., “Evulation of high strength composites and new construction techniques for their effective use”, Ph.D. Thesis, *University of New Jersey-New Brunswick*, New Jersey, 293 (2004).
26. Tong, L., “Shear strengthening of unreinforced masonry walls with FRP composites”, Doctorate Thesis, *University of Missouri-Rolla*, Missouri, 1-105 (2004).
27. Jin, X., “Numerical analysis of masonry shear walls strengthened with CFRP sheet” , M.Sc.,*University of Alberta*, Canada, 22-34 (2005).
28. Gölalmiş M., Türer, A., “Kullanılmış araba lastikleri kullanarak yığma bina duvarlarının depreme karşı güçlendirme çalışmaları”, *YDGA 2005 Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Artırılması Çalıştayı*, ODTÜ, Ankara, 48-58 (2005).
29. Velmurugan, R., Solaimurugan, S.S., “Improvements in mode I inter laminar fracture toughness and in-plane mechanical properties of starched glass/polyester composites”, *Composites Science and Technology*, 67: 61-69 (2006).
30. Sallio, N., “Mevcut yığma yapıların deprem bakımından incelenmesi ve güçlendirilmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 38-111 (2006).
31. Juha’sova, E. ve ark.,” Assessment of seismic resistance of masonry structures including boundary conditions”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22: 1193–1197 (2001).
32. Valluzzi, M. R., Binda , L., Modena C., “Mechanical behavior of historic masonry structures strengthened by bed Joints structural repainting “, *Construction and Building Materials*,19: 63–73 (2005).
33. Hendry A.W. “Structural Masonry”, *MacMillan Education Ltd.*, Hong Kong, 22-79 (1990).
34. Aiello, M.A., Sciolti, S.M., “Bond analysis of masonry structures strengthened with CFRP sheets”, *Science Direct Constriction and Building Materials*”, 20: 90-100 (2005).
35. Kanit, R., Atımtay,E., “Experimental Assessment of the Seismic Behavior of Load-Bearing Masonry Walls Loaded Out-of-Plane” *Turkish J. Eng. Env.Sci.*, 30: 101-113 (2006).
36. A. Giordano, E. Mele and A. De Luca, “Modelling of historical masonry structures: comparison of different approaches through a case study” *Engineering Structures* 248: 1057–1069, (2002).

37. Batur, A., “Donatısız yığma binaların yatay yükler altındaki davranışı ve bazı ülkelerin şartnamelerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 57-66 (1999).
38. Angel, R., “Behavior of reinforced concrete frames with masonry infill walls”, Ph.D.Thesis, **University of Illinois at Urbana-Champaign**, Illinois, 205 (1995).
39. Sakr, K.M., “Experimental and analytical studies On double wythe masonry Wall”, Ph.D.Thesis, The **University of Saskatchewan, Canada**, 372 (1995).
40. Kun, H., “Behavior of reinforced concrete masonry walls subjected to combined axial loading and out-of-plane bending”, M.Sc.Thesis, **Dalhousie University**, Canada, 112 (2006).
41. Wight, D. G., Ingham M., Kowalsky J., “Shaketable testing of rectangular post-tensioned concrete masonry walls”, **ACI Structural Journal**, 587-595 (2006).
42. Joaım, A.O. ve ark. “Flexural behavior of reinforced masonry panels”, **ACI Structural Journal**, 103-(44): 418-426 (2006).
43. Senthivel R., Uzoegbo, H.C., “Failure criterion of unreinforced masonry under biaxial pseudo dynamic loading” **Journal on the South African Institution of Civil Engineering**, 46 (4): 20-24 (2004).
44. Cecchi, A., Milani, G., Tralli, A., “A Reissner-Mindlin limit analysis model for out-of plane loaded running bond masonry walls” **Science Direct, International Journal of Solid and Structures**, 1-10 (2006).
45. Kavit R. ve ark., “Düzlem dışı yüklenen yığma yapıların deneysel davranışı”, **YDGA 2005-Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Artırılması Çalıştayı**, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 60-67 (2005).
46. Mamari A.M. ve ark., “Seismic response of a new type of masonry tie used in brick veneer walls, **Science Direct, Construction and Building Materials**, 16 (7): 397-407 (2002).
47. Rosenboom, O., “Post-tensioned clay brick masonry walls for modular housing in seismic regions”, Ph.D.Thesis, North **Carolina State University**, North Carolina, 1-211 (2002).
48. Shang X. ve ark., “Out-of-plane performance of reinforced masonry walls with openings” **Journal of Structural Engineering**, 51-57 (2001).
49. Casolo, S., “Modeling of out-of-plane seismic behavior masonry walls by rigid elements”, **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, 29: 1797-1813 (2000).

50. Wang R., "Behavior of masonry cavity walls under vertical eccentric loads", Ph.D.Thesis, *University of Alberta*, Canada, 207 (1996).
51. Jain, L.K. ve ark., "On the effects of stitching in CFRPs-II. mode II delimitation toughness", Ph.D. Thesis, *Stanford University*, California, 135 (1997).
52. Albert M.L., Elwi A E., Cheng, R. J.J., "Strengthening of unreinforced masonry walls using FRPs", *Journal of Composites for Construction*, 76-84 (2001).
53. Hamoush, S. ve ark., "Out-of-plane behavior of surface reinforced masonry walls", *Construction and Building Materials, Elsevier Science Ltd.*, Great Britain, 1-22 (2002).
54. Dakhakhni, E., Wagih, W., "experimental and analytical seismic evaluation of concrete masonry unfilled steel frames retrofitted using GFRP laminates", *Journal of Structural Engineering*, 1-33 (2002).
55. Hamoush, S., McGinley, M., Terro, M., "Out-of plane behavior of surface-reinforced masonry walls", *Construction and Building Materials*, 16: 341-351 (2002).
56. Dafnis, A., Reimerdes, H. K., Günter, H., "Arching in masonry walls subjected to earthquake motions", *Journal of Structural Engineering*, 153-159 (2002).
57. Carley, P., Myers, J.J., "Shear and flexural strengthening of masonry infill walls with FRP for extreme out-of plane loading", *Proceedings of the Architectural Engineering 2003 Conference*, September, Austin, Texas 1-14 (2003).
58. Hutchinson T.C., Nicolaisen, K.N., Morrill, K.B., "Blast retrofit strategies for masonry walls: exploratory experimental study, *Soil Dynamic and Earthquake Engineering*, 7 (10): 773-783 (2004).
59. Brown, P. J., "Strengthening of unreinforced masonry structures with glass fiber reinforced polymers the effect of blast", Doctorate Thesis, *The University of New Mexico*, New Mexico, 60-83 (2004).
60. Milao, H., "CFRP sheets application to masonry shear walls with openings", Doctorate Thesis, *University of Alberta*, Canada, 138 (2005).
61. Yasser K., "Rehabilitation of masonry walls using unobtrusive FRP techniques for enhanced out of plane seismic resistance", Ph.D. Thesis, *McMaster University*, Canada, 333-341 (2005).
62. Dakhakhni, E., Wagih, W., "Hazard mitigation and strengthening of unreinforced masonry walls using composites", Ph.D. Thesis, *Drexel*

University, Pennsylvania, 155-165 (2006).

63. Elgawady, M. A., Pierino, L., Badoux, M., “A seismic retrofitting of unreinforced masonry walls using FRP”, *Science Direct, Composites Part B: Engineering*, 37 (2): 148-162 (2006).
64. Paquette J., Bruneu M., “Pseudo-dynamic testing of reinforced masonry building with flexible diaphragm and comparison with existing procedures”, *Science Direct, Construction and Building Material*, 20 (4): 220-228 (2006).
65. Elgawady, M. A., Pierino, L., Badoux, M., “Shear strength of URM walls retrofitted using FRP”, *Science Direct, Engineering Structures*, 28 (12): 1658-1670 (2006).
66. Emeritus, A.W., Hendry, “Masonry walls: materials and construction”, *Construction and Building Materials*, 15: 323-330 (2001).
67. Galati, N., Tumialan, G., Nanni, A., “Strengthening with FRP bars of URM walls subject to out of plane loads”, *Science Direct Construction and Building Materials*, 20: 101-110 (2005).
68. Tomazevic, M., Turnsek, V., Tercel, J.S., “Seismic strengthening of unreinforced masonry buildings with steel elements Chandra”, *Proceeding of 11th IBMaC vol.1, Shangai*, 217-226 (1996).
69. Stierwalt, D.D., Hamilton, H.R., “Creep of concrete masonry walls strengthened with FRP composites”, *Construction and Building Materials*, 2-11 (2004).
70. Mosalam, K.M.A., “Experimental and computational stages for the seismic behavior evaluation of frames with infill walls”, Ph.D. Thesis, *Cornell University*, New York, 376 (1996).
71. Rao, R. S., “Seismic retrofit of NON-ductile RC frames using friction dampers”, Ph.D. Thesis, *Cornell University*, New York, 295 (1996).
72. Tanhdi, M. ve ark., “Seismic retrofitting of low-rise masonry and concrete walls using steel strips”, 1-23 (2000).
73. Zarnic, R., Gostic, S., Crewe, A.J., Taylor, C.A., “Shaking table tests of 1/4 reduced-scale models of masonry unfilled concrete frame buildings”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30: 819-834 (2001).
74. Atımtay, E., “Betonarme sistemlerin tasarımı, *ODTÜ-METU Press*, Ankara, 2: 193-217 (2001).
75. TS 7720-1, “Yük taşıyıcı duvarlar ve betonarme döşemeler arasındaki yatay

birleřtirmeler - mekanik laboratuvar deneyleri - dűşey yüklerin ve döşemelerden aktarılan momentlerin etkileri”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-12 (1989).

76. TS EN 13139, “Agregalar, harç yapımı için”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 10-39 (2005).
77. TS 4559/T, “Beton çelik hasırları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-20 (2007).
78. TS 708/T “Beton çelik çubukları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-19 (2007).
79. TS 1247, “Beton yapım, döküm ve bakım kuralları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 20-39(1984).
80. “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”, *T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi*, Ankara, 86-159 (2007).
81. TS 2510, “Kargir Duvarlar Hesap ve Yapım Kuralları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-30 (1977).
82. TS 500, “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-50 (2000).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler:

Soyadı, adı : CAN, Ömer
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 05.05. 1976 Adana
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 202 88 88
 Faks : 0 (312) 212 00 59
 e-mail : omercan@gazi.edu.tr.

Eğitim:

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi	2003
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Bölümü	1999
Lise	İsmet İnönü İnşaat Teknik Lisesi	1993

İş Deneyimi:

Yıl	Yer	Görev
2000-2009	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil:

İngilizce

Yayınlar:

Bilimsel Dergilerde Yayınlanan Makaleler

1. Önal,M., **Can, Ö.**, Tokgöz, H., Koçak, A., “**Kabarma Özellikli Gazbeton Panelinde Donatı Aderansı ve Basınç Dayanımı Üzerine Deneysel Bir Çalışma**” Yıldız Teknik Üniv. Sigma Dergisi, Cilt:25, Sayı:2, s.161-169, Mart 2007,
2. **Can, Ö.**,“**Ferrokrom Curufunun Kerpicin Mühendislik Özelliklerine Etkisi**” Selçuk Üniversitesi Teknik-Online Dergisi, Cilt:7, Sayı:2,2008.

3. **Can, Ö.**, Tokgöz, H., “Çeşitli Yöntemlerle Güçlendirilen Hasar Görmüş Betonarme Kirişlerde Performansların Karşılaştırılması” e-journal of new world sciences academy, Volume:3, Number:4, Article Number:A0107, 2008.
4. **Can, Ö.**, Tokgöz, H., “Ahşap Çatı Makaslarının Düğüm Noktalarında Ön Ahşap Uzunluğunun Deneysel Yöntemle Tayini” e-journal of new world sciences academy, Volume:3, Number:4, Article Number:A0098, 2008.
5. **Can, Ö.**, Yaprak, H., “Mermer Tozu Katkılı Kerpicin Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması” e-journal of new world sciences academy, Volume:4, Number:2, Article Number:2A0009, 2009.

Uluslararası Sempozyumlarda Yayınlanan Makaleler

1. Aruntaş H., Y., Durmuş, G., **Can, Ö.**, Gökçe, H., S., “Yüksek Sıcaklık Etkisinde Kimyasal Katkılı Betonların İncelenmesi”, Uluslararası Katılımlı Yapılarda Kimyasal Katkılı 3. Sempozyumu ve Sergisi, Ankara, 273-282, (2009).
2. Durmuş, G., **Can, Ö.**, Gökçe, H., S., “Hava Sürükleyici Katkılı Betonun Farklı Sıcaklıklardaki Davranışlarının İncelenmesi”, Uluslararası Katılımlı Yapılarda Kimyasal Katkılı 3. Sempozyumu ve Sergisi, Ankara, 263-272, (2009).

Ulusal Sempozyumlarda Yayınlanan Makaleler

3. Önal, M., Tokgöz, H., **Can, Ö.**, Dumanlar, N., “Betonarme Kirişlerde CFRP sarılarak güçlendirme yapılması ve taşıma gücünün artırılması” Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, Colosea Otel, s.64-70, 07-08 Aralık 2006, Denizli
4. Tokgöz, H., Dumanlar, N., **Can, Ö.**, Önal, M., “Cam FRP ile Güçlendirilmiş Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kirişlerin Davranışlarının Tayini” Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, Colosea Otel, s.513-520, 07-08 Aralık 2006, Denizli
5. Kanıt, R., Erdal, M., Işık, N. S., **Can, Ö.**, Yener, M. K., Serimer, G., Uğur, L. O., Atımtay, E., “Düzlem dışı yüklenen yığma yapıların deneysel davranışı” Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Artırılması Çalıştayı, ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, 17 Şubat 2005, Ankara.
6. Kanıt, R., Erdal, M., Işık, N. S., **Can, Ö.**, Yener, M. K., Serimer, G., Uğur, L. O.,

Atımtay, E., “Depreme maruz yığma duvarın kırılması ve deprem yönetmeliğinin irdelenmesi (Deneysel Çalışma)” Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Dedeman Oteli, s.232-240, 22-24 Eylül 2005, Antalya.

Katıldığı Projeler

- 1. Beton Yol Kaplamalarında Alternatif Beton ve Yapım Yöntemi Araştırmaları,** Gazi Üniversitesi Araştırma Fonu, Proje No: 07/2004-32, Ankara.2008 Proje Yürütücüsü: Prof. Dr. Metin ARSLAN
- 2. FRP ile Güçlendirilmiş Dikdörtgen Kesitli Kirişlerin Davranışlarının Tayini,** Gazi Üniversitesi Araştırma Fonu, Proje No: 07/2004-24, Ankara. Proje Yürütücüsü: Yrd.Doç.Dr. Hanifi TOKGÖZ
- 3. Betonarme Yapılarda Hasarlı Kirişlerin Onarılması ve Güçlendirilmesi,** Gazi Üniversitesi Araştırma Fonu, 38/2004-01, Ankara Proje Yürütücüsü: Yrd. Doç. Dr. M. Mustafa ÖNAL
- 4. Betonarme Perde Kalıplarının Bilgisayar Destekli Parametrik Tasarımları ve Deneysel Uygulaması,** DPT, 2002K120250-17, Ankara Proje Yürütücüsü: Prof. Dr. Metin ARSLAN
- 5. Alternatif kalıp yüzeylerinin taze beton hidrostatik basıncı üzerine etkileri,** Gazi Üniversitesi Araştırma Fonu, 07/2001-13, Ankara Proje Yürütücüsü: Prof. Dr. Metin ARSLAN