

**YIĞMA BİNALARDA DUVAR BOŞLUK ORANLARININ
BİNANIN DEPREM DAVRANIŞINA ETKİSİ**

SARİYE İREM BAYIR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. ERCAN ÖZGAN**

DÜZCE, 2025

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YIĞMA BİNALARDA DUVAR BOŞLUK ORANLARININ BİNANIN
DEPREM DAVRANIŞINA ETKİSİ

Sariye İrem BAYIR tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Ercan ÖZGAN
Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Ercan ÖZGAN
Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Nuray Benli Yıldız
Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ümit Meterellioz
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 10.01.2025

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

10 Ocak 2025

Sariye İrem BAYIR

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Ercan ÖZGAN'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Hayatımda olduğu gibi tez çalışmam boyunca da desteklerini hep hissettiğim babam Prof. Dr. Selahattin AKPINAR ve annem Dr. Öğr. Üyesi Öznur AKPINAR'a şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili eşim Furkan BAYIR, kıymetli dostum Makbule ve kardeşlerim Beren, Fehmi Can ve Cansu'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

10 Ocak 2025

Sariye İrem BAYIR

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
TABLO LİSTESİ.....	x
KISALTMALAR	xi
SİMGELER	xii
ÖZET	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. YIĞMA YAPILAR.....	4
2.1. YIĞMA YAPI MALZEMELERİ.....	4
2.1.1. Doğal Taş.....	4
2.1.2. Tuğla	5
2.1.3. Beton Briket	6
2.1.4. Kerpiç	7
2.1.5. Gaz Beton	7
2.1.6. Harç	8
2.2. YIĞMA YAPI ELEMANLARI	8
2.2.1. Temeller	8
2.2.2. Duvarlar	9
2.2.3. Kemerler.....	10
2.2.4. Hatıllar ve Lentolar	11
2.2.5. Döşemeler	12
2.2.6. Kubbeler, Tonozlar ve Kolonlar	12
2.3. YIĞMA YAPILARDA KULLANILAN YAPIM TEKNİKLERİ	14
2.4. YIĞMA DUVARIN FARKLI YÜKLEMELER ALTINDA DAVRANIŞLARI.....	16
2.4.1. Statik Yük.....	16
2.4.2. Eksenel Basınç	17
2.4.3. Eksenel Çekme.....	18
2.4.4. Kayma Gerilmesi	19
2.4.5. Yatay Yük Etkisi Altında Yığma Duvar Davranışı.....	19
3. YIĞMA YAPILARIN TBDY-2018'E GÖRE TASARIM KURALLARI	21
3.1. KAPSAM	21
3.2. MALZEMELER VE DAYANIM	22
3.3. DEPREM HESABI	24
3.4. TAŞIMA GÜCÜ YÖNTEMİNE GÖRE HESAP	25
3.5. DİĞER TASARIM KRİTERLERİ	26
4. YIĞMA YAPILARIN DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ DAVRANIŞI VE GÜÇLENDİRİLMESİ.....	29
4.1. YIĞMA YAPILARIN DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ DAVRANIŞI	29
4.2. YIĞMA YAPILARDA OLUŞAN HASAR TÜRLERİ.....	29
4.3. YIĞMA YAPILARIN GÜÇLENDİRİLMESİ	30
4.3.1. Çimento Enjeksiyonu ile Güçlendirme.....	31
4.3.2. Çelik Elemanlar ile Güçlendirme.....	32

4.3.3. Betonarme Hatıllar ile Güçlendirme	32
4.3.4. Ahşap Dikme ve Çaprazlarla Güçlendirme	33
4.3.5. Normal Dökme Beton ile Güçlendirme	33
4.3.6. Kendiliğinden Yerleşen Beton ile Güçlendirme.....	34
4.3.7. FRP ile Güçlendirme	34
4.3.8. Kullanılmış Araba Lastiği ile Güçlendirme	35
4.3.9. Perde Duvar ile Güçlendirme	35
4.4. YIĞMA YAPILAR VE DEPREMLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR ..	36
5. TASARLANAN YIĞMA YAPI MODELLERİ VE PROJE	
ÖZELLİKLERİ	42
5.1. BİRİNCİ “REFERANS YAPI” MODELİ.....	43
5.2. İKİNCİ YAPI MODELİ.....	44
5.3. ÜÇÜNCÜ YAPI MODELİ.....	45
5.4. DÖRDÜNCÜ YAPI MODELİ.....	46
5.5. BEŞİNCİ YAPI MODELİ.....	47
6. PERFORMANS ANALİZ SONUÇLARI	48
6.1. KÜTLE VE RİJİTLİK MERKEZİ.....	50
6.2. YAPI MODELLERİNE ETKİ EDEN DEPREM KUVVETLERİ	51
6.3. GÖRELİ KAT ÖTELENMELERİ	52
6.4. DÜZENSİZLİKLER VE SINIR DEĞERLERİ	53
6.5. TABAN KESME KUVVETLERİ	55
6.6. YIĞMA DUVARLARIN KAT KESME KAPASİTE KONTROLÜ	56
7. İSTATİSTİKSEL ANALİZLER	58
7.1. YAPI MODELLERİNİN AĞIRLIKLARININ ANALİZİ.....	58
7.2. YAPI MODELLERİNDE YAPIYA ETKİ EDEN DEPREM YÜKLERİNİN ANALİZİ.....	59
7.3. YAPI MODELLERİNDE TABAN KESME KUVVETLERİNİN ANALİZİ	60
7.4. YAPI MODELLERİNDE DEVRİLME MOMENTLERİNİN ANALİZİ....	61
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	63
9. KAYNAKÇA	67
ÖZGEÇMİŞ.....	71

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Taş duvar tipleri.....	4
Şekil 2.2. Doğal taş	5
Şekil 2.3. Puro şeklinde elle yapılmış çamur tuğlalar.....	5
Şekil 2.4. Doğal harman tuğlası.....	6
Şekil 2.5. Boşluklu briket örnekleri	6
Şekil 2.6. Beton briketler	6
Şekil 2.7. Kalıptan çıkartılmış kerpiç malzemesi	7
Şekil 2.8. Gaz beton.....	7
Şekil 2.9. Yığma yapı temel örneği	9
Şekil 2.10. Roma dönemine ait duvar örnekleri	9
Şekil 2.11. Tuğla duvar örneği.....	10
Şekil 2.12. M.S. 550’de Irak’ta Çamur Tuğladan Yapılmış Ctesiphon Sarayı.....	10
Şekil 2.13. Düşey Yükler Altında Kemer ve Çerçeve Davranışları	11
Şekil 2.14. M.Ö. 1250’de Eski Yunanistan’ın Miken (Mycenae) şehrinde yapılmış Aslanlı Kapı	11
Şekil 2.15. Düşey hatıl ve lento	12
Şekil 2.16. Yığma yapıda betonarme döşeme örneği	12
Şekil 2.17. Tonoz Yapılar	13
Şekil 2.18. M.Ö. 1325’ de, 14.5m Çapında ve 13.5 M Yüksekliğinde Kubbe Şeklinde Yapılmış Agamemnon’un Mezarı.	13
Şekil 2.19. Kubbeler, Tonozlar ve Kolonlar	14
Şekil 2.20. Yığma Duvar Tipleri.	15
Şekil 2.21. Donatılı yığma duvar örneği.....	16
Şekil 2.22. İnşaa Halindeki bir yığma yapı görünüşü.....	16
Şekil 2.23. Çekme ve Basınç Altında Oluşan Çatlaklar	17
Şekil 2.24. Yığma Prizmanın Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi	18
Şekil 2.25. Yığma Numunelerin Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi.	18
Şekil 2.26. Kayma Etkisi Altında Yığma Duvarın Davranışı.....	19
Şekil 2.27. Eğik Çekme Çatlağı.....	20
Şekil 2.28. Eğilmeye Maruz Kalmış Duvar Örneği.....	20
Şekil 3.1. Donatısız ve kuşaltılmış yığma binalarda taşıyıcı duvarların desteklenmemiş en büyük uzunlukları ve düşey hatıllar arası mesafeler	28
Şekil 3.2. Taşıyıcı duvarlarda bırakılacak kapı ve pencere boşlukları	28
Şekil 4.1. Hasır çelik donatı ile güçlendirilen duvarlar	33
Şekil 5.2. Birinci “Referans Yapı” Modelinin Basit Planı	43
Şekil 5.3. İkinci Yapı Modelinin Basit Planı	44
Şekil 5.4. Üçüncü Yapı Modelinin Basit Planı	45
Şekil 5.5. Dördüncü Yapı Modelinin Basit Planı	46
Şekil 5.6. Beşinci Yapı Modelinin Basit Planı	47
Şekil 6.1. Yapı Modellerinin Deprem Performans Analiz Sonuçları.....	48
Şekil 6.2. Yapı Modellerinin Dinamik Analizi ve Deprem Raporu	49
Şekil 6.3. Yapı Modellerinin Dinamik Analizi ve Deprem Raporu	49
Şekil 6.4. Referans Yapı Modelinin Analiz Sonuçları.....	50
Şekil 6.5. Referans Yapı Modelinin Deprem Kuvveti Analiz Sonuçları.....	52
Şekil 6.6. Referans Yapı Modelinin Analiz Sonuçları.....	53
Şekil 6.7. Referans Yapı Modelinin Analiz Sonuçları.....	54

Şekil 6.8. Referans Yapı Modelinin Analiz Sonuçları.....	56
Şekil 6.9. Referans Yapı Modelinin Analiz Sonuçları.....	57



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 6.1. Yapı Modellerinin Kat Kütleleri	50
Tablo 6.2. Yapı Modellerine Etki Eden Deprem Kuvvetleri	51
Tablo 6.3. Maksimum Deprem Deplasmanları Ve Minimum Deprem Derzleri	52
Tablo 6.4. Yapı Modellerinin “X” ve “Y” Yönleri İçin A1, B2 Düzensizlikleri	53
Tablo 6.5. Yapı Modellerinde Oluşan Deprem Kuvvetleri	55
Tablo 6.6. Yapı Modellerinde Yığma Duvarların Kat Kesme Kapasiteleri	56
Tablo 7.1. Yapı Ağırlıklarının Tanımlayıcı İstatistiksel Değerleri	58
Tablo 7.2. Duvar Boşluk Oranları İle Ağırlıklar Arasında Ki Korelasyon Katsayıları ..	58
Tablo 7.3. Deprem Yüklerinin Tanımlayıcı İstatistiksel Değerleri	59
Tablo 7.4. Duvar Boşluk Oranları İle Ağırlıklar Arasında Ki Korelasyon Katsayıları ..	60
Tablo 7.5. Yapılarda Taban Kesme Kuvvetlerinin Tanımlayıcı İstatistiksel Değerleri .	61
Tablo 7.6. Duvar Boşluk Oranları İle Taban Kesme Kuvvetleri Arasında Ki Korelasyon Katsayıları	61
Tablo 7.7. Yapılarda Devrilme Momentlerinin Tanımlayıcı İstatistiksel Değerleri	62
Tablo 7.8. Duvar Boşluk Oranları İle Devrilme Momentleri Arasında Ki Korelasyon Katsayıları	62

KISALTMALAR

TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TBDY-2008	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018
TS500	: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
A1	: Yatay Deprem Düzensizliği
A2	: Düşey Deprem Düzensizliği



SİMGELER

Δx_i ort	: Binanın i'inci katındaki ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi [m]
A	: Enkesit alanı
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
Ctx ve Cty	: Mod birleştirme katsayıları (x ve y yönleri için ayrı ayrı hesaplanır).
D (Dx/Dy)	: Yapının süneklik kapasitesine bağılı olarak yatay deprem etkisini azaltma katsayısı (x ve y yönlerinde ayrı ayrı).
D	: Sistem Dayanım Katsayısı
Deprem yükü (t)	: Katlara etki eden toplam yatay deprem kuvveti.
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
E	: Çelik elastisite modülü
Eşdeğer dep. yön.	: Eşdeğer deprem yöntemiyle hesaplanan yatay deprem kuvvetleri.
F _d	: Deprem tepe yükü (t).
F _{deprem X}	: X yönündeki toplam deprem kuvveti.
F _{deprem}	: Deprem yükü.
F _{di}	: Katlara etkileyen deprem yükü.
F _{tx} , F _{ty} (t)	: X ve Y yönlerindeki deprem tepe yükleri
G	: Sabit yük
h	: Duvarın etkin yüksekliği
H	: Kat yüksekliği
H _n (m)	: Kat yüksekliği (m).
I	: Atalet momenti
I	: Bina Önem Katsayısı
Kat tipi	: Yapının analiz edilen katı
k _h	: Kat yüksekliği
Modal Analiz	: Deprem kuvvetlerinin modal analiz yöntemiyle hesaplanan değeri.
n	: Deprem yükü azaltma katsayısı.
øi	: Görelî kat ötelemesi açısı
øi	: Görelî kat ötelemesi açısı
R (Rx/Ry)	: Yatay deprem etkisi azaltma katsayısı (her iki yönde).
R	: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
R _a	: Yatay Deplasman Katsayısı
R	: Yapı Davranış Katsayısı
S ₁	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S _{d1}	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S _{ds}	: Tasarım spektral ivme katsayısı.
S _s	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
T	: Çekme kuvveti [kN]
T	: Doğal titreşim periyodu [s]
T T,	: Çekme kuvveti
T _{1x} , T _{1y}	: Doğal titreşim periyotları (x ve y yönlerinde birinci mod için hesaplanır).
TA	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
TB	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]
TBD	: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]

t_{ef}	: Duvarın etkin kalınlığı
T_p	: Binanın hakim doğal titreşim periyodu [s]
T_x	: X yönündeki birinci doğal titreşim periyodu (saniye cinsinden).
T_y	: Y yönündeki birinci doğal titreşim periyodu (saniye cinsinden).
V_{Ed}	: Yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan duvar kesme kuvveti
V_{Rd}	: Duvar tasarım kesme kuvveti dayanımı
V_{tx}, V_{ty}	: X ve Y yönlerindeki toplam deprem taban kesme kuvvetleri.
W	: Yapının toplam ağırlığı.
$W_g(t)$	: Yapının toplam ağırlığı
$W_i.H_i/\Sigma W_i.H_i$	: Katın ağırlığının yüksekliğe göre çarpımı ve tüm yapı için toplam ağırlık yüksekliği çarpım oranı.
$W_q(t)$	: Hareketli yükler.
η_{bi}	: i'inci katta tanımlanan Burulma Düzensizliği Katsayısı
η_{ki}	: i'inci katta tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı
λ	: Narinlik ile ilgili kapasite azaltma katsayısı
ΣW	: Toplam Ağırlık
$\Sigma (Toplam)$	: X ve Y yönlerindeki toplam değerlerin hesaplandığını ifade eder.
$\Sigma W_k(t)$	: Katın toplam kütlesi.
$\Sigma W_t(t)$	: Yapının toplam kütlesi (tüm katların toplam kütlesi).
ϕ	: Dayanım katsayısı
Ω	: Güvenlik katsayısı

ÖZET

YIĞMA BİNALARDA DUVAR BOŞLUK ORANLARININ BİNANIN DEPREM DAVRANIŞINA ETKİSİ

Sariye İrem BAYIR

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Ercan ÖZGAN

Ocak 2025, 70 sayfa

Türkiye'de, şehir merkezlerinde klasik yığma yapıların kullanımı azalmakta, ancak kırsal bölgelerde hâlâ yaygın olarak tercih edilmektedir. 2023 yılı TÜİK verilerine göre Türkiye'deki toplam konut stokunun yaklaşık %15-20'si yığma yapılardan oluşmaktadır. Bu oran kırsal bölgelerde %30'un üzerine çıkabilmektedir. Yığma yapılar, taş, tuğla, kerpiç, briket ve ahşap gibi doğal malzemelerle inşa edilen, kendi ağırlıkları veya harç kullanılarak birleştirilen yapılardır. Tüm yapılarda olduğu gibi Türkiye, aktif fay hatlarına sahip bir ülke olduğu için yığma yapılarda deprem riski altındadır. Bu nedenle, kırsal alanlarda yaygın olan geleneksel yığma yapıların deprem performanslarının değerlendirilmesi depreme dayanıklı yapı tasarımı açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada, depreme maruz kalacak yığma binalarda duvar boşluk oranlarının yığma binaların deprem davranışları üzerindeki etkileri çok yönlü incelenmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018 (TBDY-2018)'in tasarım şartlarına uygun olarak 100 m² alana sahip referans bir yığma yapı planı hazırlanmıştır. Yığma yapının deprem etkisi altında ki davranışı analiz edilerek, binanın performans durumu, hasar durumu, ötelenme durumu, taban kesme kuvvetleri ve devrilme momentleri gibi parametreler incelenmiştir. Aynı bina planında duvar boşlukları, referans plana göre oransal olarak %0, %10, %20 ve %30 oranlarında artırılarak 5 farklı tek katlı yığma yapı modeli oluşturulmuştur. Bu modellerin TBDY-2018'e göre performans analizleri yapılmış, deprem kuvvetleri, taban kesme kuvvetleri, devrilme momentleri ve ötelenme miktarları gibi parametreler belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, referans bina modeliyle karşılaştırılmış ve depreme dayanıklılık açısından en uygun model belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak, yığma yapılara etki eden deprem kuvveti açısından %0 duvar boşluğu olan yapının karşıladığı taban kesme kuvveti referans alındığında, %10 duvar boşluklu yapının taban kesme kuvvetine karşı direncinin yaklaşık %9,26 oranında azaldığı, %20 duvar boşluklu yapıda yaklaşık %28,56 oranında azaldığı, %21,4 duvar boşluğu olan referans yapıda yaklaşık %31,52 oranında azaldığı ve %30 duvar boşluğu olan yapıda ise yaklaşık %34,69 oranında azaldığı görülmüştür. Yapılan tüm analiz ve diğer hesap sonuçları tezin ilgili bölümlerinde detaylı olarak verilmiştir. Yığma yapı modellerinin Deprem analizleri STA4-CAD programı kullanılarak yapılmıştır. Tasarım özellikleri ve deprem analiz sonuçları, kırsal bölgelerde yapılması planlanan yığma yapılar için olası modeller olarak sunulmuştur. Bu model sonuçlarına göre tasarlanan yığma yapıların deprem etkisi altında ki davranışlarının nasıl olabileceği konusu ile ilgili fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Sözcükler: Deprem, Yığma Yapı, Deprem Dayanımı, Duvar Boşlukları

EFFECT OF WALL CAVITY RATIOS ON THE EARTHQUAKE BEHAVIOR OF THE BUILDING IN MASONRY BUILDINGS

Sariye İrem BAYIR

Düzce University

Graduate School, Department of ARCHITECTURE.

Doctoral Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Ercan ÖZGAN

January 2025, 70 pages

In Turkey, the use of classical masonry structures in city centres is decreasing, but it is still widely preferred in rural areas. According to 2023 TÜİK data, approximately 15-20% of the total housing stock in Turkey consists of masonry structures. This rate can exceed 30% in rural areas. Masonry structures are structures constructed with natural materials such as stone, brick, adobe, briquette and wood, and assembled using their own weight or mortar. As with all structures, Turkey is a country with active fault lines, and therefore, masonry structures are at risk of earthquakes. Therefore, the evaluation of the seismic performance of traditional masonry structures, which are common in rural areas, is important in terms of earthquake-resistant building design. In this study, the effects of wall cavity ratios on the seismic behaviour of masonry buildings that will be exposed to earthquakes were examined in a multifaceted manner. A reference masonry building plan with an area of 100 m² was prepared in accordance with the design conditions of the Turkish Building Earthquake Code-2018 (TBDY-2018). The behaviour of masonry structures under the effect of earthquake was analysed and parameters such as the performance status of the building, damage status, drift status, base shear forces and overturning moments were examined. In the same building plan, 5 different single-storey masonry building models were created by increasing the wall cavity proportionally by 0%, 10%, 20% and 30% compared to the reference plan. Performance analyses of these models were made according to TBDY-2018, and parameters such as earthquake forces, base Shear forces, overturning moments and drift amounts were determined. The obtained results were compared with the reference building model and the most suitable model in terms of earthquake resistance was tried to be determined. As a result, when the base Shear force of the structure with 0% wall cavity is taken as a reference in terms of the earthquake force acting on the masonry structures, it is seen that the resistance of the structure with 10% wall cavity against the base shear force decreases by approximately 9.26%, decreases by approximately 28.56% in the structure with 20% wall cavity , decreases by approximately 31.52% in the reference structure with 21.4% wall cavity and decreases by approximately 34.69% in the structure with 30% wall cavity. All analysis and other calculation results are given in detail in the relevant sections of the thesis. Earthquake analyses of the masonry structure models were performed using the STA4-CAD software program. Design features and earthquake analysis results are presented as possible models for the masonry structures planned to be built in rural areas. It is thought that these model results will be beneficial in terms of how the designed masonry structures will behave under earthquake effects.

Keywords: Earthquake, Masonry Building, Earthquake Resistance, Wall Cavity

1. GİRİŞ

Türkiye’de yığma yapı tekniği, özellikle kırsal kesimlerde hâlâ kullanılmakta olup, mevcut yapı stokunun önemli bir kısmını oluşturmaktadır. 2023 yılı TÜİK verilerine göre Türkiye’deki toplam konut stokunun yaklaşık %15-20’si yığma yapılardan oluşmaktadır. Bu oran kırsal bölgelerde %30’un üzerine çıkabilmektedir. Dünya’da da benzer şekilde; az gelişmiş veya gelişmekte olan birçok ülkede; özellikle kırsal kesimde ve şehirleşmenin ilk yıllarında gecekondü bölgelerinde inşa edilen yapıların yanı sıra, tarihi yapı stokunun neredeyse tamamını yığma yapılar oluşturmaktadır (Akgül ve Doğan, 2020). Yığma yapılar, yatay ve dikey yükleri duvarlar aracılığıyla taşıyan yapılardır. Bu yapıım yöntemi, taş, tuğla veya kerpiç gibi malzemelerin üst üste yerleştirilmesiyle oluşan bir sistemdir. Bu duvar elemanları, doğal veya yapay malzemelerle üretilir ve aralarındaki bağlantılar harçla sağlanır. Yapının inşa edilmesinde kullanılan malzemeler, bulunduğu bölgeye göre farklılık gösterebilir. Örneğin, Karadeniz bölgesindeki ormanlık alanlarda ahşap yapılar tercih edilirken, Doğu Anadolu’da taş duvarlar, Güneydoğu Anadolu’da ise kerpiç duvarlar daha yaygındır. Bu durum, her bölgedeki kolayca temin edilebilen inşaat malzemeleriyle ilgilidir. (Çalışkan Değirmenci ve Ekin,2016). Şehir merkezlerinde yığma yapıların kullanımı azalmasına rağmen, kırsal alanlarda hem ekonomik hem de geleneksel nedenlerle devam etmektedir. Tarihi yığma yapılar, gerekli mühendislik ve yapı kurallarına uyulduğunda, uzun ömürlü ve dayanıklı olabildiğini göstermektedir. Özellikle Osmanlı ve daha eski dönemlerden kalan birçok yığma yapı, deprem gibi doğal afetlere karşı dayanıklılıklarını kanıtlamıştır. Bu durum, doğru malzeme seçimi ve yapısal tasarımın önemiyle birlikte, bakım ve onarımın sürekli yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Ancak, modern inşaat teknikleri olan betonarme ve çelik sistemler, daha hızlı, ekonomik ve mühendislik açısından güvenilir oldukları için günümüzde tercih edilmektedir. Bununla birlikte, deprem bölgelerinde yığma yapılar için ek mühendislik önlemleri alınması önemlidir, çünkü yığma yapılar, modern inşaat yöntemlerine kıyasla depreme karşı daha savunmasız olabilir. Bu nedenle, özellikle deprem riski olan bölgelerde, yapıların sağlamlığı ve güvenliği açısından modern tekniklerin tercih edilmesi gerektiği vurgulanmalıdır.

Deprem, tarih boyunca insanların can ve mal kaybına neden olan doğal afetler arasında yer almıştır. Geçmişte yaşanan büyük depremler, inşaat yöntemlerindeki eksiklikleri ve yetersizlikleri ortaya çıkarmış, bu doğrultuda alınan önlemler ve yapılan düzenlemelerle

yapı güvenliği artırılmaya çalışılmıştır. Her büyük depremden sonra ortaya çıkan kayıplar, inşaat standartlarının yeniden gözden geçirilmesine ve mevcut yönetmeliklerde değişiklikler yapılmasına vesile olmuştur. Yönetmelik değişiklikleri, binaların deprem yüklerine karşı dayanıklı olacak şekilde inşa edilmesi için belirli kurallar getirmiştir. Özellikle Türkiye gibi deprem kuşağında yer alan ülkelerde, yapı yönetmelikleri sürekli güncellenmekte ve daha güvenli binaların inşası için yeni teknolojiler ve mühendislik uygulamaları teşvik edilmektedir. Bu kapsamda, yapı denetim süreçlerinin sıkılaştırılması, malzeme kalitesinin artırılması ve mühendislerin depreme dayanıklı projeler geliştirmesi gibi önlemler alınmaktadır. Depremlerden alınan dersler, toplumların doğal afetlere karşı daha dirençli hale gelmesi ve can kayıplarının en aza indirilmesi açısından büyük önem taşır. Bu nedenle, deprem yönetmeliklerinin sıkı şekilde uygulanması ve toplumsal farkındalığın artırılması, depremlere karşı daha güvenli yaşam alanları oluşturmanın temel adımlarını oluşturur.

2018 yılında yayımlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY18) ve Türkiye Deprem Tehlike Haritası, ülkemizdeki deprem tehlikesini değerlendirmek ve binaların depreme dayanıklılığını artırmak amacıyla önemli bir adımdır. Bu haritaya göre mevcut yapıların %26'sı en tehlikeli bölgelerde yer almaktadır. Bu durum, özellikle deprem riski yüksek olan alanlarda, binaların güvenliği konusundaki endişeleri artırmaktadır. Aynı endişe Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 2023 verilerine göre mevcut yapı stokunun %7'sini oluşturan yığma binalar içinde söz konusudur. Yığma binalar, genellikle tuğla, taş ve benzeri malzemelerle inşa edilen ve betonarme yapı teknolojisine göre daha az dayanıklı olarak kabul edilen yapılardır. Bu durum, özellikle deprem riski yüksek olan bölgelerdeki yığma yapıları da içeren tüm yapı stokunun depreme karşı güçlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Deprem riski taşıyan bölgelerdeki binaların güçlendirilmesi ve yeni yapıların TBDY 2018 standartlarına uygun olarak inşa edilmesi, olası depremlerde can ve mal kaybını azaltmak için kritik öneme sahiptir.

Yığma yapılar, genellikle doğal ya da yapay taşlar gibi blokların bağlayıcı bir harç ile birleştirilerek oluşturulduğu, yatay ve düşey yüklere dayanıklı yapılardır (Bayülke, 2011). Ancak, bu yapıların rijit özellikleri nedeniyle enerji yutma kapasiteleri düşüktür, bu da onları büyük yatay kuvvetlere karşı hassas hale getirir (Döndüren, 2008). Yığma binaların deprem anında kırılğan bir davranış sergilemesinin temel nedeni, kullanılan malzemelerin sünek olmamasıdır. Bu da ani kırılmalara ve büyük hasarlara yol

açmaktadır. Bu sebeple, yığma yapılar deprem gibi yatay yüklerin yoğun olduğu durumlarda özel bir dikkatle tasarlanmalı ve güçlendirilmelidir.

Bu çalışmada temel amaç; mimari tasarım sürecinde taşıyıcı duvarlarda oluşturulan duvar boşluklarının yığma binaların deprem dayanımına olan etkilerini farklı duvar boşluklarına sahip yapı modellerinde araştırmaktır. Duvar boşluklarının tasarlanan yapının depreme dayanımına etkisini çok yönlü görebilmek için 2018 Deprem Yönetmeliği şartlarına uygun tek katlı bir yapı modeli oluşturulmuş ve bu model “Referans Yığma Yapı Modeli” olarak alınmıştır. Bu model dışında aynı mimari proje üzerinde taşıyıcı duvarlarda hiçbir boşluk oluşturmadan tamamen dolu olan duvarlara sahip ikinci yapı modeli oluşturulmuştur. Bu iki modelden sonra taşıyıcı duvar boşlukları %10 , %20 ve %30 artırılarak üç ayrı yapı modeli daha oluşturulmuştur. Bu şekilde oluşturulan toplam 5 yapı modelinin deprem etkisi altında ki davranışları Sta4Cad paket programı kullanılarak çok yönlü analiz edilmiştir. Analizler sonucunda yığma yapı modellerinin taşıyıcı duvar boşluklarının yapının deprem davranışı üzerinde ki etkileri belirlenmiştir. Elde edilen analiz sonuçları istatistiksel olarak çoklu karşılaştırma testleri ile test edilmiştir. İncelenen toplam 5 yapı modelinin deprem etkileri açısından aralarında istatistiksel olarak fark olup olmadığı, farklar var ise bu farkların hangi yapı modellerinde olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre henüz daha mimari tasarım sürecinde olan bir yığma yapının taşıyıcı duvarlarında hangi oranda boşluklar bırakıldığında deprem etkisinin ne düzeyde değiştiği ortaya konulmuştur. Böylece en uygun duvar boşluklarının ne oranda olduğu tespit edilmiş ve tasarımcılara kolaylık sağlanarak olası bir deprem de bu şartlara göre tasarlanan yığma yapıların hasar almaları ya da yıkılmalarının önüne geçebilme imkânı oluşmuştur. Elde edilen bulgularla hem mevcut yığma binaların güçlendirilmesine yönelik öneriler hem de gelecekteki yapılması planlanan yığma yapıların tasarım prensipleri açısından kullanılabilecek sonuçlar elde edilmiştir.

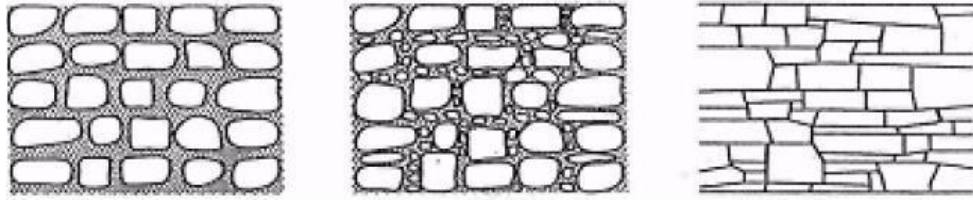
2. YIĞMA YAPILAR

2.1. YIĞMA YAPI MALZEMELERİ

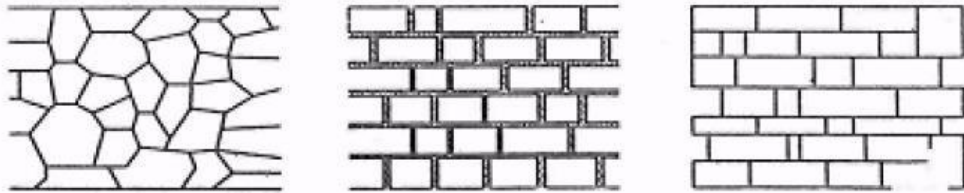
Yığma yapılar, doğal ya da yapay taş ve blokların harç adı verilen bağlayıcı malzemelerle veya harçsız olarak örülmesiyle oluşturulan taşıyıcı duvarlardan kerpiç ve gaz beton gibi birimler ile bunları bağlayan harç birimler olarak ikiye ayrılmaktadır.

2.1.1. Doğal Taş

Yapı taşı, doğal ortamda kayaçların bazı işlemlerden geçirildikten sonra yığma yapı elemanında kullanıldığı yapı malzemesidir. Genellikle kolay bulunabilir olması, ekonomik olması, dayanımı ve işlenebilir olması bu yapı malzemesini avantajlı hale getirmektedir. Basınç dayanımı yüksek olup çekme dayanımı ise düşük olan bir malzemedir. Duvar yapımında kullanılan yapı taşları, TS 699' a göre bulunacak en küçük basınç dayanımı dikkate alınarak sınıflandırılmaktadır (Yetkin, 2022). Şekil 2.1.'de farklı tarzda örülmüş taş duvar örnekleri, Şekil 2.2.'de doğal taş görülmektedir.

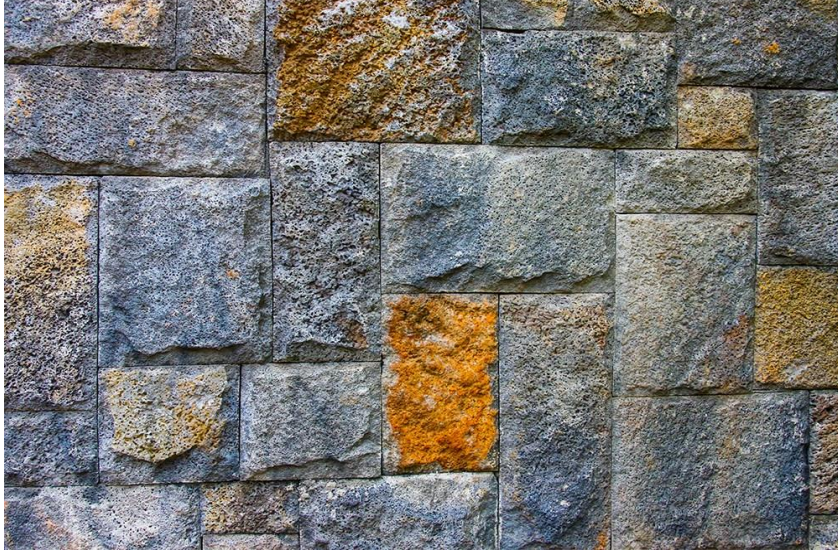


a) Toprak ile örülmüş b) Kil ile sıkıştırılarak örülmüş c) Köşeli taşlarla harçsız örgü



d) Poligonal olarak örülmüş e) Kesilmiş taşlarla harçlı örgü f) Kesilmiş taşlarla örgü

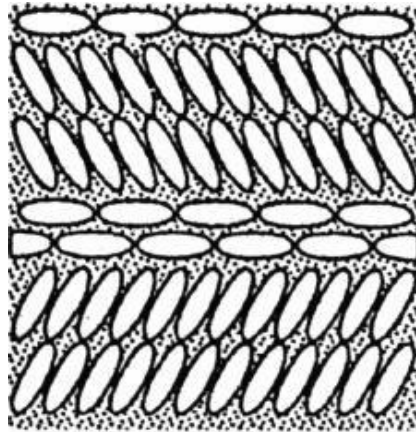
Şekil 2.1. Taş duvar tipleri (Yıldırım, 2007).



Şekil 2.2. Doğal taş

2.1.2. Tuğla

Kil, killi toprak ve balçığın ayrı ayrı veya harman edilip gerektiğinde su, kum öğütülmüş tuğla ve kiremit tozu gibi malzemeler karıştırılıp makineler yardımıyla şekillendirilip ve kurutulduktan sonra fırınlarda pişirilerek elde edilen yığma yapı malzemesidir (Dündar, 2013). Tuğla eski uygarlıklardan günümüzde kadar kullanımı devam eden önemli bir yapı malzemesi olup doğal taşlar gibi basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı ise düşüktür. Şekil 2.3.'te puro şeklinde elle yapılmış çamur tuğla örneği, Şekil 2.4.'te ise doğal harman tuğlası örneği görülmektedir.



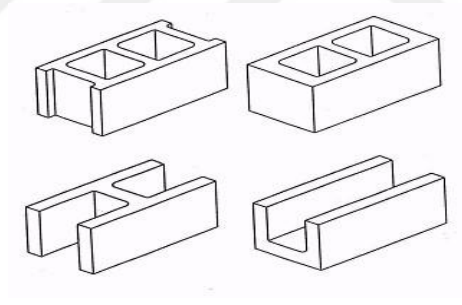
Şekil 2.3. Puro şeklinde elle yapılmış çamur tuğlalar (Yıldırım, 2007).



Şekil 2.4. Doğal harman tuğlası

2.1.3. Beton Briket

Beton briketler hafif agrega, volkanik silikat pomza veya bims taşı ile çimento ve bazı katkı malzemelerinin harman edilip özel kalıplarda dövme pres veya vibratörle sıkıştırılarak imalatı yapılır. Dolu, içi boş ve bölmeli olarak üretilen bu yapı malzemesinin çekme ve basınç dayanımları düşük olup gevrek davranış sergilerler. Şekil 2.5.'te boşluklu briket ve Şekil 2.6.'da beton briketler örnekleri görülmektedir.



Şekil 2.5. Boşluklu briket örnekleri (Yıldırım, 2007).



Şekil 2.6. Beton briketler

2.1.4. Kerpiç

Kerpiç; kil, killi toprağın içerisinde saman veya lifli otlar gibi malzemelerin su ile karıştırılıp kalıplara konularak güneş ışığı altında kurutulmasıyla elde edilen bir yapı malzemesidir (Karaton, 2004). Şekil 2.7.'de kalıptan çıkartılmış kerpiç malzemesi örneği görülmektedir.



Şekil 2.7. Kalıptan çıkartılmış kerpiç malzemesi

2.1.5. Gaz Beton

Gaz beton, günümüzde pek çok alanda ve betonarme yapılarda dolgu duvar malzemesi olarak kullanılan yapı malzemesidir. Hacimsel olarak %70-80 boşluklu yapıya sahip olup gözenekli, hafif, ısı iletkenliği düşüktür. Silisli agrega, kireç ve/veya çimentonun harmanlanıp ilave malzemeler eklenerek buharla sertleştirilmesinden elde edilmektedir. Hafif olması nedeniyle yapının kendi ağırlığını azalttığı için taşıyıcı elemanların ekonomik tasarımlarını sağlamaktadır. Şekil 2.8.'de gaz beton örneği görülmektedir.



Şekil 2.8. Gaz beton

2.1.6. Harç

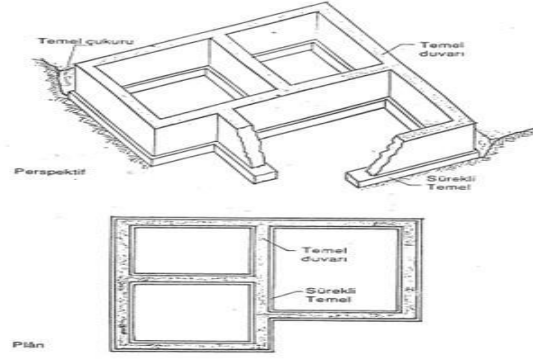
Kum, çimento/kireç ile suyun uygun oranlarda karıştırılmasından elde edilen bir bağlayıcı yapı malzemesidir. Gerekğinde farklı amaçlar için kimyasal katkılarla özellikleri değiştirilebilmektedir. Yığma yapı elemanlarının veya dolgu duvarların imal edilmesinde taş, tuğla, beton biriket vb. yapı malzemeleri arasında bağlayıcı/yapıştırıcı olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda, harçlar yapı elemanlarının basınç, çekme ve kayma dayanımlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Tuğla ile harcın etkileşiminin olduğu bölgeye dik yönde harcın çekme dayanımı, paralel yönde ise harcın kayma dayanımı karşı koymaktadır. Bunun yanı sıra tuğla/taş ile harcın arasındaki aderans dayanımı önemlidir. Kesme çatlakları, bu aderansın azalması ile oluşurken basınca bağlı çatlaklar ise tuğla/taşlarda meydana gelen ezilme olarak ifade edilmektedir.

2.2. YIĞMA YAPI ELEMANLARI

Yığma yapı elamanları üzerine gelen zati ağırlık ve hareketli yükleri duvarın gövdesinden temeline rahatlıkla iletirler. Ancak, zemin oturmaları veya sismik kuvvetlerden dolayı yığma yapı elamanlarında önemli hasarlar meydana gelebilmektedir. Tarihte taş/tuğla ve harcın birlikte kullanıldığı yığma yapı elamanları; sur, kule, duvar, kemer, tonoz ve kubbe olarak inşa edilmiştir. Bu yapı elemanları arasında bağlantıların sağlanması amacıyla ahşap kiriş, ahşap lento gibi elemanlar kullanılmıştır. Bu yapı birimleri genellikle düşey yükleri rahatlıkla taşıırken deprem gibi yatay yüklere karşı zayıf dayanıma sahiptirler. Tonozlar ve kubbeler ise hem düşey hem de yatay açıklıkları geçebilmek için kullanılmış yığma yapı elemanlarıdır.

2.2.1. Temeller

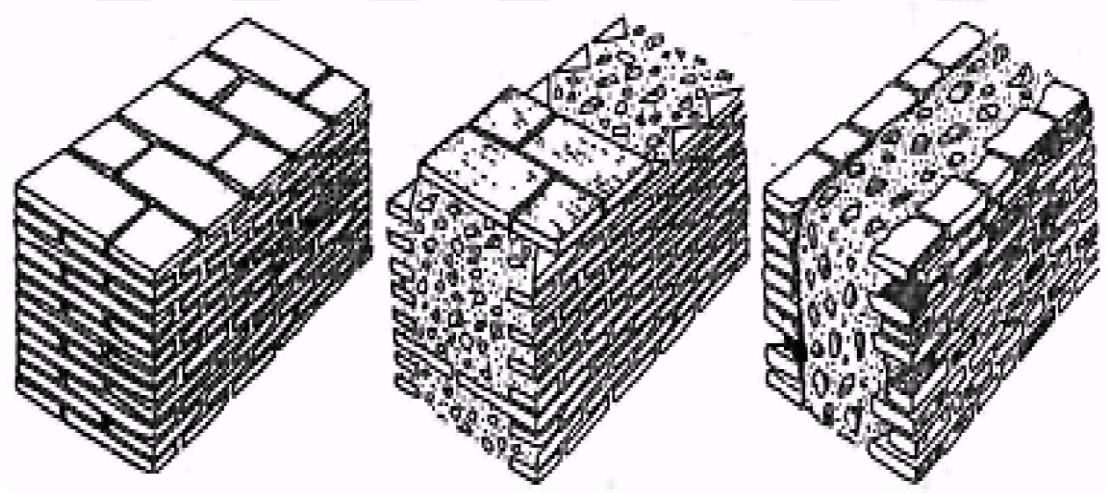
Yapıda ölü ve hareketli yükleri zemine aktaran yapı elemanıdır. Temeller her ne kadar yüzeysel veya derin temeller olarak sınıflandırılmış olsa bile sağlam kaya üzerine yapıyı inşa etmek önemlidir. Ancak yığma binalarda genellikle yüzeysel-sürekli temeller kullanılmış olup temel yapı malzemesi olarak beton veya doğal taş kullanılmıştır (Kayırğa, 2017). Şekil 2.9.'da temeller örneği görülmektedir.



Şekil 2.9. Yığma yapı temel örneği

2.2.2. Duvarlar

İnsanlar, barınma ihtiyacını karşılamak amacıyla duvarları geçmişten günümüze kadar kullanmışlardır. Duvarlar, yapının inşa edileceği bölgede bulunan ve kolay ulaşılabilir yapı malzemesine göre taş, tuğla ile bağlayıcı olarak kireç ve çimento gibi malzemelerle inşa edilmektedir. Yığma duvarlar hem taşıyan hem de taşınan yapı elemanı olarak adlandırılır. Şekil 2.10.'da Roma dönemine ait yığma duvar örnekleri, Şekil 2.11.'de ise tuğla duvar örneği görülmektedir.



Şekil 2.10. Roma dönemine ait duvar örnekleri (Yıldırım, 2007).



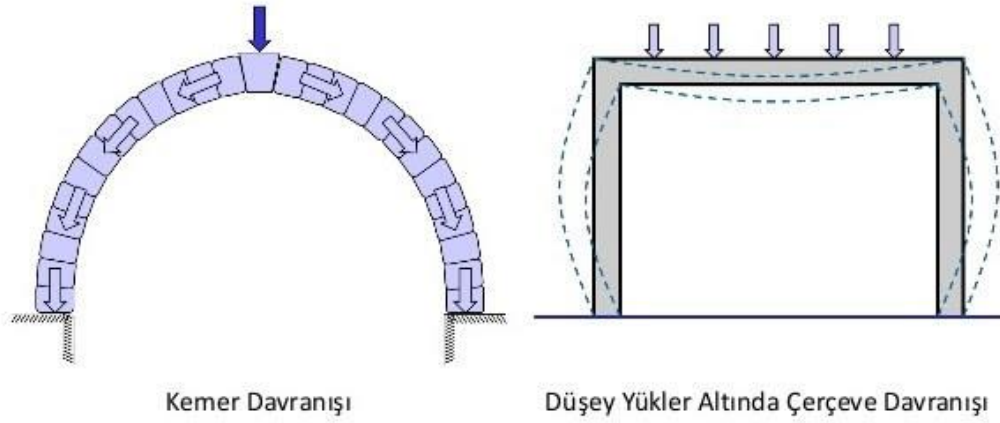
Şekil 2.11. Tuğla Duvar Örneği

2.2.3. Kemerler

Eğri eksenli olarak duvar veya sütunlar üzerine yer alan ve açıklık geçmek amacıyla inşa edilen yapı elemanıdır. Düşey doğrultuda üzerine gelen yükleri duvar veya sütunlara basınç gerilmesi olarak iletmektedirler. Şekil 2.12.'de Irak'ta bulunan Ctesiphon Sarayında kullanılan bir kemer yapısı, Şekil 2.13.'te düşey yükler altında kemer ve çerçeve davranışları görülmektedir.



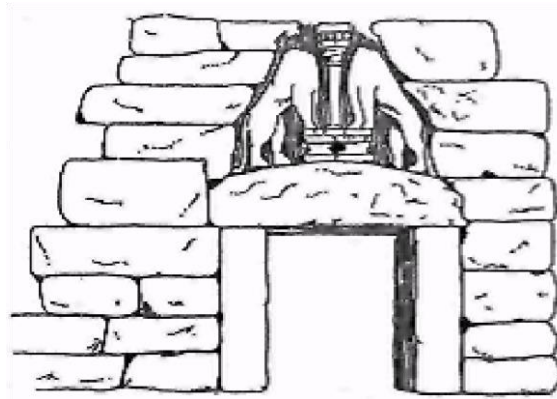
Şekil 2.12. M.S. 550'de Irak'ta çamur tuğladan yapılmış Ctesiphon Sarayı (Yıldırım, 2007).



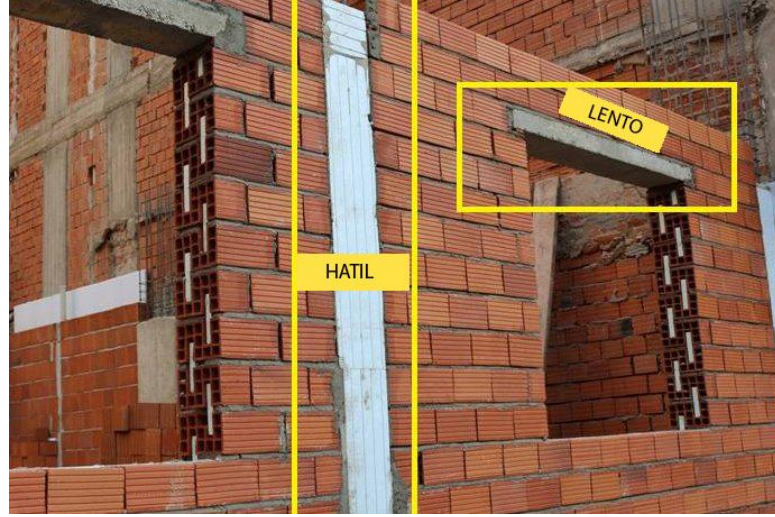
Şekil 2.13. Düşey yükler altında kemer ve çerçeve davranışları

2.2.4. Hatıllar ve Lentolar

Hatıllar, temel üstü veya tavan altına denk gelecek şekilde inşa edilirler. Bu elemanlar kesme kuvvetinin etkisindedir. Bu yapı elemanları genelde tuğla yığma yapılarda betonarme, kerpiç yığma yapılarda ise ahşaptan tercih edilmektedir. Hatıllar, düşey yükün üniform olarak alt bölgedeki duvara aktarılmasına yardımcı olmaktadır. Lentolar ise kapı ve pencere boşluklarının üzerlerine inşa edilen betonarme veya ahşap yapı sistemleridir. Şekil 2.14.'te eski Yunanistan'da Aslanlı Kapı örneği, Şekil 2.15.'te ise hatıllar ve lentolar görülmektedir.



Şekil 2.14. M.Ö. 1250'de Eski Yunanistan'ın Miken (Mycenae) şehrinde yapılmış Aslanlı Kapı (Yıldırım, 2007).



Şekil 2.15. Düşey hatıl ve lento

2.2.5. Döşemeler

Bu yapı elemanları, katları ayırmak veya yapının üst yüzeyini kapatmak amacıyla inşa edilmektedir. Ölü ve hareketli yükleri düşey taşıyıcı elemanlara aktarmaktadır. Sismik hareketler sırasında diyafram etkisi ile yatay yönde oluşan hareketleri kenar taşıyıcı elemanlara aktararak sismik yüklere karşı yapının dayanımına pozitif katkı sağlamaktadır. Döşemeler için hem betonarme hem de ahşap yapı malzemesi tercih edilmektedir. Şekil 2.16.'da yığma yapıda betonarme döşeme örneği görülmektedir.

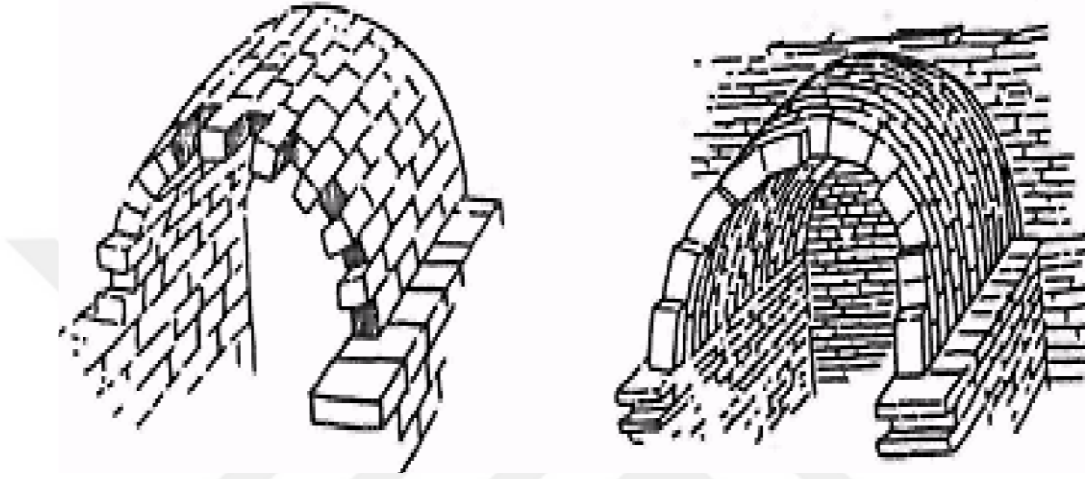


Şekil 2.16. Yığma yapıda betonarme döşeme örneği

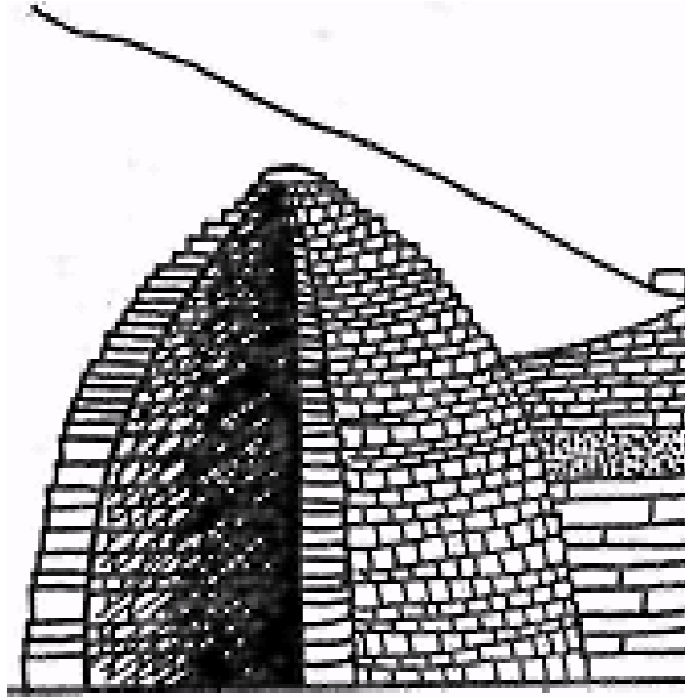
2.2.6. Kubbeler, Tonozlar ve Kolonlar

Kubbeler, kemerin simetri eksenini etrafında dönmesiyle elde edilen yapı elemanıdır. Ölü ve hareketli yükleri, kubbenin ayakları yardımıyla kemer düzlemine dik doğrultuda yerleştirilmiş yarım kemer veya payandalara aktarılır. Tonozlar ise bir kemerin kendi

düzlemine dik doğrultuda ötelenmesi sonucunda meydana gelen tavan elemanıdır. Dikdörtgen planlı yapıların tavanları tonozlarla örtülmektedir. Ayrıca mesnet noktalarında sürekli taşıyıcı elemanlar gerekmektedir. Şekil 2.17.'de tonoz yapı modelleri, Şekil 2.18.' de 14.5 m çapında ve 13.5 m yüksekliğinde kubbe şeklinde yapılmış Agamemnon'un Mezarı ve Şekil 2.19.' da ise kubbe, tonoz ve kolon elemanları birlikte görülmektedir.



Şekil 2.17. Tonoz yapılar (Yıldırım, 2007).



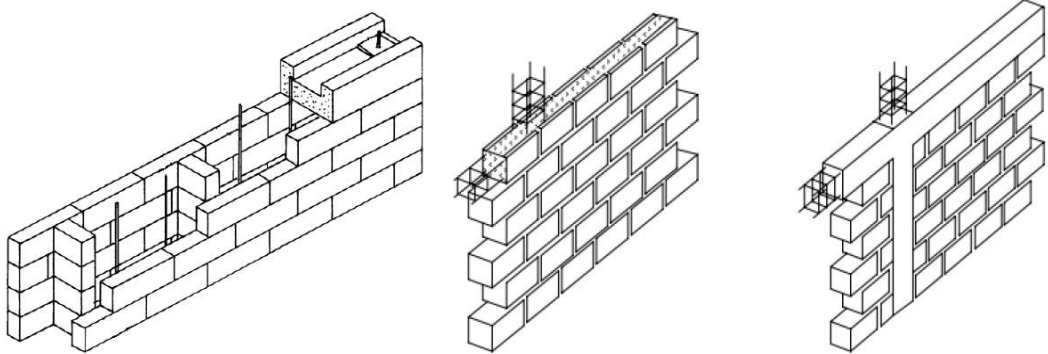
Şekil 2.18. M.Ö. 1325' de, 14.5m Çapında ve 13.5 M Yüksekliğinde Kubbe Şeklinde Yapılmış Agamemnon'un Mezarı (Yıldırım, 2007).



Şekil 2.19. Kubbeler, tonozlar ve kolonlar

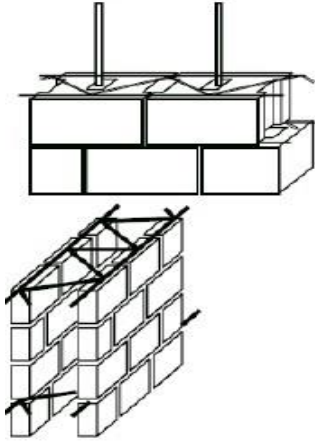
2.3. YIĞMA YAPILARDA KULLANILAN YAPIM TEKNİKLERİ

Yığma yapılar genellikle gevrek davranış gösterdiği için betonarme yapılara göre süneklik özelliği açısından olumsuz davranış sergilerler. Bu nedenle yapının sünek davranması için farklı yapı sistemleri kullanılmaktadır. Yığma yapılar, öngermeli, sarılmış, donatılı ve donatısız olarak dört grupta incelenebilir (Ural, 2009). Ülkemizde pek kullanılmayan ön germeli yığma duvar yapı sistemi, taşıyıcı duvarın eğilme, çatlama ve kesme kuvvetine karşı direncini artırmanın yansıra yapının genel olarak sünek davranışını artırmak için öngerme donatıları kullanılmaktadır. Genellikle çift sıra halinde örülen duvarlara iki duvar arasına öngerme donatıları yerleştirilir. Şekil 2.20.'de yığma duvar tipleri görülmektedir.

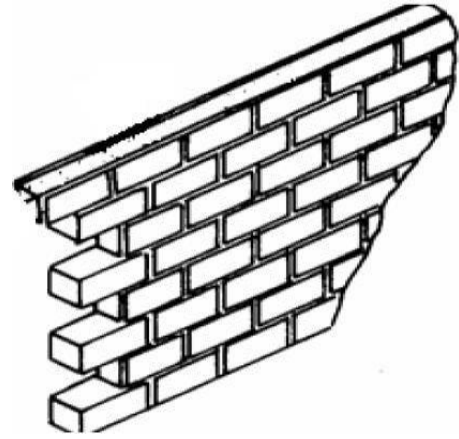


a) Öngermeli yığma duvar

b) Sarılmış yığma duvar



c) Donatılı yığma duvar



d) Donatısız yığma duvar

Şekil 2.20. Yığma duvar tipleri (Ural, 2009).

Bu donatılar alttan ve üstten ankraj levhalarıyla tutturularak veya üstten ankraj levhası alttan ön gerilme çeliği bindirme ek boyu kadar uzatılarak duvar içerisinde montaj gerçekleştirilmektedir. Taşıyıcı duvarlar yatay ve düşey doğrultuda hatıllarla çerçeve içerisine alınarak oluşturulan yapı sistemlerine sarılmış yığma yapılar adı verilmektedir. Sarılmış yığma yapılar, sismik yükler altında veya zemin oturmalarına karşı taşıyıcı duvarların dayanımını arttırmayı amaçlamaktadır. Bu yapı sisteminde oluşabilecek hasarların veya çatlakların yayılmasının sınırlandırılıp yapının gevrek davranış göstermemesi için geliştirilmiş bir yapı modelidir. Bununla birlikte bu sistem, duvarın Rijitliğini arttırmak ve döşemenin daha iyi mesnetlenmesini sağlamaktadır.

Donatılı yığma duvarlar, yatay ve düşey doğrultuda farklı dizilimlere sahip donatı çubuklarının yerleştirilmesiyle inşa edilmektedir. Sismik yükler altında oluşabilecek kesme kuvvetlerini azaltmak için yığma yapıyla birlikte sisteme eklenecek donatıların sisteme katkı sağladığı düşünülmektedir (Canbay vd., 2008). Bu donatılar, düşey yönde duvarların örülmesi sırasında tuğlaların boşluklarına yatay yönde ise iki tuğla arasına yerleştirilmektedir. Bu donatılar, düşey yönde duvarların örülmesi sırasında tuğlaların boşluklarına yatay yönde ise iki tuğla arasına yerleştirilmektedir (Şekil 2.21). Donatısız yığma yapı sistemleri en fazla görülen yapı sistemleridir. Bu yapı sistemi, dinamik yükler altında gevrek davranış göstermekte olup yapının toplam süneklik oranını düşürmektedir. Kullanılan harcın dayanım performansı, duvarın toplam kayma dayanım performansına katkı sağladığı söylenmektedir (Sayın, 2009).



Şekil 2.21. Donatılı yığma duvar örneği

2.4. YIĞMA DUVARIN FARKLI YÜKLEMELER ALTINDA DAVRANIŞLARI

2.4.1. Statik Yük

Yığma duvarları oluşturan yapı birimlerinin, denklem yapıları farklı olduğundan belirli bir kurala göre çözüm alınması büyük bir problem oluşturmaktadır. Bu kompozit yapılar, izotropik ve homojen olmayan bir yapı sisteminde uygun bir çözüm elde etme ihtimalini düşürmektedir. Herhangi bir yüke maruz kalmış yığma yapıların ne şekilde bir davranış sunacağı hala belirsiz bir problemi oluşturmaktadır. Aynı zamanda, yığma duvarda oluşması muhtemel hasarların oluşumu ve yayılım hareketi oldukça önemlidir.

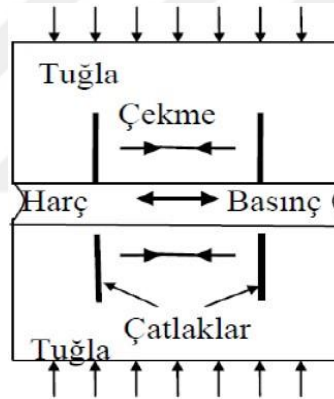
Bu sistemlerin inşa edilmesi sırasında yerel malzemenin kullanılması, harç, tuğla ve işçilik vb. gibi değişken parametreler, yapının araştırılması konusunda zor ve büyük bir problem oluşturmaktadır. Çatı, döşeme, kaplama, duvar ve sıva gibi ölü yüklerden oluşan yükler statik yük olarak tanımlanabilir. Statik yük olarak ifade edilen Döşeme ve tuğla duvarlardan oluşan bir yığma yapı örneği aşağıda görülmektedir (Şekil 2.22).



Şekil 2.22. İnşa halindeki bir yığma yapı görünüşü

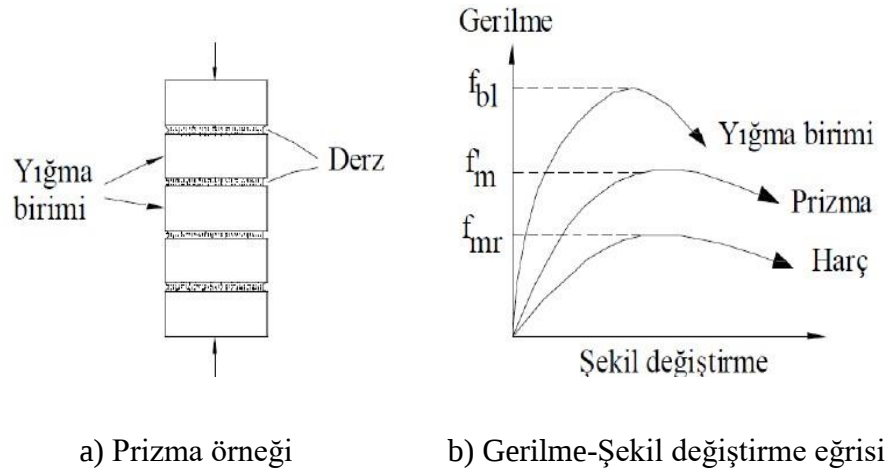
2.4.2. Eksenel Basınç

Basınç altında derz harcı bölgesinin yanal yönde yayılma yaptığı yapılan çalışmalar sonucu tespit edilmiştir (Ural, 2009). Zayıf harç-güçlü tuğla biriminden inşa edilen bir prizma deneyinde; yığma birim, harç biriminin yayılmasını önlediği görülmüştür. Hareket alanı sınırlanmış harç biriminde üç eksenli bir basınç durumu ortaya çıktığından, harç biriminin tek eksenli dayanımına göre daha fazla bir basınç dayanımı elde edilmektedir (Kayırğa, 2017). Ancak derz harcının yatay doğrultuda hareketi kısıtlı olduğundan, bu birleşim bölgelerinde çekme gerilmeleri meydana gelmektedir. Sonuç olarak prizmada iki eksenli çekme yükü meydana gelmekte olup, düşey doğrultuda ise basınç gerilmesi oluşmaktadır. Harcın basınç dayanımının tuğla biriminden daha düşük olması ve yapının toplam basınç dayanımından ise yüksek olması yapıda oluşabilecek hasarları azaltacağı kabul edilmektedir (Ural, 2009). Çekme ve basınç altında oluşan çatlaklar Şekil 2.23.'te görülmektedir.



Şekil 2.23. Çekme ve basınç altında oluşan çatlaklar (Ural, 2009).

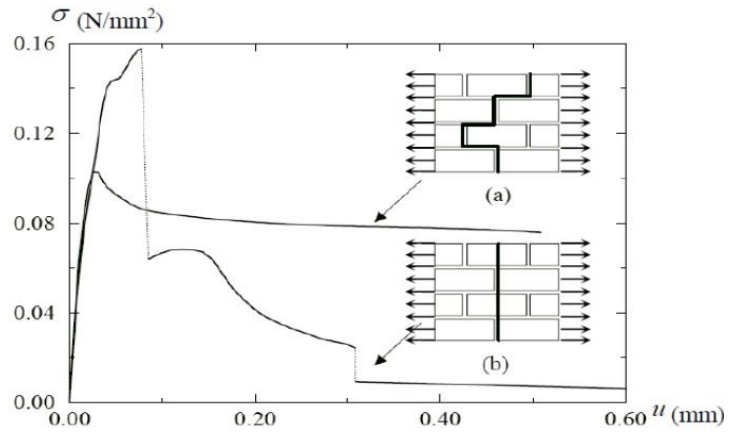
Harç dayanımının prizmanın dayanımından daha büyük olması duvarın basınç dayanımını bir miktar artırmaktadır. Bununla birlikte daha yüksek basınç dayanımına sahip tuğla biriminin kullanılması yığma duvarın dayanımını oldukça arttırmaktadır. Yüksek dayanıma sahip duvar elde edebilmek için duvarı oluşturan yığma birimlerin her birinin dayanımlarının da yüksek olması gerekmektedir. Şekil 2.24'te yığma prizmanın gerilme-şekil değiştirme eğrisi görülmektedir (Ural, 2009).



Şekil 2.24. Yığma prizmanın gerilme-şekil değiştirme eğrisi (Ural, 2009).

2.4.3. Eksenel Çekme

Yığma duvarlarda eksenel çekme testleri sonucunda dayanımlarının çok düşük olduğu görülmüştür. Bu çekme testleri sonucunda iki farklı hasar meydana gelmektedir. Bu hasarlardan birincisi, tuğla birimi ile harç birimi arasında aderansın yok olması ile harç birimleri arasında sürekli/sürekli bir hasar bölgesi oluşabilir. Şekil 2.25.'te yığma numunelerin gerilme-şekil değiştirme eğrisi görülmektedir.

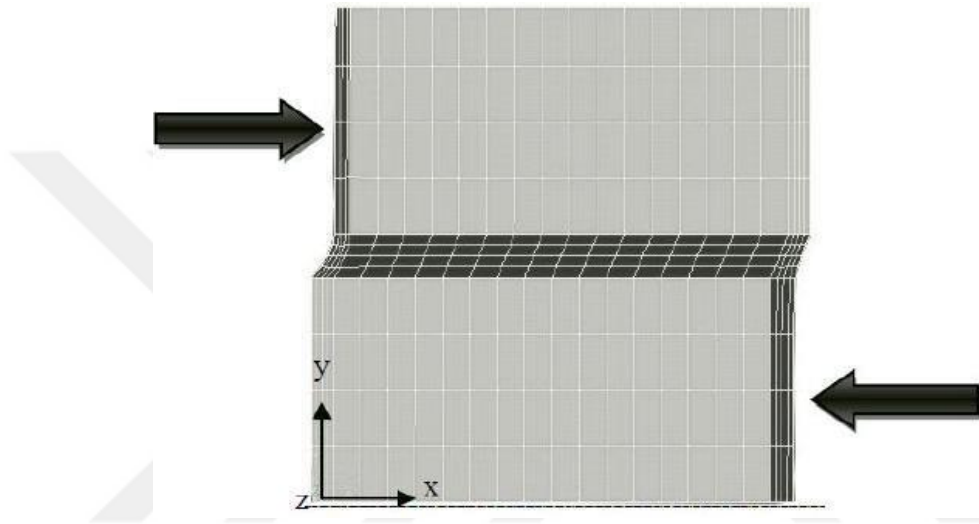


Şekil 2.25. Yığma numunelerin gerilme-şekil değiştirme eğrisi (Ural, 2009).

İkincisi ise hem tuğla biriminde hem de harç biriminde çekme eksenine dik doğrultuda elde edilebilir (Ural, 2009). Yığma yapı elemanları sünek davranış göstermedikleri için çekme kuvveti altında yığma duvarda çatlaklar meydana gelmektedir.

2.4.4. Kayma Gerilmesi

Aynı düzlemde bulunan yapı elemanına zıt yönlerde kuvvet uygulanırsa, yığma duvarda kayma gerilmesi etkisi ile farklı hasarlar görülebilmektedir. Kayma gerilmelerine bağlı olarak oluşan hasarlar; harç ve tuğla birimlerinin arasındaki bağı yok ederek derz bölgelerinde yayılarak veya tuğla birimlerde çatlaklar ve ezilmeler şeklinde ortaya çıkabilmektedir (Ural, 2009). Şekil 2.26.'da kayma etkisi altında yığma duvarın davranışı görülmektedir.



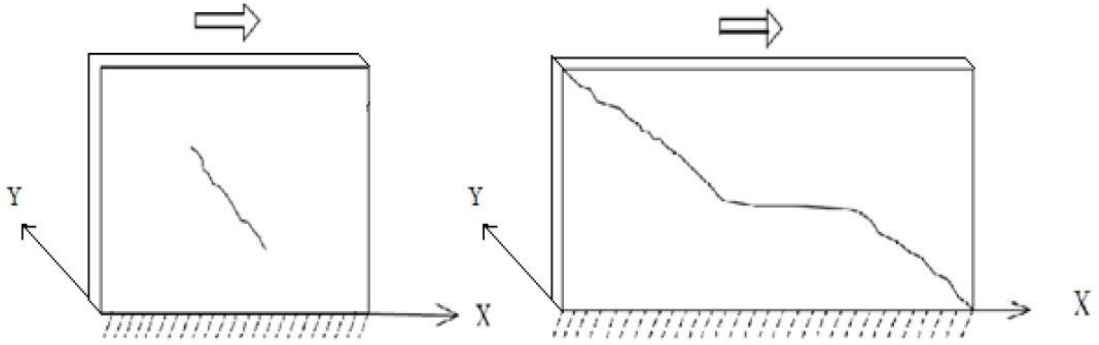
Şekil 2.26. Kayma etkisi altında yığma duvarın davranışı (Ural, 2009).

Yığma duvarın örme şekli kayma dayanımını etkilemektedir. Duvarın kayma dayanımı tuğla ve harç birimlerinin düzenli örülmesi, düzensiz örülen duvara göre daha yüksek olduğu bilinmektedir (Ural, 2009). Tuğla ile harç arasındaki aderansın kuvvetli olması duvarın kayma dayanımını artırmaktadır. Aynı zamanda, tuğla birimi içerisinde basınç ve çekme gerilmelerinin yanı sıra kayma gerilmeleri de oluşabilmektedir.

2.4.5. Yatay Yük Etkisi Altında Yığma Duvar Davranışı

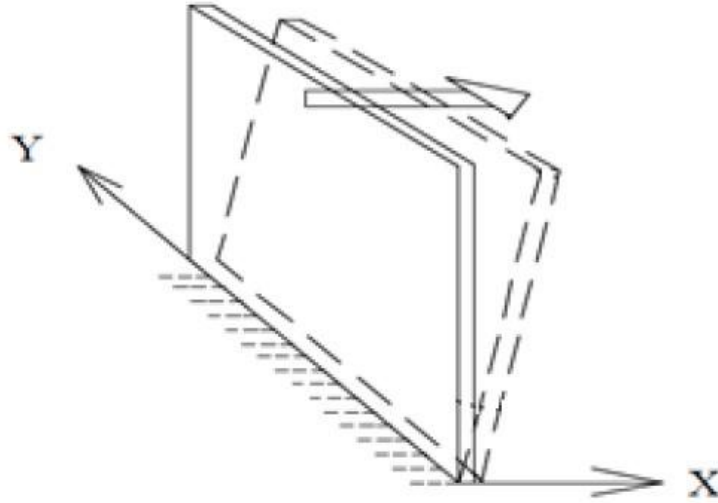
Yığma duvarlar yatay yükler altında, düzlem içi veya düzlem dışı yüklemelere maruz kalabilmektedir. Yan duvarlarla desteklenen ve yatay yüke maruz yığma duvarlarda, genelde düzlem içi davranış görülmektedir. Yatay yükün yönünün değişmesi ile oluşan ilk çatlağa dik yönde oluşacak ikinci bir çatlak bölgesi ile çatlaklar X şeklini almaktadır. Duvarın uzunluk/yükseklik oranı fazla ise eğik çatlak duvarın orta bölgesinde ve yatay yönde sürekli olacak şekilde devam edecektir.

Bu çatlak formu yatay yük etkisi altında en sık karşılaşılan çatlak şeklidir. Şekil 2.27.'de eğik çekme çatlağı görülmektedir.



Şekil 2.27. Eğik çekme çatlağı (Ersubaşı, 2008).

Yığma duvarlar, düzlem dışı yatay yükü etkisine maruz kaldıklarında, duvarın alt bölgesi eğilmeye zorlanmaktadır. Bu eğilme etkisi ile oluşabilecek çekme çatlakları duvarın düzlem dışına doğru devrilmesine neden olmaktadır. Şekil 2.28.'de eğilmeye maruz kalmış duvar örneği görülmektedir.



Şekil 2.28. Eğilmeye maruz kalmış duvar örneği (Ersubaşı, 2008).

Sismik yük gibi yatay yükler altında yığma yapıların gevrek davranmaktadır. Aynı zamanda duvar boyutlarının büyük olması nedeniyle rijit davranan bu yapılar üzerinde elde edilen ölçümlerden kısa periyotlu oldukları görülmüştür. En çok 4-5 katlı olan bu yapıların doğal titreşim periyodu 0.05-0.2 s aralığında yer almaktadır (Kayırğa, 2017).

3. YIĞMA YAPILARIN TBDY-2018'E GÖRE TASARIM KURALLARI

TBDY 2018' in 11. Bölümünde yığma yapıların kapsamı, malzeme ve dayanımı, deprem hesabı ve diğer tasarım kriterleri tanımlanmış olup bu hususlar aşağıda alt başlıklar halinde ifade edilmiştir.

3.1. KAPSAM

Bu Bölüm, deprem bölgelerinde inşa edilecek donatısız, kuşatılmış ve donatılı yığma binaların ve donatılı panel sistemli binaların depreme dayanıklı tasarım ve yapımı ile ilgili kuralları kapsar. Yığma bina türleri aşağıda verilmiştir:

Donatısız yığma bina, taşıyıcı duvarların donatı kullanılmadan sadece kargir birim ve harç kullanılarak oluşturulan süneklik düzeyi sınırlı bina cinsini kapsar. Donatılı yığma bina, kargir birim ve harç kullanılarak oluşturulan taşıyıcı duvarlarda “bu bölümde” verilen kurallara uygun olacak şekilde donatı yerleştirilmesi ile elde edilen süneklik düzeyi yüksek binaları kapsar. Kuşatılmış yığma bina, birbirlerine ve döşemeye betonarme olarak bağlı, taşıyıcı duvarların örülmesinden sonra ve bunları kalıp olarak kullanarak hazırlanan yatay ve düşey hatılların, yine bu Bölümde verilen kurallara uygun olacak şekilde teşkil edilmesi ile oluşturulan süneklik düzeyi sınırlı binaları, Donatılı panel sistemli bina ise, ön üretimli donatılı gaz beton paneller arası yivlerde bulunan donatıların temele ve kat seviyelerindeki betonarme hatıllara bağlandığı ve düşey gaz beton panellerin yan yana getirilerek taşıyıcı duvarları teşkil ettiği, yine donatılı gaz beton panellerin betonarme hatıllara bağlanarak döşemeleri meydana getirdiği süneklik düzeyi yüksek binaları kapsar. (TBDY 2018)

Yığma bina türleri için izin verilen en çok kat adetleri TBDY 2018'de belirlenmiştir. Bu katlara ek olarak yapılacak çatı kat alanı, temeldeki bina brüt alanının %25'inden büyük olamaz. Ayrıca tek bir bodrum kat yapılabilir. Tek katmanlı, çift katmanlı ve sandviç duvarların etkin kalınlığı (tef) , TS EN 1996-1- 1 standardı, 5.5.1.3'e göre belirlenecektir. Duvar kalınlığı (t) belirlenirken sıva kalınlığı dikkate alınmayacaktır. Duvarın etkin yüksekliği (hef) , TS EN 1996-1-1 standardı, TBDY 2018 5.5.1.2'ye göre belirlenecektir. (TBDY 2018)

Yapı Türleri: Yönetmelik, taş, tuğla ve benzeri geleneksel malzemelerle inşa edilen yığma yapılar için geçerlidir. Bu, sadece konutları değil, kamu binaları gibi diğer yapı türlerini de kapsar (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018). Aşağıda bu türler maddeler halinde sıralanmıştır.

Deprem Etkileri: Tasarım sürecinde, yapının maruz kalacağı deprem etkileri (yatay kuvvetler, sarsıntı, vb.) detaylı bir şekilde analiz edilmelidir. Bu, yapının dayanıklılığı ve deprem anında ve sonrasında güvenliğini sağlamak için kritik bir adımdır.

Yapısal Güvenlik: Yığma yapıların, deprem sırasında güvenliğini sağlamak için belirlenen minimum yapısal güvenlik kriterleri ve tasarım esasları, yapının performansını artırmak için gereklidir. Bu kurallar, yapının taşıyıcı sisteminin tasarımı ve malzeme seçimi açısından da belirleyici olur.

Yerel Koşullar: Türkiye'nin farklı coğrafi bölgeleri, zemin özellikleri ve iklim koşulları, yapı tasarımında dikkate alınmalıdır. Bu durum, yerel zemin etütleri ve iklimsel etkenlerle uyumlu bir tasarım yaklaşımı gerektirir.

Hesap Yöntemleri: Yığma yapıların tasarımında kullanılan hesap yöntemleri, yapının deprem güvenliğini değerlendirirken dikkate alınması gereken önemli bir unsurdur. Bu bölümde lineer ve nonlineer analiz yöntemleri, hesaplamalar için kullanılan yazılımlar ve modelleme teknikleri açıklanabilir.

Malzeme ve Uygulama Standartları: Kullanılan malzemelerin kalitesi, yapının deprem güvenliğini doğrudan etkiler. Yönetmelik, malzeme seçiminde uyulması gereken standartlar ve uygulama süreçlerini de kapsar. Bu, inşaat sırasında kalite kontrol prosedürlerinin önemini vurgular.

3.2. MALZEMELER VE DAYANIM

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018, yığma yapıların tasarımında önemli kurallar ve esaslar sunmaktadır. Yığma yapılar, genellikle taş, tuğla veya beton blok gibi geleneksel malzemelerle inşa edilen yapılardır. Bu tür yapıların deprem dayanımını artırmak için dikkate alınması gereken bazı temel noktalar şunlardır (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018):

Taş ve Tuğla: Yığma yapılar genellikle bu doğal ve işlenmiş malzemeleri kullanır. Taş ve tuğla, yüksek basınç dayanımına sahip olmalarıyla bilinir, ancak çekme dayanımları düşüktür. Bu nedenle, yapıların tasarımında çekme kuvvetlerine karşı önlemler alınmalıdır.

Harç: Yığma yapıların dayanıklılığı, kullanılan harcın kalitesine bağlıdır. Harç, taşıyıcı elemanları bir arada tutarak yapının bütünlüğünü sağlar. Harcın dayanımı, su-çimento oranı, agrega kalitesi ve karışımın doğru uygulanması ile artırılabilir.

Karma Malzeme Kullanımı: Yığma yapıların dayanıklılığını artırmak için, çelik veya fiber gibi modern malzemelerle kombinasyonlar kullanılabilir. Bu tür eklemeler, yapının çekme ve eğilme dayanımını artırır.

Kesme Dayanımı: Yığma yapıların deprem sırasında karşılaşacağı kesme kuvvetleri, yapının dayanımını etkileyen kritik bir faktördür. Yönetmelik, yığma yapıların kesme dayanımını artırmak için belirli tasarım kuralları ve kat sayıları sunar.

Dönme Dayanımı: Yığma yapıların depremler sırasında dönme hareketlerine karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Dönme dayanımını artırmak için uygun kesit boyutları ve yapı elemanlarının düzenlenmesi önerilir.

Zemin Koşulları: Yapının yer aldığı zemin türü, yığma yapının dayanımını doğrudan etkiler. Zayıf zemin koşullarında ek destek elemanları ve temellendirme çözümleri önerilir.

Tasarım Kriterleri: Yönetmelik, yığma yapıların tasarımında kullanılacak hesaplama yöntemlerini, yük dağılımını ve güvenlik faktörlerini belirler. Bu kriterler, yapının deprem sonrası güvenliğini sağlamak için önemlidir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018, yığma yapıların deprem dayanımını artırmak için kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. Malzeme seçimi, tasarım kuralları ve zemin koşulları gibi unsurların dikkatlice değerlendirilmesi, yapıların dayanıklılığını artıracak ve deprem güvenliğini sağlayacaktır.

3.3. DEPREM HESABI

Yığma yapıların Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre tasarım kuralları, yapıların deprem dayanıklılığını artırmayı amaçlar. Bu yönetmelikteki temel prensipler şunlardır (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018):

Yapı Tipi ve Konumu: Yığma yapılar için, yerel zemin koşulları ve deprem riski dikkate alınarak uygun yapı tipleri belirlenir. Zemin etütleri yapılmalı ve uygun tasarım stratejileri geliştirilmelidir.

Malzeme ve Yapı Elemanları: Kullanılan malzemelerin dayanıklılığı, yeterlilikleri ve özellikleri belirlenmelidir. Yığma yapılar genellikle taş, tuğla veya beton harç gibi malzemelerle inşa edilir; bu nedenle bu malzemelerin özellikleri doğru bir şekilde değerlendirilmelidir.

Yapı Esnekliği: Yapıların deprem anında esneklik göstererek enerjiyi absorbe etmesi gerekir. Bu nedenle, yapı elemanlarının (duvarlar, kirişler, kolonlar) yeterli esneklik ve dayanıklılığa sahip olması sağlanmalıdır.

Yük Dağılımı: Deprem yüklerinin yapıya nasıl dağıldığı analiz edilmelidir. Yığma yapılarda, yüklerin dikey ve yatay olarak etkili bir şekilde dağıtılması önemlidir.

Düzen ve Planlama: Yapının iç düzeni ve planı, deprem güvenliğini etkileyen unsurlardandır. Simetrik ve dengeli bir planlama, yapının deprem sırasında daha stabil olmasına yardımcı olur.

Bağlantı Elemanları: Duvarlar ve diğer yapı elemanları arasındaki bağlantıların yeterli güçte olması sağlanmalıdır. Bu, yapı bütünlüğünü artırır.

Analiz Yöntemleri: Deprem hesabı yaparken, doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılabilir. Yönetmelik, çeşitli analiz yöntemlerini ve hesaplama tekniklerini belirler.

Performans Kriterleri: Yapıların belirli bir deprem seviyesinde hangi performans seviyesine ulaşması gerektiği tanımlanmalıdır. Bu, yapının can güvenliğini sağlarken, yapısal hasar sınırlarını belirler.

Bu kurallar ve ilkeler, yığma yapıların deprem dayanıklılığını artırmaya yönelik tasarım ve mühendislik uygulamalarında kritik bir rol oynamaktadır. Deprem yönetmeliğine uygun olarak yapılan hesaplamalar, yapıların güvenliğini sağlamada büyük önem taşır.

3.4. TAŞIMA GÜCÜ YÖNTEMİNE GÖRE HESAP

Yığma yapıların tasarımında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre taşıma gücü yöntemiyle hesap yapılırken dikkate alınması gereken temel unsurlar şunlardır (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018):

Malzeme Özellikleri: Yığma yapıların taşıma kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan taş, tuğla gibi malzemelerin mekanik özellikleri (yoğunluk, dayanım, elastik modül vb.) önemlidir.

Yüklerin Belirlenmesi: Yapıya etki eden ölü, canlı ve deprem yüklerinin doğru bir şekilde hesaplanması gereklidir. Deprem yükleri, yönetmelikte tanımlanan spektrumlara göre hesaplanır.

Düşey Yüklerin Hesabı: Taşıma gücü hesabında, yapı elemanlarının (duvar, kolon, kiriş vb.) taşıyıcı kapasiteleri dikkate alınmalıdır. Her elemanın taşıma kapasitesi, malzeme özellikleri ve kesit boyutlarına göre belirlenir.

Deprem Yüklerinin Hesabı: Deprem yükleri, yapı yerinin zemin sınıfına ve yapının yer hareketine dayanımına göre hesaplanır. Yönetmelikte belirtilen deprem katsayıları ve spektrumları kullanılır. Bina taşıyıcı sistemi modellenecek, düşey ve yatay yüklerin birleşik etkileri altında yapısal çözümleme yapılacaktır. Yapısal çözümleme, sonlu elemanlar veya eşdeğer çubuk yöntemlerinden biri kullanılarak yapılabilir.

Yapısal Davranış: Yığma yapıların deprem sırasında gösterdiği davranışın analiz edilmesi önemlidir. Bu, yapının Rijitliği, deformasyon kapasitesi ve enerji dağıtımı açısından değerlendirilir.

Hesap Metodolojisi: Taşıma gücü yöntemi, yapının her bir elemanının dayanımının, beklenen yüklerin etkisi altında güvenli olup olmadığını kontrol etmek için kullanılır. Elemanların ve yapı sisteminin davranışları dikkate alınarak, yapının genel stabilitesi ve dayanıklılığı değerlendirilir.

Güvenlik Faktörleri: Hesaplamalarda, yapıların güvenliğini artırmak için çeşitli güvenlik faktörleri kullanılır. Bu faktörler, yapı tasarımında kullanılan malzemelere ve yapı tipine göre değişiklik gösterebilir.

Detaylandırma: Yığma yapılar için uygun bağlantı detaylarının ve ek elemanların tasarlanması, depreme karşı dayanıklılığı artırmak açısından kritik öneme sahiptir.

Bu unsurları dikkate alarak yığma yapıların taşıma gücü hesapları yapılmalı ve tasarım kuralları yönetmelikteki standartlara uygun olarak uygulanmalıdır.

3.5. DİĞER TASARIM KRİTERLERİ

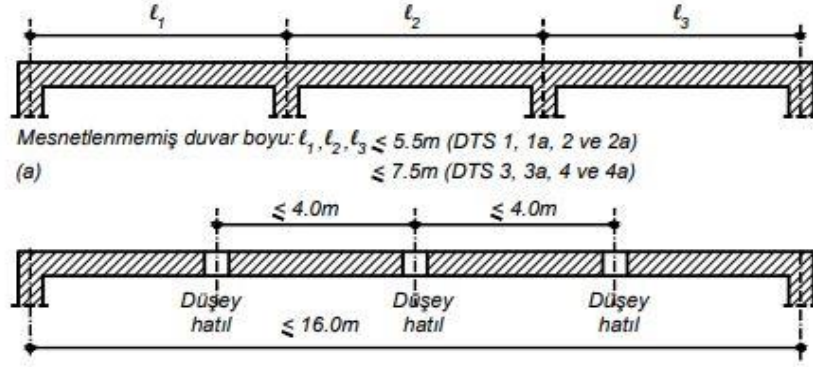
Yığma yapıların Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre tasarım kuralları, özellikle depreme karşı dayanıklılığı artırmayı hedefler. Bu yönetmelik, yığma yapıların tasarımında dikkate alınması gereken çeşitli kriterleri içermektedir. İşte bazı önemli noktalar (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018):

Malzeme Kalitesi: Kullanılacak malzemelerin kalite standartlarına uygun olması gerekmektedir. Malzeme dayanıklılığı, yapıların genel performansını etkiler.

Statik Analiz: Yığma yapıların deprem yüklerine karşı davranışlarını belirlemek için uygun statik ve dinamik analiz yöntemleri uygulanmalıdır.

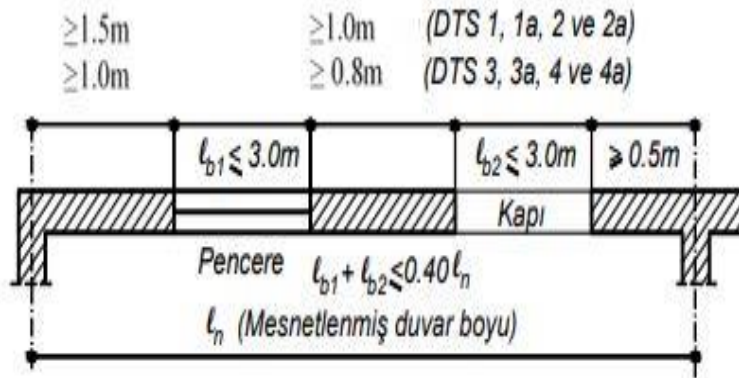
Düzenlemeler ve Geometrik Özellikler: Yapının geometrik özellikleri ve düzenlemeleri, depreme karşı dayanıklılığı etkiler. Açık alanlar, duvar yerleşimi ve kat yüksekliği gibi faktörler dikkate alınmalıdır.

Duvar ve Açıklık Oranları: Duvarların ve açıklıkların (pencere, kapı vb.) oranları, yapının Rijitliğini ve dayanıklılığını etkileyebilir. Yönetmelikte bu oranlara ilişkin belirli sınırlar bulunmaktadır. Donatısız ve kuşatılmış yığma binalarda taşıyıcı duvarların desteklenmemiş en büyük uzunlukları ve düşey hatıllar arası mesafeler, Şekil 3.1.'de verilen şartlara uyacaktır. Donatılı yığma ve donatılı panel sistemli binalarda Şekil 3.1.'de verilen boyut sınırları %20 arttırılabilir. Bu şartlara uymayan duvar elemanlarının düzleme dik yöndeki tahkikleri, TS EN 1996-1-1'de verilen şartlara göre yapılacaktır.



Şekil 3.1. Donatısız ve kuşatılmış yığma binalarda taşıyıcı duvarların desteklenmemiş en büyük uzunlukları ve düşey hatıllar arası mesafeler (TBDY 2018)

Kapı ve pencere boşluklarının üstünde betonarme lentolar yapılacaktır. Lentoların duvara oturan bölümlerinin boyu 200 mm'den az olmayacaktır. Lento yüksekliği 150 mm'den az olmayacaktır. Taşıyıcı duvarlarda bırakılacak kapı ve pencere boşluklarında Şekil 3.2'de verilen kurallara uyulacaktır.



Şekil 3.2. Taşıyıcı duvarlarda bırakılacak kapı ve pencere boşlukları (TBDY 2018)

Bağlantı Elemanları: Yığma yapının elemanları arasındaki bağlantılar, yapının bütünlüğü için kritik öneme sahiptir. Doğru bağlantı detaylarının tasarlanması gerekmektedir.

Sismik İzolasyon ve Enerji Sönümleme: Gerekli durumlarda sismik izolasyon sistemleri kullanılabilir. Bu sistemler, depremin yapıya olan etkisini azaltır.

Yerel Koşullar: Deprem riski yüksek bölgelerde, yerel zemin koşulları ve yapı türleri göz önünde bulundurulmalıdır. Zemin etüdü, tasarım sürecinin önemli bir parçasıdır.

Bu kuralların yanı sıra deprem öncesi, sırası ve sonrasında yapının davranışını etkileyen diğer kriterler de tasarım sürecinde göz önünde bulundurulmalıdır. Yönetmelik, yığma yapıların güvenliğini artırmak ve olası hasarları en aza indirmek amacıyla sürekli olarak güncellenmektedir.



4. YIĞMA YAPILARIN DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ DAVRANIŞI VE GÜÇLENDİRİLMESİ

4.1. YIĞMA YAPILARIN DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ DAVRANIŞI

Yığma yapıların taşıyıcı özellikleri ve Rijitliği, deprem anındaki davranışlarını doğrudan etkilemektedir. Özellikle bağlayıcı malzemelerin ve kullanılan tuğla veya doğal taşın mekanik özellikleri, yapının gevrek bir davranış sergilemesine yol açmaktadır. Bu nedenle, yığma yapıların deprem bölgelerindeki kat sayılarının sınırlandırılması oldukça önemli. Ayrıca konut dışı binalarda, insanların yoğun olarak bulunduğu yapılar için yığma yapılar ilk tercih olmamalıdır. Uygun malzemelerin kullanımı ve yapıların düzgün modellenmesi ile, yığma yapıların deprem performansının iyileştirilmesi ve potansiyel hasarların azaltılması mümkündür. Bu konudaki tasarım ve denetim süreçlerinin titizlikle yürütülmesi, yapının güvenliğini artırmada kritik bir rol oynamaktadır (Çöğür, 2007).

4.2. YIĞMA YAPILARDA OLUŞAN HASAR TÜRLERİ

Kâgir yapılarda, duvarların çoğu taşıyıcı işlev görür ve bu nedenle duvarlardaki herhangi bir hasar, yapının genel stabilitesini doğrudan etkiler. Betonarme karkas yapılarda taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlar arasında bir ayırım yapılabilirken, kâgir sistemlerde bu ayırım genellikle geçerli değildir. Bu, yapının dayanıklılığı ve güvenliği açısından kritik bir husustur. Yığma yapıların tasarımında ve değerlendirilmesinde bu faktörün dikkate alınması çok önemlidir. Kâgir yapıların taşıyıcı duvarlarının oturmalarına karşı hassasiyeti, yapının genel güvenliği açısından kritik bir konudur. Yığma duvarların gevrekliği ve düşük çatlama dayanımı, oturmalar sonucunda ciddi çatlakların oluşmasına neden olabilir. Bu durum, yapının uzun vadeli dayanıklılığı için önemli bir risk taşır. Bu nedenle, tasarım aşamasında oturmaların etkilerini minimize etmek için uygun mühendislik çözümleri ve malzeme seçimleri yapılması önemlidir. Ek olarak, bu tür yapıların yerel zemin koşulları ve inşaat yöntemleriyle uyumlu bir şekilde değerlendirilmesi de gereklidir (Uzun, 2017).

Yığma yapılarda hasar oluşumunu tetikleyen bu faktörler, deprem güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle duvar köşe birleşim detaylarının düzgün yapılmaması ve yapı malzemelerinin dayanıklılığının düşük olması, yapının deprem anında maruz kaldığı

yükleri etkileyerek hasar riskini artırabilir. Ayrıca, simetrik olmayan tasarımlar, yapının kütle ve Rijitlik merkezlerinin farklı olması gibi nedenler, yapının burulma etkilerine maruz kalmasına ve dolayısıyla daha fazla hasar görmesine neden olabilir. Yönetmelik ve şartnamelere uyulmaması da yapının dayanıklılığını ciddi şekilde zayıflatır. Bu nedenle, bu faktörlerin dikkate alınması ve tasarım aşamasında gerekli önlemlerin alınması, yığma yapıların deprem performansını iyileştirmek için elzemdir (Uzun, 2017).

4.3. YIĞMA YAPILARIN GÜÇLENDİRİLMESİ

Güçlendirme, yığma yapıların güvenliğini ve dayanımını artırmak için kritik bir süreçtir. Özellikle düşey yük dayanımının yetersizliği ve inşaat uygulamalarındaki hatalar, yapının uzun vadeli güvenliğini etkileyebilir. Ayrıca, yapıların kullanım amacındaki değişiklikler ve çevresel etkenler de zamanla yapının performansını olumsuz yönde etkileyebilir. Güncel yönetmeliklere uyum sağlamamak da güçlendirme gereksinimini artıran önemli bir faktördür. Bu noktada, yapının güçlendirilmesi için uygun tekniklerin ve malzemelerin seçimi hem güvenliği sağlamak hem de yapı ömrünü uzatmak açısından büyük önem taşır (Özsaraç 2008).

Yığma yapılarda güçlendirme işlerinin genel prensipleri oldukça önemlidir ve bu prensiplerin uygulanması, yapıların deprem dayanıklılığını artırmak için kritik bir rol oynar. Aşağıda bu yöntemler maddeler halinde sıralanmıştır.

Yapının Hafifletilmesi: Ağırlığın azaltılması, yapının depreme karşı dayanıklılığını artırır. Hafif malzemelerin kullanılması, yapının genel yükünü azaltarak, deprem sırasında oluşabilecek yüklere karşı daha iyi bir performans sergilemesini sağlar.

Kapı ve Pencere Boşluklarının Boyutları: Yapının köşe bölgelerinde bulunan açıklıkların boyutlarının küçültülmesi, yapının Rijitliğini artırır ve güçlendirme çalışmaları sırasında yapısal bütünlüğü korumaya yardımcı olur.

Kütle ve Rijitlik Merkezlerinin Yakınlaştırılması: Yapının kütle ve Rijitlik merkezlerinin birbiriyle uyumlu hale getirilmesi, depremler sırasında oluşabilecek momentlerin dağılımını dengeler ve yapının daha stabil hale gelmesini sağlar.

Yerel Malzemelerin Tercihi: Yerel malzemelerin kullanılması, işçilik hatalarının en aza indirilmesine yardımcı olur ve ayrıca yapıların yerel koşullara daha iyi adapte olmasını sağlar.

Mukavemetin Artırılması: Güçlendirme sonrası yapının dayanıklılığının, deprem öncesi durumdan daha iyi bir seviyeye çıkartılması, gelecekteki depremlere karşı yapının güvenliğini artırır.

Taşıyıcı Duvarların Kapasitesinin Artırılması: İç ve dış taşıyıcı duvarların kayma ve normal gerilmelere karşı kapasitelerinin artırılması, yapının genel dayanıklılığını artırır ve olası hasarları azaltır.

Bu prensiplerin uygulanması, yığma yapıların deprem dayanıklılığını artırmada önemli bir stratejidir.

Yığma yapılarda deprem hareketleriyle meydana hasar veya diğer hasarların giderilmesi için birçok güçlendirme yolu kullanılarak, yapıların deprem dayanımının artması mümkündür(Öztaş 2009).

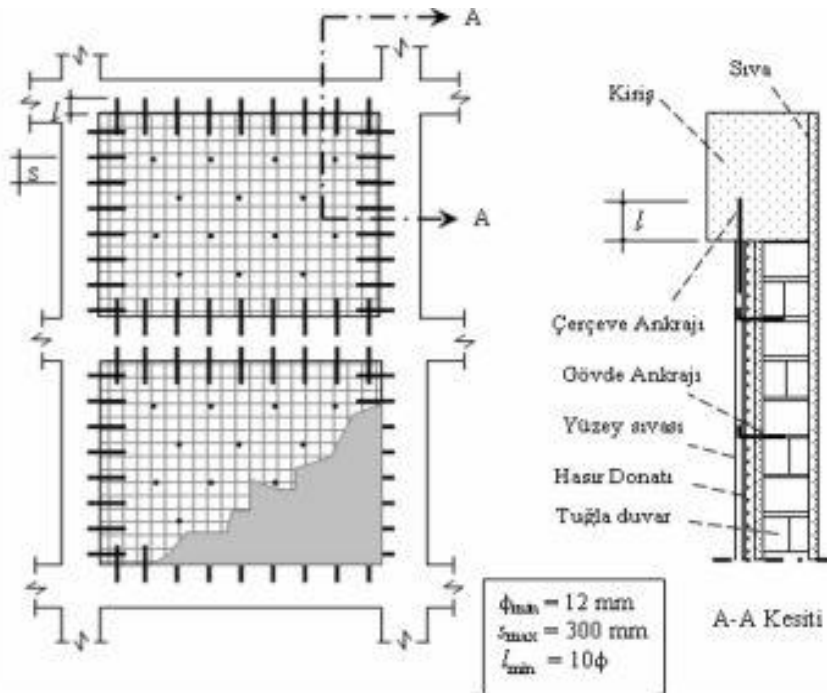
Mevcut ve kullanılan yığma yapılarda ki duvar boşluklarına bağlı olarak bu yapıların depreme karşı zayıf olan dirençleri çeşitli güçlendirme yöntemleri ile arttırılabilir. Bu yöntemler aşağıda kısaca ifade edilmiştir. Bunlar;

4.3.1. Çimento Enjeksiyonu ile Güçlendirme

Çimento enjeksiyonu yöntemi, zayıf ve düşük dayanımlı moloz taş duvarların mukavemetini artırmak için etkili bir yöntemdir. Bu yöntemle, taş duvarların içine yerleştirilen ince borular aracılığıyla düşük basınçta çimento şerbeti enjekte edilerek duvarın dayanıklılığı artırılmaktadır. Uygulama sonrasında duvarın her iki yüzeyinin sıva ile kaplanması hem estetik hem de koruyucu bir işlev görür. Erken dayanımı yüksek Portland çimentosu veya kendiliğinden yerleşen genleşen çimento kullanımı ise onarım sürecini hızlandırarak duvarın güçlendirilmesine katkıda bulunur. Bu tür yöntemler, özellikle deprem riski taşıyan bölgelerde, yapısal güvenliği artırmak için büyük önem taşır (Özsaraç 2008).

4.3.2. Çelik Elemanlar ile Güçlendirme

Taşıyıcı duvarların güçlendirilmesi için çelik levhaların kullanılması, yapısal dayanıklılığı artırmada etkili bir yöntemdir. Çelik levhalar, duvarların her iki yüzeyine veya doğrudan çatıya ve döşeme plaklarına sabitlenerek, yapısal bütünlüğü güçlendirebilir. Ayrıca, çatlakların büyümesini engellemek için dikine yerleştirilen çelik donatılar, yığma duvarların dayanıklılığını artırmada önemli bir rol oynar. Bu yöntemler, özellikle de deprem bölgelerinde, yapıların güvenliğini artırmak için kritik öneme sahiptir (Bayülke 1999).



Şekil 4.1. Hasır çelik donatı ile güçlendirilen duvarlar (Özsaraç 2008)

4.3.3. Betonarme Hatıllar ile Güçlendirme

Betonarme hatıl inşası, yığma yapıların dayanıklılığını artırmak için etkili bir yöntemdir. Düşey hatıl içermeyen uzun duvarlarda, betonarme hatıllar, duvarın yatay ve düşey yükleri taşıma kapasitesini artırarak, deprem gibi yatay yükler karşısında yapının stabilitesini sağlamaya yardımcı olur. Bu tür güçlendirme uygulamaları, özellikle zayıf dayanıklılığa sahip olan duvarların performansını iyileştirir ve genel yapı güvenliğini artırır. Ayrıca, hatılların doğru yerleştirilmesi ve tasarımı, yapının uzun ömürlü olmasını sağlamak için kritik öneme sahiptir (Kalkan 2008).

Bu yöntemde yatay betonarme bağ kirişlerinin kullanılması, yığma duvarların dayanıklılığını artırmak için etkili bir çözüm sunar. Kat seviyesinde yatay hatıl oluşturma zorluğu, mevcut yapının özellikleri nedeniyle sıkça karşılaşılan bir durumdur. Çatı yerinden kaldırılarak hatıl oluşturulması, yapının stabilitesini artırırken, aynı zamanda yük dağılımını da iyileştirir. Yığma yapılarda çerçeve oluşturulması, yapıların deprem dayanımını artırma açısından önemli bir yaklaşımdır. Bu tür güçlendirmelerin hem mevcut hem de gelecekteki inşa edilecek yapıların dayanıklılığına katkı sağlamak için detaylı bir şekilde ele alınması gerekmektedir (Kalkan 2008).

4.3.4. Ahşap Dikme ve Çaprazlarla Güçlendirme

Bu tür yapılar için ahşap dikme ve çaprazların kullanımı, yapının stabilitesini artırmak açısından oldukça etkili bir yöntemdir. Özellikle kapı ve pencere boşluklarının ahşap çerçevelerle desteklenmesi, deprem anında oluşan gerilmeleri dağıtabilir ve yapının bütünlüğünü koruyabilir. Kırsal alanlardaki geleneksel yapıların güçlendirilmesi, hem kültürel mirasın korunmasına yardımcı olur hem de insanların güvenliğini artırır. Bu konudaki tasarım önerileri, yapıların yerel koşullara uygun bir şekilde geliştirilmesine katkı sağlamaktadır (Kalkan 2008).

4.3.5. Normal Dökme Beton ile Güçlendirme

Bu metot, yığma duvarların güçlendirilmesinde yaygın olarak kullanılır ve uygulama sırasında dikkat edilmesi gereken birçok faktör vardır. Hasır çelik kullanımı, betonun dayanıklılığını artırmak için önemli bir adımdır. Ancak kalıp kurma ve beton dökme işlemleri, kullanıcılar için rahatsız edici olabilecek yapısal değişiklikler gerektirir. Dökülen betonun kalınlığının yer kaybını artırması, projenin dikkatli bir şekilde planlanmasını gerektirir. Ayrıca, betonun vibratörle sıkıştırılması, aderans sorunlarını önlemek için kritik bir adımdır. Yanlış projelendirme veya uzmanlık eksikliği durumunda, güçlendirme yöntemi verimsiz hale gelebilir.

Bu nedenle, uygulama öncesinde duvar yüzeyi ile beton arasındaki aderansın değerlendirilmesi ve projelendirme sürecinin titizlikle yürütülmesi büyük önem taşır. Yığma duvarların güvenliği için bu tür detaylara dikkat etmek, dayanıklılık ve yapı sağlığı açısından hayati önem taşıyor (Özsaraç 2008).

4.3.6. Kendiliğinden Yerleşen Beton ile Güçlendirme

Kendiliğinden yerleşen beton, son yıllarda inşaat sektöründe önemli bir yer edinmiştir. Kullanım kolaylığı ve homojen dağılımı sayesinde özellikle donatı yoğun projelerde tercih edilmesi, uygulama sürecini hızlandırır. Ayrıca, püskürtme betonun zorlukları göz önüne alındığında, kendiliğinden yerleşen betonun güçlendirme işlerinde alternatif bir çözüm sunduğu söylenebilir. Aderansın daha yüksek olması, yapısal dayanıklılığı artırırken, daha ince katmanların kullanılabilmesi de yer kaybını azaltarak maliyet etkinliği sağlar. Bu özellikleri, kendiliğinden yerleşen betonun modern inşaat projelerinde vazgeçilmez bir malzeme olmasını sağlamaktadır (Ediz 2006).

4.3.7. FRP ile Güçlendirme

Lif katkılı polimerler (Fiber Reinforced Polymers-FRP) kâgir yapıların güçlendirilmesinde son yıllarda önemli bir yer edinmiştir. Bu kompozit malzemeler, cam, karbon, aramid gibi çeşitli liflerle takviye edilmiş reçine karışımlarından oluşur. Lifler, yük taşıyan elemanlar olarak işlev görürken, reçine karışımı liflerin arasında yük dağılımını sağlar ve aynı zamanda çevresel etkenlere karşı koruma görevini üstlenir. FRP malzemeleri, hafiflikleri, yüksek mukavemetleri ve korozyona dayanıklılıkları ile geleneksel güçlendirme yöntemlerine kıyasla önemli avantajlar sunar. Bu özellikler, özellikle sismik dayanıklılık gereksinimleri olan bölgelerde kâgir yapıların güçlendirilmesi için tercih edilmesine neden olmaktadır (Özsaraç 2008).

FRP (Fiber Reinforced Polymer) malzemesinin çeliğe göre sahip olduğu avantajlar oldukça belirgindir. Daha yüksek çekme dayanımı, hafiflik ve korozyon direnci gibi özellikler, FRP'yi birçok yapı ve mühendislik uygulamasında cazip kılmaktadır. Ayrıca, uygulama kolaylığı da önemli bir faktördür. Ancak, yüksek Elastisite modülü ve sünme ile yorulma olaylarındaki yetersizlikleri, bazı durumlarda dezavantaj oluşturabiliyor. Bu nedenle, FRP malzemesinin kullanımı ile ilgili kararlar alınırken, bu özelliklerin dikkate alınması önem taşımaktadır. Özellikle, bu malzemelerin kullanılacağı yapıların tasarımında bu noktaların iyi değerlendirilmesi gerekir. (Özsaraç 2008).

FRP (Fiber Reinforced Polymer) malzemelerinin duvar yüzeylerine uygulanmasında yüzey hazırlığı oldukça kritik bir adımdır. Epoksi bazlı yapıştırıcıların etkin bir şekilde kullanılabilmesi için, yüzeyin düzgün ve temiz olması gerekir. Astar olarak kullanılan

malzeme, yüzeydeki pürüzlülüğü ve emiciliği artırarak, Epoksi reçinesi ile FRP arasındaki aderansı güçlendirir. Bu sayede güçlendirme işleminin dayanıklılığı ve performansı artırılmış olur. Ayrıca, yüzey hazırlığının titizlikle yapılması, uzun ömürlü ve etkili bir uygulama için gereklidir (Özsaraç 2008).

FRP malzemeleri, özellikle karbon fiber türü, son yıllarda Türkiye'de yapı güçlendirme süreçlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelerin en önemli avantajlarından biri, yapı kullanım sırasında çevreye zarar vermeden uygulanabilmeleridir. Ayrıca, kesitlerin şekline olumsuz bir etkisi olmaması da önemli bir artıdır. Ancak, üretim tekniklerinin zorluğu nedeniyle maliyetlerin yüksek olması, bu uygulamanın sınırlayıcı bir faktörü olabilir. FRP ile güçlendirme işlemlerinin uzman kişilerin denetiminde ve eğitilmiş işçiler tarafından gerçekleştirilmesi, uygulamanın güvenliği ve etkinliği açısından kritik bir öneme sahiptir (Özsaraç 2008).

4.3.8. Kullanılmış Araba Lastiği ile Güçlendirme

Bu yöntem, yenilikçi bir güçlendirme tekniği olarak, oldukça ilginç görünmektedir. Kullanılmış araba lastiklerinin yeniden değerlendirilmesi hem malzeme sürdürülebilirliği açısından faydalı hem de maliyet etkinliği sağlamaktadır. Yöntemin tuğla ve briket yığma duvarlar üzerindeki etkisinin bu kadar belirgin olması, pratik uygulamalarda önemli avantajlar sunmaktadır. Ancak, yapım maliyeti ve uygulanabilirlik konularının henüz araştırılması gerektiği belirtiliyor. Bu aşamada, teknik zorluklar, malzeme temini ve uygulama sürecinin karmaşıklığı gibi faktörlerin de değerlendirilmesi önemli olacaktır. Eğer bu yöntemin pratikte ne kadar etkili olacağı ve yaygın olarak benimsenip benimsenmeyeceği netleşirse, inşaat mühendisliği alanında önemli bir yenilik sağlanabilir (Türer vd., 2005).

4.3.9. Perde Duvar ile Güçlendirme

Yığma yapıların güçlendirilmesinde betonarme perde duvar kullanımı oldukça etkili bir yöntemdir. Bu süreçte, perde duvarların simetrik yerleştirilmesi, yapının deprem anındaki Rijitliğini artırarak, yatay deprem yüklerine karşı dayanıklılığını sağlar. Ayrıca, bu tür bir güçlendirme, yapının temelinden en üst kat seviyesine kadar uzandığı için, yapının genel stabilitesini ve güvenliğini de önemli ölçüde artırır. Böylece, özellikle deprem riski

yüksek olan bölgelerde, yığma yapıların güvenliğini sağlamak için etkili bir çözüm sunar (Türer vd., 2005).

Bu yöntemin yığma yapıların deprem mukavemetini artırmadaki etkisi önemli olmakla birlikte, uygulama sürecinin uzunluğu ve bina sakinlerinin o süreçte yapıyı kullanamamaları ciddi dezavantajlar oluşturmaktadır. Ayrıca, perde duvarın inşası için gerekli olan temeldeki sorunlar, mevcut yapılar üzerinde çalışmayı zorlaştırmaktadır. Kazı işlemleri, sınırlı alanlarda veya mevcut yapıların yakınında gerçekleştirildiğinde daha da karmaşık hale gelmektedir. Bu gibi durumlar hem mühendislik açısından zorluklar yaratıyor hem de inşaat sürecini uzatabiliyor (Türer vd., 2005).

Dıştan perde duvar ile güçlendirme yöntemi, özellikle mevcut binaların sismik dayanıklılığını artırmak için etkili bir tekniktir. Bu yöntemin avantajları arasında, temel kazısının kolay yapılabilmesi ve bina içindeki kalıp ve beton dökme işlemlerinin zorluklarından kaçınılabilmesi yer almaktadır. Ancak, dış yüzeylerden sabitleme işlemleri sırasında bağlantı sorunları yaşanabileceği de doğru. Bu tür sorunlar, güçlendirme işleminin etkinliğini azaltmaktadır. Ancak iyi bir mühendislik tasarımı ve detaylı bağlantı elemanları ile bu olumsuz etkiler en aza indirilebilir. Ayrıca, bina kullanımını kısıtlamadan güçlendirme yapabilme imkânı, bu yöntemi cazip kılıyor. Genel olarak, dıştan perde duvar uygulaması, dikkatli planlama ve uygulama ile başarılı bir güçlendirme çözümü sunabilir (Türer vd., 2005).

4.4. YIĞMA YAPILAR VE DEPREMLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Boşluk oranı açısından oluşturduğumuz yapı modellerine benzer Mevcut Yığma Yapıların deprem etkisi altında yıkılmaması, hasar almaması yada minimum hasar alması amacı ile güçlendirme yapılabilir. Böyle bir durumda ise güçlendirmenin hangi yöntemlerle yapılması gerektiği burada ki bilgiler kapsamında ifade edilebilir. Yığma yapıların deprem davranışları, depreme karşı güçlendirilmesi, mevcut yapı stoklarının kullanılmaya devam etmesi açısından önem arz etmektedir. Bu konularla ilgili birçok çalışma yapılmış olup bazıları kısaca aşağıda ifade edilmiştir. Bunlar;

Maraş ve Kılınç (2016), donatısız yığma yapılarda farklı onarım ve güçlendirme tekniklerinin değerlendirilmesini konu almıştır. Püskürtme beton, FRP uygulaması, yüksek dayanımlı harç uygulaması, ard germe, sargılama, çelik donatı uygulaması gibi

yöntemlerin avantaj ve dezavantajları derlenerek karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Çalışmada yüzeysel işlemlerle ve derz iyileştirmesi yaparak takviye uygulanmasının en düşük maliyeti gerektirmesi ve üst düzey işçilik gerektirmemesi sebebiyle en uygun yöntem olduğu belirtilmiştir.

Can vd., (2013), dağınık bir plan şekline sahip olan Küçük Mustafa Paşa Hamamı'nın hesap modeli üzerinde iki ayrı yükleme durumu uygulayarak tarihi yapının deprem etkisi altındaki performansını incelemiştir. İlk yüklemede durumu sabit yükleri, ikinci yüklemede durumu ise deprem spektrumu ile tanımlanan yer hareketinin yol açtığı zorlamaları içermektedir. Analiz sonuçlarının yorumlarında, dağınık plan geometrisi ve farklı yüksekliklerin neden olduğu düzensiz kütle dağılımı, tarihi yapıların analizi sırasında hazırlanan analitik modelleme tekniğinin önemine dikkat çekilmiştir.

Akgül ve Doğan (2019) çalışmalarında, yığma yapılarda kullanılan güçlendirme yöntemleri konulu çalışmalarda var olan ana ilkeler ve söz konusu çalışmaların sonuçlarına bağlı değerlendirmeler sunmuştur. Bu çalışmada hem deneysel, hem de sayısal analiz yöntemini kullanan farklı çalışmalar dikkate alınmıştır ve tarih içindeki değişim ve ilerleme tespit edilmiştir.

Zengin (2021), esnek diyaframlı tuğla yığma yapının deprem davranışını SAP2000 Sonlu eleman programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında düz ve hatıl olmak üzere iki tip yığma bina modellenmiştir. Yer değiştirme, Taban kesme ve Gerilme verileri Analiz sonuçları elde edilmiş ve iki model için karşılaştırılmıştır.

Yazgan (2023), güçlendirme çalışmaları kapsamında yapılan uygulamaların, yapılardaki mimari ve fonksiyonel özellikleri asgari düzeyde etkilemesine vurgu yapmıştır. Çalışmada, güçlendirmenin güvenlik açısından önemi de belirtilmiştir ancak yapının özgün durumunun korunmasının da öneminden bahsedilmiştir. Bu doğrultuda, İzmir Konak ilçesinde bulunan ve işlev değişikliği sebebiyle güçlendirilen bir yığma yapının mimari, fonksiyonel ve statik açıdan değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma sonucunda, özgünlük-güvenlik ilkesiyle optimizasyonun sağlandığı ve mimari bütünlüğün bozulmadığı sonucuna varılmıştır.

Sever (2023), yığma bir kemer yapısında FRP levha güçlendirmesinin etkisini incelemiştir. Çalışmada yığma bir kemer Sap2000 bilgisayar programında modellenmiştir

ve FRP uygulaması yapılmış hali ile yapılmamış hali modal analiz ve zaman tanım alanında analizlerle kıyaslanmıştır. Analiz sonuçlarına göre FRP levha ile güçlendirilen kemerde hâkim periyotlar kısalmıştır. Ayrıca güçlendirilmiş modelden elde edilen yer değiştirme değerleri, asal gerilmeler ve kayma gerilmeleri azalmıştır.

Bal ve Şimşek (2019), yığma bir yapının sayısal modelini hazırlayarak sonlu elemanlar yöntemiyle farklı lifli polimer güçlendirme yöntemlerinin etkisini incelemiştir. Çalışmada karbon esaslı lifli polimerlerin çubuk, kumaş ve şerit şeklinde uygulanabildiği belirtilerek hem tip olarak hem de farklı uygulama kombinasyonları anlamında farklı analizler yapılmıştır. Öncelikle, mevcut güçlendirilmemiş yapının periyotları ve göreceli ötelenme değerleri tespit edilmiştir, ardından güçlendirilmiş duruma ait değerler de belirlenip kıyaslamalar yapılmıştır. Sonuç olarak lifli polimer güçlendirme yöntemi ile yapısal güvenliğin sağlanabildiği gösterilmiştir.

Çambay (2023), Kahramanmaraş depremi sonrasında Adıyaman şehir merkezinde hasar gören bazı yığma yapılar ve dolgu duvarlar; yapısal düzensizlikler, uygulama yöntemleri ve kullanılan malzeme özellikleri açısından yerinde incelemiş ve hasarların nedenleri değerlendirmiştir. Çalışmada tarihi yapıların güçlendirme işlemi sonucunda depremde aldığı hasarlar değerlendirilmiştir. Yıkım gerçekleştikten sonra yerinde incelemelerde bulunulmuştur.

Rahman ve Ueda (2016), karbon FRP (CFRP) ve polietilen tereftalat-FRP (PET-FRP) şeklinde iki farklı fiber takviyeli polimer kullanarak güçlendirdikleri yığma duvarlarda düzlem içi kesme davranışını ele almıştır. Sonuçlar iki türde de kesme kapasitesinin arttığını göstermiştir ama CFRP kullanıldığında sünekliğin azaldığı tespit edilmiştir. PET-FRP'nin köşegenler doğrultusunda çapraz uygulandığı haldeki güçlendirilmiş duvarlar oldukça iyi bir süneklik davranışı sergilemiştir. FRP ve numuneler deneysel verilerle değerlendirilerek güçlendirme etkinliği üzerinde durulmuştur ve sonuç olarak PET-FRP'nin diyagonal uygulanması durumunda hem dayanım hem de süneklik anlamında en iyi performansın alındığı tespit edilmiştir.

Lunn ve Rizkalla (2013), FRP uç ankraj kullanımının etkisini de içeren, düzlem dışı yükleme altındaki FRP ile güçlendirilmiş yığma duvarların analiz ve tasarımı için bir yaklaşım önermiştir. Yaklaşımında, kemerlenme, kesme kayması, FRP-duvar aderansının

kaybolması ve FRP uç ankraj sisteminin hasar alması şeklinde dört farklı mod dikkate alınmıştır. Önerilen yaklaşım, iki deneysel veri sonuçları ile de iyi bir uyum göstermiştir.

Hamed ve Rabinovitch (2010), kompozit malzemelerle güçlendirilmiş düzlem dışı yükleme altındaki yığma duvarların hasar davranışlarını analitik ve deneysel olarak incelemiştir. Deneysel çalışma kapsamında, güçlendirilmiş duvar hasar alana kadar yüklenmiştir. Analitik çalışma kısmında ise farklı malzemelerin, harç-birim ara yüzlerinin ve bileşenlerin tüm yük spektrumundaki davranışını dikkate alabilen bir analitik model önerilmiştir. Deneysel ve teorik sonuçlar birbiri ile de kıyaslanarak, güçlendirilmiş duvarlardaki hasar mekanizmaları hakkında sonuçlar sunulmuştur.

Shabdin vd., (2019), püskürtme beton kullanılarak imal edilmiş yığma duvarlar üzerinde deneysel yöntemle düzlem içi çevrimsel yükler altındaki duvar davranışlarını incelemiştir. Çalışmada tam ölçekli üç numune kullanılmıştır ancak numunelerden biri referans olarak test edilmiştir. Diğer iki numune ise tek ve çift taraflı olmak üzere iki farklı yöntemle güçlendirilmiştir. Test sonuçlarına göre tek taraftan yapılan güçlendirme çok etkin olmamıştır ancak çift taraflı güçlendirme yapılan duvarda davranışın büyük ölçüde iyileştiği tespit edilmiştir.

Karbaschi vd., (2017), püskürtme beton ile güçlendirilen duvarların sismik performansa etkisini deneysel ve nümerik olarak incelemiştir. Çalışma kapsamında İran'da bulunan üç farklı okul ele alınmıştır ve güçlendirilen duvarlarda Schmidt çekici ve ultrasonik testler yapılmıştır. Sonuçlar birbirleriyle ve bazı başka deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sismik davranışın incelenmesi amacıyla sonlu elemanlar yöntemi ile yapılar modellenmiştir ve zaman tanım alanında analizler uygulanmıştır. Analiz sonuçlarına göre güçlendirilmiş yapıda frekanslar daha yüksektir ve yer değiştirmeler daha azdır. Bu durum, püskürtme beton ile yapılan güçlendirmenin sismik performansı arttırdığını göstermiştir.

Dardaei vd., (2015), çelik fiber ve polipropilen püskürtme beton kullanılarak güçlendirilmiş sargılı yığma duvarların düzlem içi davranışlarını deneysel ve analitik olarak incelemiştir. Deneylerde, referans olarak kullanılan güçlendirilmemiş duvar, tek tarafına 50 mm kalınlığında çelik fiber ve yine tek tarafına 50 mm propilen fiber püskürtme beton uygulanmış üç farklı duvar kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre çelik fiberli duvarda %92, polipropilenli duvarda %87 oranında kesme kapasitesi artışı

olmuştur. Çelik fiber hem dayanım hem de süneklik açısından daha iyi performans göstermiştir. Ayrıca, deneysel verilerle kalibre edilerek, kesme dayanımı ve çatlak formunu tahmin etmek amacıyla bir analitik çalışma sunulmuştur.

Altoubat vd., (2018), yığma duvarların fiber takviyeli püskürtme beton ile güçlendirilmesi üzerine çalışmıştır ve güçlendirilen duvarların düzlem dışı davranışını konu almıştır. Çalışmada, donatılı ve donatısız olarak farklı tiplerde püskürtme beton kullanılmıştır. Donatı olarak da fiber donatı ve çelik hasır olmak üzere farklı tipler uygulanmıştır. Testlerin sonucuna göre güçlendirilmiş duvarlarda, dayanım, Rijitlik ve süneklik açılarından, güçlendirilmemiş duvarlara kıyasla 3-4 kat daha yüksek değerler elde edilmiştir.

Lin vd., (2014), donatısız kil tuğla yığma duvarlarda farklı kalınlıklarda uygulanan püskürtme betonun, duvarın kesme dayanımına etkisini deneysel olarak incelemiştir. Sonuçlara göre kalınlık arttıkça kesme dayanımında önemli bir artış görülmektedir. Ayrıca bir ve iki katmanlı duvarlarda bu tür bir güçlendirme oldukça etkinken, daha fazla katman uygulamasında etkinliğin azaldığı tespit edilmiştir. Yazarlara göre, güçlendirilmiş duvarlarda süneklik artışı, güçlendirilmemiş duruma göre %220 mertebelerindedir ve güçlendirme sonrasında kesme dayanımında da önemli bir artış sağlanmaktadır.

Ghezelbash vd., (2020), asimetrik açıklıklara sahip bir yarım ölçekli donatısız yığma binada gerçekleştirilen sarsma tablası testlerinin sonuçlarını sunmuştur. İlk olarak, güçlendirilmemiş yapı, artan şiddette sismik titreşimlere maruz bırakılmış ve ardından çelik ağ ve püskürtme betonla güçlendirilmiştir. Duvarların kesişiminde içten içe, içten dışa ve dıştan dışa olmak üzere üç farklı püskürtme beton bağlantı durumu ele alınarak güçlendirme uygulaması değerlendirilmiştir. Yapılan deney sonucunda, püskürtme beton kalınlığı arttıkça duvarın gerilme-şekil değiştirme kapasitelerinde artış olduğu, duvarda diyagonal çekme kuvvetlerinden dolayı oluşan kırılma direncinin arttığı ve bu artışın püskürtme beton kalınlığı ile doğru orantılı olduğu görülmüştür. Tuğla ile püskürtme beton arasında güçlü bir bağ oluşmuştur ve hasarlı binaların onarımında bu yöntemin etkinliği yazarlar tarafından vurgulanmıştır.

Khan vd., (2015), 8 farklı tuğla duvar numunesi kullanarak diyagonal çekme testleri uygulamıştır. Numunelerden iki tanesi güçlendirilmemiştir ancak diğer altı adet numunede farklı kalınlıklarda püskürtme beton uygulamaları yapılmıştır. Numunelerin

kırılma modu ve gerilme-şekil değıştirme parametreleri üzerinden güçlendirme tekniklerinin etkinliğı konu alınmıştır. Sonuçlara göre, püskürtme beton kalınlığı arttıkça duvarın gerilme-şekil değıştirme kapasitelerinde artış olduğı, duvarda diyagonal çekme kuvvetlerinden dolayı oluşan kırılma direncinin arttığı ve bu artışın püskürtme beton kalınlığı ile doğru orantılı olduğı görölmüştür. Ayrıca püskürtme beton ile güçlendirilen duvarlarda kesme ve süneklik kapasitesi açısından iyileştirme olduğı sonucuna varılmıştır.



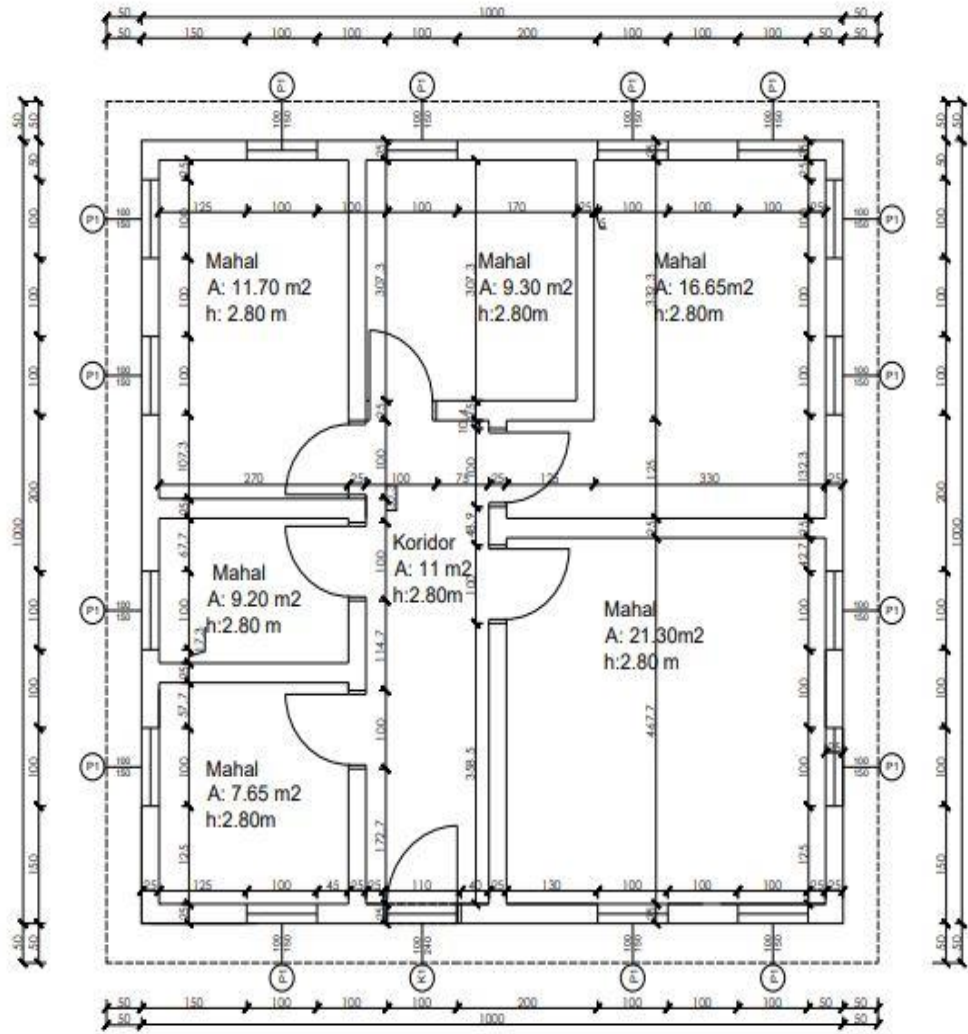
5. TASARLANAN YIĞMA YAPI MODELLERİ VE PROJE ÖZELLİKLERİ

Yığma yapılar daha çok kırsal bölgelerde yapılan yapılardır. Bu çalışmada amaç duvar boşluklarının yapının deprem etkisi altında ki davranışlarına etkisini incelemek ve bu boşlukların deprem açısından etki düzeylerini belirlemektir. Bu nedenle yapılacak analizlerde sonuçları etkileyebilecek birçok faktörün minimize edilmesi ve sadece duvar boşluklarının etkisinin görülebilmesi amacı ile yığma yapı 10x10 m ölçülerinde kare olarak seçilmiştir. Bununla birlikte deprem kuvvetleri yapıya hem x, hem de y yönlerinden gelebileceği için yapının depreme karşı direncinde yön açısından cephesinin farklı boyutlarda olmasına bağlı olarak analiz sonuçlarının bu boyut değişkeninden etkilenmemesi amacı ile en yalın olan ve tamamen duvar boşluklarının etkisini ortaya koyabileceğimiz kare kesitli yapı modelleri oluşturulmuştur. Bu modeller oluşturulurken mimari kaygılardan ziyade yapının depreme karşı dayanımı esas alınmıştır.

Yığma binalarda duvar boşluk oranlarının binanın deprem davranışına etkisinin incelenebilmesi amacı ile Toplam 5 adet yığma bina modeli projelendirilmiştir. Bu binalarda pencere denizlik seviyelerine kadar olan yükseklik hepsinde sabit değer olarak 90 cm alınırken pencere yükseklikleri de hepsinde sabit olarak 150 cm alınmıştır. Kat yüksekliği 280 cm ve çatı en üst noktası da 460 cm olarak oluşmuştur. Oluşturulan yapı modellerinde duvar boşlukları 1. Model olan referans yapı modeli 2018 deprem yönetmeliği plan şartlarına uygun olarak projelendirilmiştir. Taşıyıcı duvarlarda bırakılan kapı ve pencere boşlukları Şekil 5.1’de verilen kurallara göre oluşturulmuştur. Diğer yapı modellerinde ise 2. modelde hiç duvar boşluğu bırakılmamış olup dış duvarlar boşluksuz olarak projelendirilmiştir. 3. Modelde ise dış duvar boşluk oranı %10, 4. Modelde %20 ve 5. Modelde ise %30 olarak dış duvar boşlukları oluşturulmuştur. Yapı modellerinin iç kısımlarında oluşturulan mahallerin tamamı aynı ölçülerde, aynı kapı boşluğunda ve birbirinin aynısı olacak şekilde projelendirilmiştir. Yapı modellerinin iç kısımları aynı olduğu için tek değişken dış duvar boşlukları olarak dikkate alınmıştır. Dış duvar boşlukları referans proje, %0, 10, 20 ve 30 oranında boşluk olarak planlanmış ve analiz edilmiştir. Oluşturulan yapı modellerinin basit planları ve genel özellikleri aşağıda alt başlıklar halinde verilmiştir.

5.1. BİRİNCİ “REFERANS YAPI” MODELİ

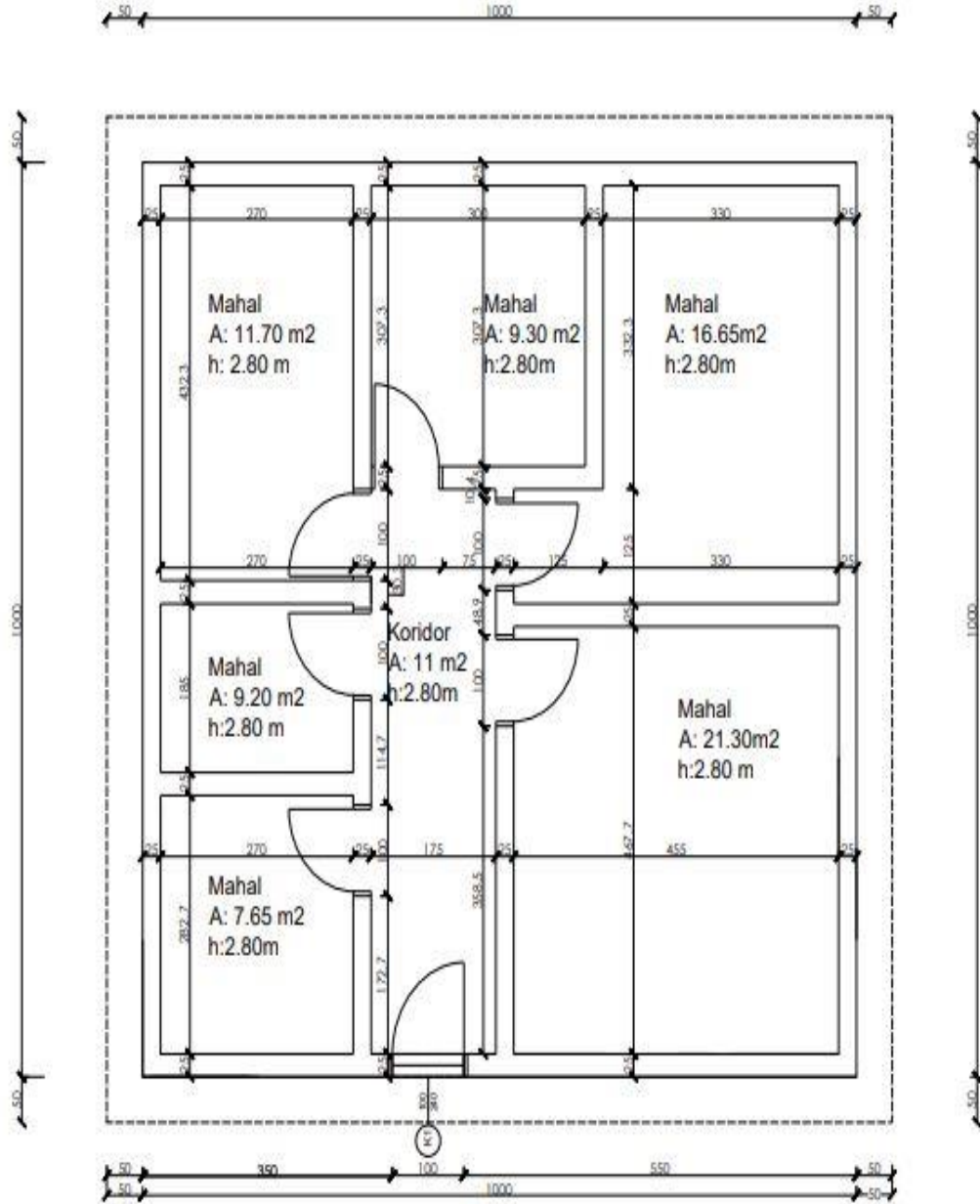
Referans yapı modelinde planımız 10x10 m kare plan olarak tasarlanmış olup dış duvar, kapı, pencere ve dış boşlukları 2018 Deprem yönetmeliği şartlarına uygun olarak yapılmıştır. Oluşturulan pencere boşlukları 100 cm genişliğinde ve 150 cm yüksekliğinde planlanmış olup 1 koridor ve 6 ayrı mahalden oluşturulmuştur. Yapının dış duvarında ki kapı-pencere boşluk oranları, ilgili doğrultuda ki duvar yüzey alanının %'si cinden %21,4'dür. Birinci “Referans Yapı” modeli basit planı Şekil 5.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Birinci “referans yapı” modelinin basit planı

5.2. İKİNCİ YAPI MODELİ

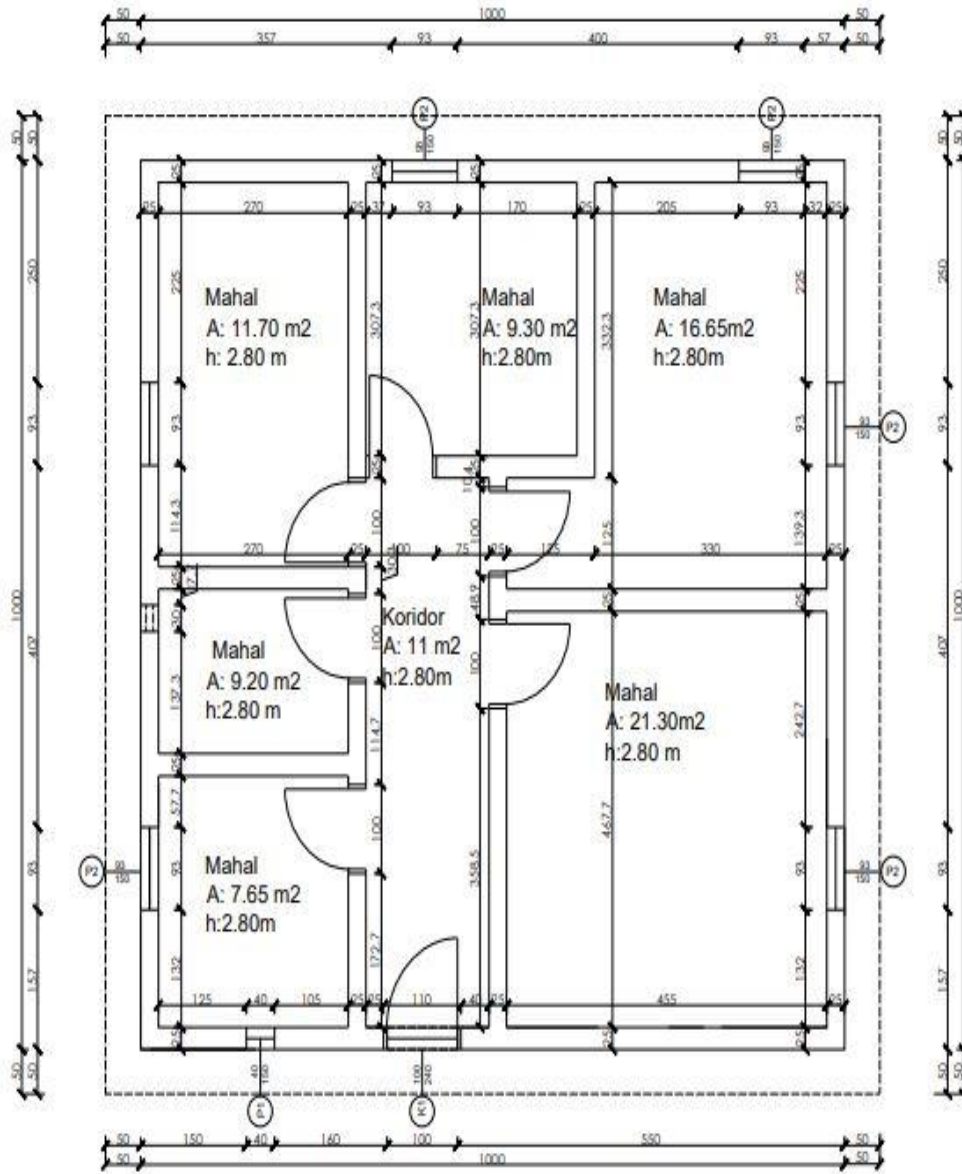
İkinci yapı modelinde de planımız 10x10 m kare olarak tasarlanmış olup dış duvarda hiç kapı-pencere boşluğu bırakılmadan dolu gövdeli duvar olarak tasarlanmıştır. Dış duvarda boşluk oranı, ilgili doğrultuda ki duvar yüzey alanının %'si cinden %0'dır. Yapının iç mahalleri referans modelin aynısı olarak 1 koridor ve 6 ayrı mahalden oluşturulmuştur. İkinci yapı modelinin basit planı Şekil 5.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. İkinci yapı modelinin basit planı

5.3. ÜÇÜNCÜ YAPI MODELİ

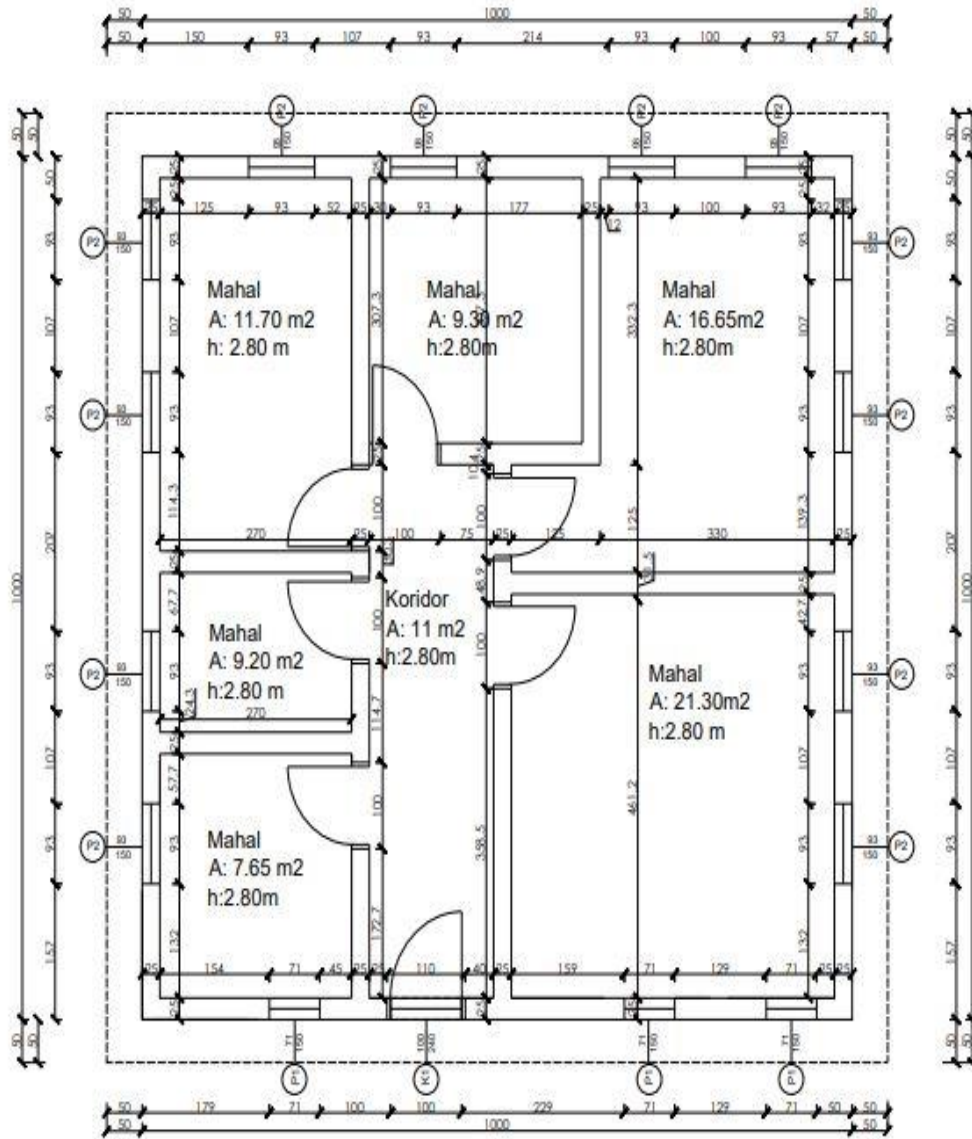
Üçüncü yapı modelinde de planımız 10x10 m kare plan olarak tasarlanmış olup dış duvar, kapı, pencere ve dış boşlukları dış duvarlarda ilgili aks doğrultusunda ki duvar yüzey alanlarının %10'u oranında yapılmıştır. Oluşturulan kapı-pencere boşlukları planda her bir cephe için ayrı ayrı gösterilmiş olup pencere yükseklikleri sabit değer olarak 150 cm yüksekliğinde planlanmıştır. Yapı modeli diğer modellerde olduğu gibi 1 koridor ve 6 ayrı mahalden oluşturulmuştur. Üçüncü yapı modelinin basit planı Şekil 5.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Üçüncü yapı modelinin basit planı

5.4. DÖRDÜNCÜ YAPI MODELİ

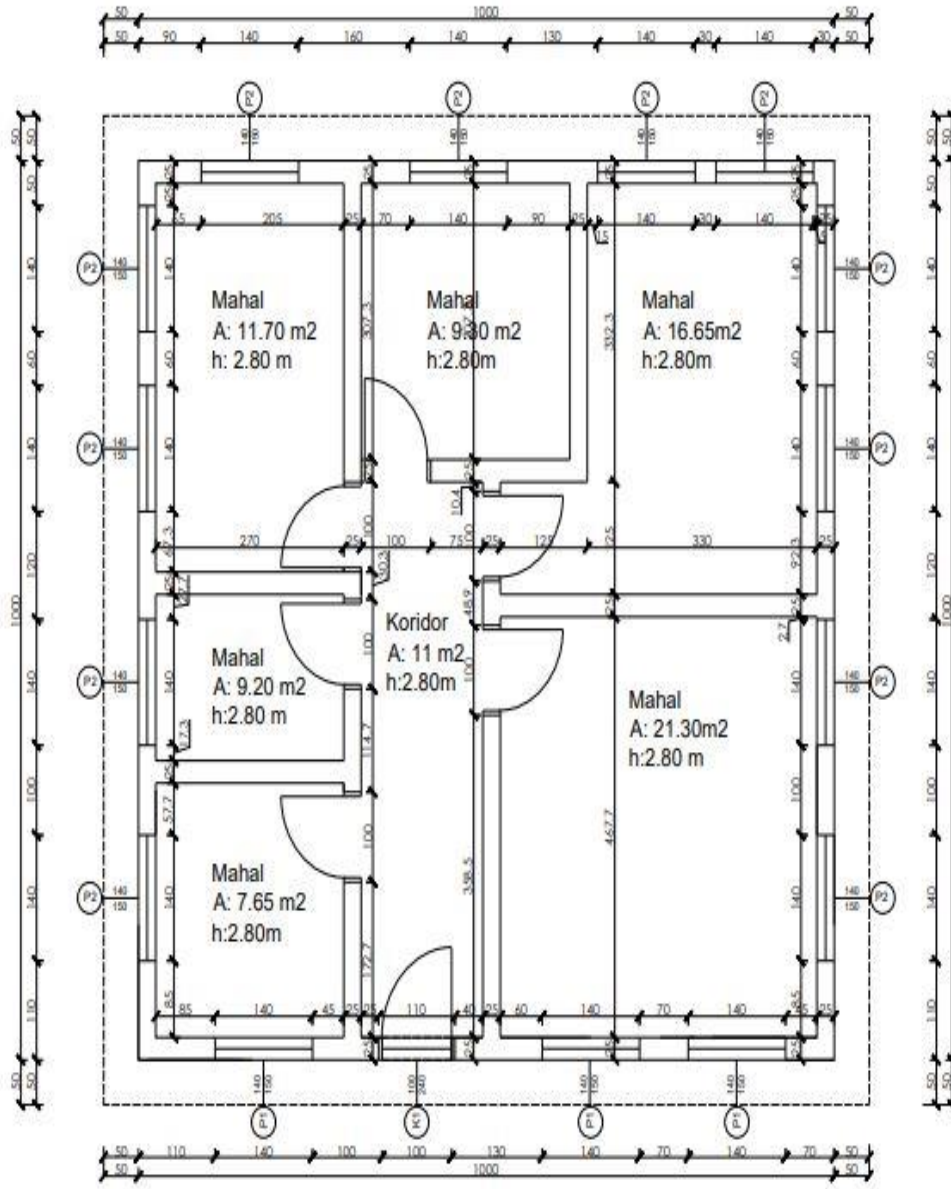
Dördüncü yapı modelinde de planımız 10x10 m kare plan olarak tasarlanmış olup dış duvar, kapı, pencere ve dış boşlukları dış duvarlarda ilgili aks doğrultusunda ki duvar yüzey alanlarının %20'si oranında yapılmıştır. Oluşturulan kapı-pencere boşlukları planda her bir cephe için ayrı ayrı gösterilmiş olup pencere yükseklikleri sabit değer olarak bu planda da 150 cm alınmıştır. Yapı modeli diğer modellerde olduğu gibi 1 koridor ve 6 ayrı mahalden oluşturulmuştur. Dördüncü yapı modelinin basit planı Şekil 5.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Dördüncü yapı modelinin basit planı

5.5. BEŞİNCİ YAPI MODELİ

Beşinci yapı modelinde de planımız 10x10 m kare plan olarak tasarlanmış olup dış duvar, kapı, pencere ve dış boşlukları dış duvarlarda ilgili aks doğrultusunda ki duvar yüzey alanlarının %30'u oranında yapılmıştır. Oluşturulan kapı-pencere boşlukları planda her bir cephe için ayrı ayrı gösterilmiş olup pencere yükseklikleri sabit değer olarak bu planda da 150 cm alınmıştır. Yapı modeli diğer modellerde olduğu gibi 1 koridor ve 6 ayrı mahalden oluşturulmuştur. Beşinci yapı modelinin basit planı Şekil 5.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Beşinci yapı modelinin basit planı

6. PERFORMANS ANALİZ SONUÇLARI

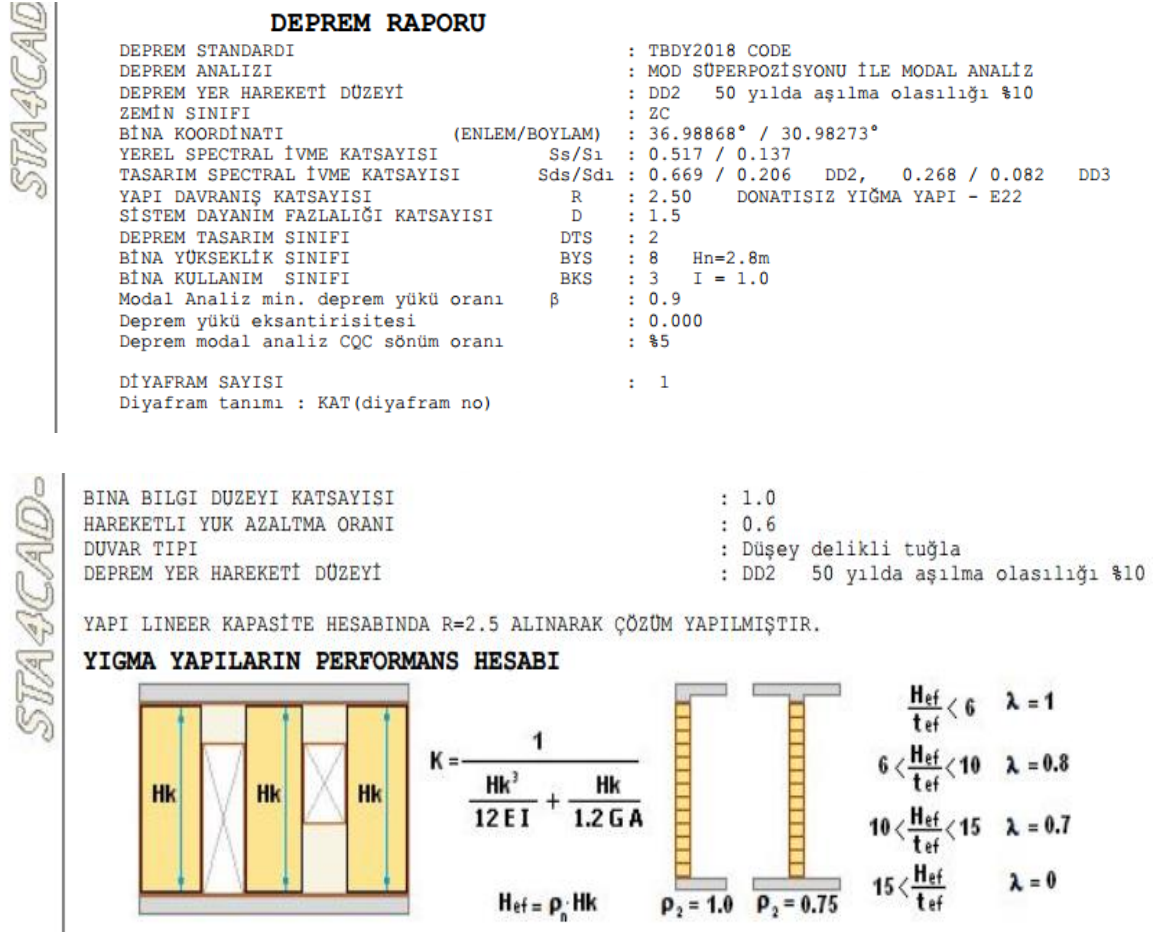
Yapı modellerinin Deprem performans analizleri Sta-4 CAD paket program ile yapılmıştır. Ülkemizde projelendirilen yapıların mimari tasarımında ve statik analizlerinde çok çeşitli ticari paket programlar kullanılmaktadır. Bunların birbirlerine karşı üstünlükleri ya da zayıflıklarının incelenmesi farklı bir çalışma ile yapılabilir. Bu çalışmada, Sta-4 CAD paket programının kullanılmasının özel bir amacı bulunmamaktadır. Bu program piyasada yaygın olarak kullanılan ticari programlardan bir tanesidir. Kaldı ki artık günümüzde paket program kullanmadan ne mimari ne de statik bir proje yapmak mümkün değildir. Analizde kullanılan parametreler ve analiz sonuçları şekiller ve tablolar halinde verilmiştir. Yapının genel özellikleri ve kullanılan analiz parametreleri Şekil 6.1.'de gösterilmiştir.

```
PROJE İSMİ.....: yağma
KAT ADEDİ.....: 1
Bir kattaki KOLON SAYISI.....: 0
X yönü aks sayısı.....: 31
Y yönü aks sayısı.....: 22
DEPREM YER HAREKETİ DÜZEYİ.....: DD2    50 yılda aşılma olasılığı %10
ZEMİN SINIFI.....: ZC
BİNA KOORDİNATI..... (ENLEM/BOYLAM) : 36.98868° / 30.98273°
YEREL SPECTRAL İVME KATSAYISI..... Ss/S1 : 0.517 / 0.137
YAPI DAVRANIŞ KATSAYISI..... R : 2.50
SİSTEM DAYANIM FAZLALIĞI KATSAYISI..... D : 1.5
SPEKTRUM KAREKTERİSTİK PERİYODU..... (Ta/Tb) : 0.062 / 0.308
HAREKETLİ YÜK KATSAYISI..... (n) : 0.3
SIFIR RÖLATİF HAREKET YÜKSEKLİĞİ..... (m) : 0.00
HAREKETLİ YÜK AZALTMA KATSAYISI..... (Cz) : 1.0
ZEMİN TAŞIMA GÜCÜ TASARIM GERİLMESİ..... (t/m²) : 21.0
ZEMİN YATAK KATSAYISI..... (t/m³) : 1500.0
BETON YOĞUNLUĞU..... (t/m³) : 2.5
GENLEŞME İSİ FARKI..... (°C) : 0.0
STATİK ANALİZ YÖNTEMİ.....: FEA3D LINEER ANALİZ / Birim Mesh Genisliği 1m
DEPREM STANDARDI.....: TBDY2018 CODE
BETONARME HESAP YÖNTEMİ.....: TAŞIMA GÜCÜ YÖNTEMİ TS500-2000
DEPREM HESABI YÖNTEMİ.....: BRÜT KESİTE GÖRE
TEMEL ANALİZ OPSİYONU.....: MOD SÜPERPOZİSYONU İLE MODAL ANALİZ
Zemin gerilmesi hareketli yük azaltma değeri.....: TEMELLER DİKKATE ALINMADAN, YAPI ANALİZİ
Kolonun oturduğu kiriş tesir çarpanı.....: 1.00
Kiriş & Kolon rijitlik bölgesi opsiyonu.....: Düşey deprem analizi yapılmıştır.
Kiriş uçlarında elastik ankastrelik opsiyonu : Yarı Sonsuz Rijit davranış
Kiriş uçlarında elastik ankastrelik opsiyonu : Elastik ankastre
```

```
PROJE İSMİ.....: yağma
KAT ADEDİ.....: 1
Bir kattaki KOLON SAYISI.....: 0
X yönü aks sayısı.....: 31
Y yönü aks sayısı.....: 22
DEPREM YER HAREKETİ DÜZEYİ.....: DD2    50 yılda aşılma
ZEMİN SINIFI.....: ZC
BİNA KOORDİNATI..... (ENLEM/BOYLAM) : 36.98868° / 30.98273°
YEREL SPECTRAL İVME KATSAYISI..... Ss/S1 : 0.517 / 0.137
YAPI DAVRANIŞ KATSAYISI..... R : 2.50
SİSTEM DAYANIM FAZLALIĞI KATSAYISI..... D : 1.5
SPEKTRUM KAREKTERİSTİK PERİYODU..... (Ta/Tb) : 0.062 / 0.308
HAREKETLİ YÜK KATSAYISI..... (n) : 0.3
SIFIR RÖLATİF HAREKET YÜKSEKLİĞİ..... (m) : 0.00
HAREKETLİ YÜK AZALTMA KATSAYISI..... (Cz) : 1.0
ZEMİN TAŞIMA GÜCÜ TASARIM GERİLMESİ..... (t/m²) : 21.0
ZEMİN YATAK KATSAYISI..... (t/m³) : 1500.0
BETON YOĞUNLUĞU..... (t/m³) : 2.5
GENLEŞME İSİ FARKI..... (°C) : 0.0
STATİK ANALİZ YÖNTEMİ.....: FEA3D LINEER ANALİZ / Birim Mesh Genisliği 1m
DEPREM STANDARDI.....: TBDY2018 CODE
BETONARME HESAP YÖNTEMİ.....: TAŞIMA GÜCÜ YÖNTEMİ TS500-2000
BETONARME KESİT DONATI HESAP YÖNTEMİ.....: BRÜT KESİTE GÖRE
DEPREM HESABI YÖNTEMİ.....: MOD SÜPERPOZİSYONU İLE MODAL ANALİZ
TEMEL ANALİZ OPSİYONU.....: TEMELLER DİKKATE ALINMADAN, YAPI ANALİZİ
Zemin gerilmesi hareketli yük azaltma değeri.....: 1.00
Kolonun oturduğu kiriş tesir çarpanı.....: Düşey deprem analizi yapılmıştır.
Kiriş & Kolon rijitlik bölgesi opsiyonu.....: Yarı Sonsuz Rijit davranış
Kiriş uçlarında elastik ankastrelik opsiyonu : Elastik ankastre
```

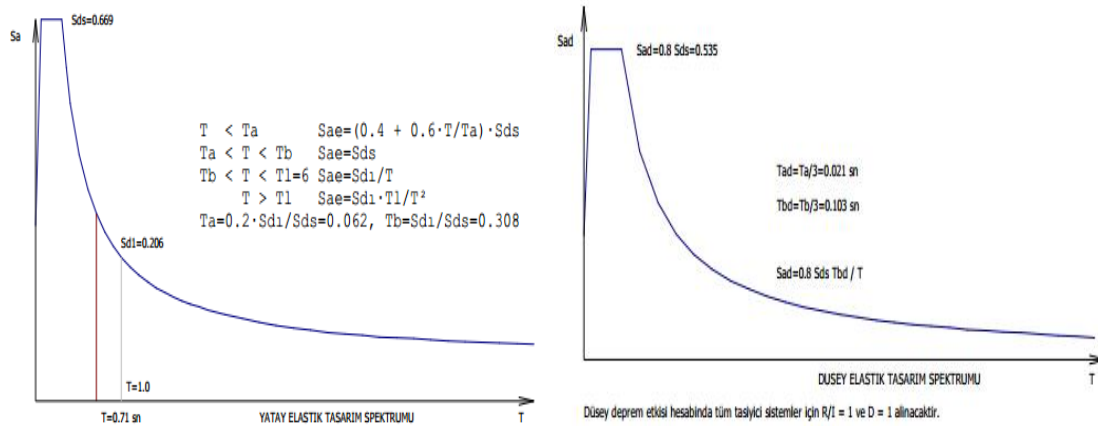
Şekil 6.1. Yapı modellerinin deprem performans analiz sonuçları

Yapının dinamik analizi modal analiz ile yapılmış olup analiz parametreleri ve deprem raporu Şekil 6.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Yapı modellerinin dinamik analizi ve deprem raporu

Yapının dinamik analizinde kullanılan tasarım spektrum bilgileri “Yatay elastik tasarım spektrumu ve Dikey elastik tasarım spektrum grafikleri” Şekil 6.3.’te gösterilmektedir.



Şekil 6.3. Yapı modellerinin dinamik analizi ve deprem raporu

6.1. KÜTLE VE RİJİTLİK MERKEZİ

Yapı modellerinin ölü yükleri W_g , hareketli yükleri W_q , hareketli yük azaltma katsayıları ($n=0,3$) taşıyıcı sistem davranış katsayıları $R=2,5$ ve Dayanım fazlalığı katsayıları $D=1,5$ olarak alınmıştır. Yapı modellerinin kat kütleleri Tablo 6.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1. Yapı Modellerinin Kat Kütleleri

Yapı Modelleri/ Kütle Parametreleri	1.Referans yapı modeli (%21,4)	2. Yapı modeli (%0)	3. Yapı modeli (%10)	4. Yapı modeli (%20)	5. Yapı modeli (%30)
W_g , Sabit ağırlıklar	114,03	168,4	152,75	119,08	108,6
W_q Hareketli ağırlıklar	13,33	13,28	12,21	13,53	13,26
$\sum W_k$ Azaltılmış hareketli yük ilavesi ile	118,03	172,38	156,41	123,14	112,58

Analiz sonuçları için 1.Referans yapı modelinin analiz sonuçları Şekil 6.4.'te örnek olarak detaylı şekilde verilmiş olup diğer yapı modelleri de aynı şekilde analiz edilmiş ancak hesap çıktıları yerine hesap sonuçları 5 yapı modeli için tek bir tabloda Tablo 6.1'de yukarıda verilmiştir.

EŞDEĞER DEPREM HESABI 1. DOĞAL TİTREŞİM PERİYODUNUN KONTROLÜ

$H_n=2.8m$ $C_{tx}=0.07$ $C_{ty}=0.07$

$T_{1x}=C_{tx} \cdot H_n^{3/4} = 0.152 \text{ s.}$, $T_x = 0.121 \text{ s.} < 1.4 \times 0.152 \text{ s.} >> T_{x1}=0.121 \text{ s.}$

$T_{1y}=C_{ty} \cdot H_n^{3/4} = 0.152 \text{ s.}$, $T_y = 0.130 \text{ s.} < 1.4 \times 0.152 \text{ s.} >> T_{y1}=0.13 \text{ s.}$

KAT KÜTLESİ ve RİJİTLİK MERKEZİ (t)

Kat (dyf)	H (m)	W_g	W_q	n	R R_x/R_y	D D_x/D_y	$\sum W_k$
1	2.80	114.03	13.33	0.30	2.5	1.5	118.035

$\sum W_t = 118.035$

EŞDEĞER DEPREM FORMÜLÜ $F_{di} = (V_t - F_t) \frac{W_i \cdot H_i}{\sum W_i \cdot H_i}$

Şekil 6.4. Referans yapı modelinin analiz sonuçları

6.2. YAPI MODELLERİNE ETKİ EDEN DEPREM KUVVETLERİ

Yapı modellerine etki eden Deprem Kuvvetleri her bir yapı modeli için hesaplanmış ve hesap sonuçları aşağıda ki Tablo 6.2’de birlikte gösterilmiştir.

Tablo 6.2. Yapı Modellerine Etki Eden Deprem Kuvvetleri

Yön	Yapı Modelleri/Deprem Kuvvetleri (t)	1.Referans yapı modeli (%21,4)	2. Yapı modeli (%)	3. Yapı modeli (%10)	4. Yapı modeli (%20)	5. Yapı modeli (%30)
X yönü için	Modal Analiz	18,69	27,83	26,53	20,06	17,23
	Eşdeğer Deprem Yöntemi	31,62	46,14	41,88	33,00	30,17
	Deprem Yüğü	28,46	41,52	37,69	29,703	27,15
Y yönü için	Modal Analiz	18,012	25,05	28,72	17,72	19,25
	Eşdeğer Deprem Yöntemi	31,62	46,14	41,88	33,00	30,17
	Deprem Yüğü	28,46	41,52	37,69	29,70	27,15

Analiz sonuçları için 1.Referans yapı modelinin analiz sonuçları Şekil 6.5.’te örnek olarak aşağıda detaylı şekilde verilmiş olup diğer yapı modelleri de aynı şekilde analiz edilmiş ancak hesap çıktıları yerine hesap sonuçları 5 yapı modeli için tek bir tabloda Tablo 6.2.’de yukarıda verilmiştir.

DEPREM KUVVETİ (t)		0.24 Fty= 0.24 (t)						
Deprem tepe yükü		X YÖNÜ		Y YÖNÜ				
Kat no	Modal Analiz	Eşdeğer dep.yön.	Deprem yükü	Kat tipi	Modal Analiz	Eşdeğer dep.yön.	Deprem yükü	Kat tipi
1	18.697	31.623	28.461	UST KAT	18.015	31.623	28.461	UST KAT
Σ	18.697	31.623	28.461	GENEL	18.015	31.623	28.461	GENEL

Fea3d analizde ek dışmerkezlik etkisi; Ami=mixe² kütle artımı ile düzenlenmiştir.

Vtx= 31.62 > 0.04.I.Sds.W = 3.16 TBDY2018 4.7.1.1

Vty= 31.62 > 0.04.I.Sds.W = 3.16

X Deprem kontrol: 0.90 x 31.623 = 28.461 > 18.697 >>> 28.461

Y Deprem kontrol: 0.90 x 31.623 = 28.461 > 18.015 >>> 28.461

YAPI DEPREM YÜKLERİ (t)
Yapı periyodları $T_x=0.121$ $T_y=0.130$ $R=2.5$
X yönü $W=118.19$ $F_{deprem}=31.62$ tepe yükü $F_d=0.24$
Y yönü $W=118.19$ $F_{deprem}=31.62$ tepe yükü $F_d=0.24$

Kat (Dyf)	F modal X	F eşdeğer X	F deprem X	F modal Y	F eşdeğer Y	F deprem Y
1 (1)	18.70	31.62	28.46	18.01	31.62	28.46
Σ	18.70	31.62	28.46	18.01	31.62	28.46

X Deprem kontrol: $0.90 \times 31.623 = 28.461 > 18.697 >>> 28.461$
Y Deprem kontrol: $0.90 \times 31.623 = 28.461 > 18.015 >>> 28.461$

Şekil 6.5. Referans yapı modelinin deprem kuvveti analiz sonuçları

6.3. GÖRELİ KAT ÖTELENMELERİ

Yapı modellerinin “x” ve “y” yönleri için hesaplanan maksimum Deprem deplasmanları ve minimum Deprem derzleri Tablo 6.3. ‘te aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 6.3. Maksimum Deprem Deplasmanları Ve Minimum Deprem Derzleri

Yapı Modelleri/ Deplasmanlar (mm)	1.Referans yapı modeli (%21,4)	2. Yapı modeli (%0)	3. Yapı modeli (%10)	4. Yapı modeli (%20)	5. Yapı modeli (%30)
uiX (Deplasman x yönü için mm)	1,1	0,5	0,7	0,9	1,3
uiY (Deplasman y yönü için mm)	1,20	1,10	1,15	1,21	1,30
Min.diX mm	30,0	30	30	30	30
Min.diY mm	30,0	30	30	30	30

u_i = Binaının i’nci katında göz önüne alınan deprem doğrultusunda azaltılmış deprem yükleri altında göre hesaplanan yatay yer değiştirme

(Deprem derzi, 2018 deprem yönetmeliği madde 4.9.3.2. ye göre 6m yüksekliğe kadar en az 30 mm, 6 m’den sonra her 3 m için en az 10 mm eklenecektir.)

Analiz sonuçları için 1.Referans yapı modelinin analiz sonuçları örnek olarak Şekil 6.6.’te örnek olarak aşağıda detaylı şekilde verilmiş olup diğer yapı modelleri de aynı şekilde analiz edilmiş ancak hesap çıktıları yerine hesap sonuçları 5 yapı modeli için tek bir tabloda yukarıda verilmiştir. Düşey doğrultuda hiç bir yapı modelinde B1 Düşey doğrultu düzensizliği görülmemiştir.

TBDY2018-4.9.3.1 Maksimum Deprem deplasmanı ve minimum deprem derzi (mm)
 $\alpha = 0.5$ (R/I) = 1.250

Kat	Hi (m)	uiX	uiY	min. diX	min. diY
1	2.800	1.1	1.2	30.0	30.0

Hi ≤ 6m min.di=30mm
Hi > 6m min.di=30+10·[(Hi-6)/3] mm

B1-Düşey doğrultudaki düzensizliklerinin kontrolü

Kat	Aw	Agx	Agy	Akx	Aky	Σ Aex	Σ Aey	ncix	nciy	AÇIKLAMA
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	üst kat ✓

Ba=Bax+0.3×Bay, Ba=0.3×Bax+Bay :
Kirişlerde, Kolonlarda; (Ba=Bax+0.3×Bay, Ba=0.3×Bax+Bay) düzeltmesi yapılmıştır.

Şekil 6.6. Referans yapı modelinin analiz sonuçları

6.4. DÜZENSİZLİKLER VE SINIR DEĞERLERİ

Yapı modellerinin “x” ve “y” yönleri için A1, B2 düzensizliklerinin kontrolleri yapılmış olup sonuçlar tüm yapı modelleri için Tablo 6.4.’te aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 6.4. Yapı Modellerinin “X” ve “Y” Yönleri İçin A1, B2 Düzensizlikleri

	Yapı Modelleri /A1, B2 Düzensizlikleri	1.Referans yapı modeli (%21,4)	2. Yapı modeli (%0)	3. Yapı modeli (%10)	4. Yapı modeli (%20)	5. Yapı modeli (%30)
X Yönü için	Δx_{ort}	0,001	0,001	1501,25	0,001	7947,88
	nbi	0,00	0,00	1,0	0,0	1,0
	nki	0,00	0,00	0	0,0	0,0
	$(\lambda \cdot R/I) \cdot \Delta x/h$	0,00000	0,00000	536,44	0,0	2840,01
	ϕ_i	0,00191	0,00169	2670,91	0,00202	15645,64
Y yönü için	Δy_{ort}	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	nbi	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
	nki	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
	$(\lambda \cdot R/I) \cdot \Delta x/h$	0,00000	0,00000	0,00	0,00	0,0
	ϕ_i	0,00191	0,00169	0,00178	0,00202	0,00197

Burada;

λ = Narinlik ile ilgili kapasite azaltma katsayısı

$\Delta x_i \text{ ort}$ = Binanın i'inci katındaki ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi [m]

η_{bi} = i'inci katta tanımlanan Burulma Düzensizliği Katsayısı

η_{ki} = i'inci katta tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı

θ_i = Görelî kat ötelemesi açısı

I: Bina önem katsayısı

Analiz sonuçları için 1.Referans yapı modelinin analiz sonuçları Şekil 6.7.'te örnek olarak aşağıda detaylı şekilde verilmiş olup diğer yapı modelleri de aynı şekilde analiz edilmiş ancak hesap çıktıları yerine hesap sonuçları 5 yapı modeli için tek bir tabloda Tablo 6.4.'te yukarda verilmiştir.

A1,B2 düzensizliklerinin kontrolü
di=R/I·Δ, K=1, Tx=0.121s, Ty=0.130s
λx=Sa(Tx,DD3)/Sa(Tx,DD2)=0.268/0.669=0.400
λy=Sa(Ty,DD3)/Sa(Ty,DD2)=0.268/0.669=0.400
λx·X max(di/hi)≤0.008·K=0.008 λy·Y max(di/hi)≤0.008·K=0.008
Ch=0.5, D=1.50, R=2.50
θni = [ort(Δi)·Σwk] / (Vi·hi) ≤ 0.12·D/(Ch·R) → Maxθn=0.144

X YÖNÜ (+)

Kat	ΔX düst (m)	ΔX dalt (m)	ΔX ort	nbi	nki	λ·R/I·Δx/h	θi	kat tipi
1	0.0000000» S000	0.0000000» S000	0.0010000	0.00	0.00	0.00000 ✓	0.00191 ✓	Üst kat

X YÖNÜ (-)

Kat	ΔX düst (m)	ΔX dalt (m)	ΔX ort	nbi	nki	λ·R/I·Δx/h	θi	kat tipi
1	0.0000000» S000	0.0000000» S000	0.0010000	0.00	0.00	0.00000 ✓	0.00191 ✓	Üst kat

Y YÖNÜ (+)

Kat	ΔY düst (m)	ΔY dalt (m)	ΔY ort	nbi	nki	λ·R/I·Δy/h	θi	kat tipi
1	0.0000000» S000	0.0000000» S000	0.0010000	0.00	0.00	0.00000 ✓	0.00191 ✓	Üst kat

Y YÖNÜ (-)

Kat	ΔY düst (m)	ΔY dalt (m)	ΔY ort	nbi	nki	λ·R/I·Δy/h	θi	kat tipi
1	0.0000000» S000	0.0000000» S000	0.0010000	0.00	0.00	0.00000 ✓	0.00191 ✓	Üst kat

Şekil 6.7. Referans yapı modelinin analiz sonuçları

6.5. TABAN KESME KUVVETLERİ

Yapı modellerinde oluşan Deprem kuvvetleri eşdeğer Deprem yükü metodu ile hesaplanmış olup sonuçlar tüm yapı modelleri için aşağıda Tablo 6.5.'te gösterilmiştir.

Tablo 6.5. Yapı Modellerinde Oluşan Deprem Kuvvetleri

Yapı Modelleri/ Deprem Kuvvetleri (t)	1.Referans yapı modeli (%21,4)	2. Yapı modeli (%0)	3. Yapı modeli (%10)	4. Yapı modeli (%20)	5. Yapı modeli (%30)
Wg (t), sabit yükler	114,03	168,4	152,75	119,08	108,6
Wq (t), hareketli yükle	13,33	13,28	12,21	13,53	13,26
$W_i = W_g + n \cdot W_q$ (n=0,3) Azaltılmış hareketli yük hali	118,03	172,38	156,41	123,14	112,58
Devrilme momenti (tm) $W_i \cdot H$	330,5	482,67	437,95	344,80	315,21
V _{kx} x için taban kesme kuvveti	31,58	46,12	41,85	32,95	30,12
V _{ky} y için taban kesme kuvveti	31,58	46,12	41,85	32,95	30,12

Analiz sonuçları için 1.Referans yapı modelinin analiz sonuçları örnek olarak Şekil 6.8.'te aşağıda detaylı şekilde verilmiş olup diğer yapı modelleri de aynı şekilde analiz edilmiş ancak hesap çıktıları yerine hesap sonuçları 5 yapı modeli için tek bir tabloda Tablo 6.5.'te yukarda verilmiştir.

DEPREM KUVVETİ (t)

S_{ds}/S_{d1} : 0.67/0.21, S_s/S₁ : 0.52/0.14, I=1.0, R=2.5
 T_x=0.12s, T_y=0.13s, S_{ax}(t)=0.669, R_{ax}(t)=2.5, S_{ay}(t)=0.669, R_{ay}(t)=2.5
 V_{tx}=W·S_a(T)·I=118.03·0.669·1.0 / 2.50=31.58
 V_{ty}=W·S_a(T)·I=118.03·0.669·1.0 / 2.50=31.58
 F_t=0.0075·N·V_t=0.24/0.24

$$E\dot{S}DE\dot{G}ER\ DEPREM\ FORM\UL\Udot{F}_{di} = (V_t - F_t) \frac{W_i \cdot H_i}{\sum W_i \cdot H_i}$$

Kat no	H _m	W _g _t	W _q _t	n	W _i _t	W _i ·H _i _{tm}	V _{kx} _t	V _{ky} _t
1	2.80	114.03	13.33	0.30	118.03	330.50	31.58	31.58
$\Sigma =$					118.03	330.50	31.58	31.58

$$V_{xi} = V_{kx} \cdot \frac{K_x}{\sum K_x} + V_{kx} \cdot (Y_g - Y_r) \cdot \frac{K_x \cdot (Y - Y_r)}{J}, \quad V_{yi} = V_{ky} \cdot \frac{K_y}{\sum K_y} + V_{ky} \cdot (X_g - X_r) \cdot \frac{K_y \cdot (X - X_r)}{J}$$

$$J = \sum (K_x \cdot (Y - Y_r)^2 + K_y \cdot (X - X_r)^2)$$

Şekil 6.8. Referans yapı modelinin analiz sonuçları

6.6. YIĞMA DUVARLARIN KAT KESME KAPASİTE KONTROLÜ

Yapı modellerinde yığma duvarların kat kesme kapasiteleri “x” ve “y” yönleri için hesaplanmış olup kesme kapasite oranı da yapının performans sonucu olarak ifade edilmiştir. Hesap sonuçlar tüm yapı modelleri için aşağıda Tablo 6.6.’da gösterilmiştir.

Tablo 6.6. Yapı Modellerinde Yığma Duvarların Kat Kesme Kapasiteleri

Yön	Yapı Modelleri/ Yığma duvar kat kesme kapasitesi (t)	1.Referans yapı modeli (%21,4)	2.Referans yapı modeli (%0)	3.Referans yapı modeli (%10)	4.Referans yapı modeli (%20)	5.Referans yapı modeli (%30)
X yönü için	$\sum V_{Rd}$	235,14	328,72	304,48	266,42	220,70
	$\sum V_{Ed}$	31,58	46,12	41,85	32,95	30,12
	$\sum V_e (V_{Ed} > V_{Rd})$	0,00	0,00	0	0	0,00
Y yönü için	$\sum V_{Rd}$	235,14	333,78	296,92	258,66	229,83
	$\sum V_{Ed}$	31,58	46,12	41,85	32,95	30,12
	$\sum V_e (V_{Ed} > V_{Rd})$	0,00	0,00	0	0,00	0,00

Burada;

V_{Rd} : Duvar tasarım kesme kuvveti dayanımı

V_{Ed} : Yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan duvar kesme kuvveti

Analiz sonuçları için 1.Referans yapı modelinin analiz sonuçları örnek olarak aşağıda Şekil 6.9.'da detaylı şekilde verilmiş olup diğer yapı modelleri de aynı şekilde analiz edilmiş ancak hesap çıktıları yerine hesap sonuçları 5 yapı modeli için tek bir tabloda Tablo 6.6.'da yukarda verilmiştir.

YIĞMA DUVARLARIN KAT KESME KAPASİTE KONTROLÜ ($R_a=2.5$)

	X			Y			Yetersiz kesme kapasite Oranı
KAT	$\sum V_r$	$\sum V_e$	$\sum V_e (V_e > V_r)$	$\sum V_r$	$\sum V_e$	$\sum V_e (V_e > V_r)$	
1	235.14	31.58	0.00	253.10	31.58	0.00	✓ Sınırlı Hasar

Yığma yapı performansı:Sınırlı Hasar

Şekil 6.9. Referans yapı modelinin analiz sonuçları

7. İSTATİSTİKSEL ANALİZLER

Duvar boşluk oranlarına göre oluşturulan yapı modellerinin Deprem performansları ile ilgili analiz sonuçlarının karşılaştırılması, farklı ya da aynı olan modellerin belirlenebilmesi ve incelenen parametreler arasında ki ilişki düzeylerinin tespit edilebilmesi amacı ile istatistiksel analizler yapılmıştır. Analizlerde verilerin tanımlayıcı istatistiksel değerleri, Korelasyon ilişki düzeyleri, farklılıkların anlam düzeyleri ve karşılaştırma testleri yapılmıştır.

7.1. YAPI MODELLERİNİN AĞIRLIKLARININ ANALİZİ

İncelenen dört farklı yapı modelinin ağırlıkları ile ilgili tanımlayıcı istatistiksel değerler, korelasyon ilişkileri ve aralarında anlamlı farklılıklar olup olmadığı analiz edilmiş ve sonuçlara aşağıda Tablo 7.1. ve Tablo 7.2’de yer verilmiştir.

Tablo 7.1. Yapı Ağırlıklarının Tanımlayıcı İstatistiksel Değerleri

	N	Aralık	Minimum	Maximum	Ortalama		Std. Sapma	Varyans
					İstatistik	Std. Hata		
Toplam Ağırlık ΣW	5	59,8	112,58	172,38	136,509	11,780	26,341	693,867

Tablo 7.2. Duvar Boşluk Oranları İle Ağırlıklar Arasında Ki Korelasyon Katsayıları

		Toplam Ağırlık ΣW	Duvar Boşluk oranı
Toplam Ağırlık ΣW	Pearson Correlation	1	-,972
	Sig. (2-tailed)		,006
	N	5	5
Duvar Boşluk oranı	Pearson Correlation	-,972	1
	Sig. (2-tailed)	,006	
	N	5	5

Duvar boşluk oranları ile yapıların ağırlıkları arasında negatif bir ilişki olduğu duvar boşluk oranı arttıkça ağırlıkların azaldığı ve bu ilişkinin “- 0,972” düzeyinde olduğu görülmüştür.

7.2. YAPI MODELLERİNDE YAPIYA ETKİ EDEN DEPREM YÜKLERİNİN ANALİZİ

İncelenen dört farklı yapı modeline etki eden Deprem yükleri Modal Analiz, Eşdeğer Deprem Yüğü ve Deprem yükü olarak üç farklı yöntemle hesaplanmış ve deprem yüklerinin tanımlayıcı istatistiksel değerler, korelasyon ilişkileri ve aralarında anlamlı farklılıklar olup olmadığı analiz edilmiş ve sonuçlar aşağıda Tablo 7.3. ve Tablo 7.4.’te gösterilmiştir.

Tablo 7.3. Deprem Yüklerinin Tanımlayıcı İstatistiksel Değerleri

	N	Aralık	Min.	Max.	Ortalama		Std. Sapma	Varyans
					İstatistik	Std. Hata		
Modal analiz deprem kuvveti	5	10,60	17,23	27,83	22,0680	2,14429	4,79477	22,990
Eş değer deprem kuvveti	5	15,97	30,17	46,14	36,5620	3,14633	7,03541	49,497
Deprem kuvveti	5	14,37	27,15	41,52	32,9040	2,83076	6,32978	40,066

Tablo 7.4. Duvar Boşluk Oranları İle Deprem Kuvvetleri Arasında Ki Korelasyon Katsayıları

		Boşluk oranı	Modal analiz deprem kuvveti	Eş değer deprem kuvveti	Deprem Kuvveti
Boşluk oranı	Pearson Correlation	1	-,962**	-,972**	-,972**
	Sig. (2-tailed)		,009	,006	,006
	N	5	5	5	5
Modal analiz deprem kuvveti	Pearson Correlation	-,962**	1	,991**	,991**
	Sig. (2-tailed)	,009		,001	,001
	N	5	5	5	5
Eş değer deprem kuvveti	Pearson Correlation	-,972**	,991**	1	1,000**
	Sig. (2-tailed)	,006	,001		,000
	N	5	5	5	5
Deprem kuvveti	Pearson Correlation	-,972**	,991**	1,000**	1
	Sig. (2-tailed)	,006	,001	,000	
	N	5	5	5	5

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Tablo 7.3 ve Tablo 7.4. incelendiğinde, duvar boşluk oranları arttıkça deprem yüklerinin azaldığı ve bu ilişki düzeyinin yaklaşık -0,96 ile -0,97 seviyelerine kadar çıktığı görülmüştür. Hesap yöntemlerinin farklı olmasının da sonuçları değiştirmedığı ve farklı hesap yöntemleri ile elde edilen deprem yüklerinin neredeyse aynı olduğu görülmüştür.

7.3. YAPI MODELLERİNDE TABAN KESME KUVVETLERİNİN ANALİZİ

İncelenen dört farklı yapı modeline etki eden Taban kesme kuvvetlerinin tanımlayıcı istatistiksel değerleri, korelasyon ilişkileri ve aralarında anlamlı farklılıklar olup olmadığı analiz edilmiş ve sonuçlar aşağıda Tablo 7.5. ve Tablo 7.6'da gösterilmiştir.

Tablo 7.5. Yapılarda Taban Kesme Kuvvetlerinin Tanımlayıcı İstatistiksel Değerleri

	N	Aralık	Min.	Max.	Ortalama		Std. Sapma	Varyans
					İstatistik	Std. Hata		
Taban kesme kuvvetleri	5	16,00	30,12	46,12	36,5240	3,15180	7,04765	49,669

Tablo 7.6. Duvar Boşluk Oranları İle Taban Kesme Kuvvetleri Arasında Ki Korelasyon Katsayıları

		Taban kesme Kuvvetleri	Duvar Boşluk oranı
Taban kesme Kuvvetleri	Pearson Correlation	1	-,972**
	Sig. (2-tailed)		,006
	N	5	5
Duvar Boşluk oranı	Pearson Correlation	-,972**	1
	Sig. (2-tailed)	,006	
	N	5	5

Tablo 7.5 ve Tablo 7.6. incelendiğinde, yapı modellerinde duvar boşluk oranları arttıkça taban kesme kuvvetlerinin azaldığı, taban kesme kuvvetleri arasında ki ilişki katsayılarının yapıların ağırlıkları ile duvar boşluk oranları arasında ki ilişki katsayısı ile aynı olduğu ve ilişki düzeyinin “-0,931” olduğu görülmektedir.

7.4. YAPI MODELLERİNDE DEVRİLME MOMENTLERİNİN ANALİZİ

Yapı modellerinde devrilme momentleri yapıya kat seviyede etki eden deprem kuvveti ile yapı yüksekliğinin çarpılması ile elde edilen bir değerdir. Dört yapı modelinin kat

yükseklikleri aynıdır. Devrilme momentinin tanımlayıcı istatistiksel değerleri aşağıda Tablo 7.7 ve Tablo 7.8.'de gösterilmiştir.

Tablo 7.7. Yapılarda Devrilme Momentlerinin Tanımlayıcı İstatistiksel Değerleri

	N	Aralık	Min.	Max.	Ortalama		Std. Sapma	Varyans
					İstatistik	Std. Hata		
Taban kesme kuvvetleri	5	167,46	315,21	482,67	382,2260	32,98605	73,75905	5440,398

Tablo 7.8. Duvar Boşluk Oranları İle Devrilme Momentleri Arasında Ki Korelasyon Katsayıları

		Devrilme Momentleri	Duvar Boşluk Oranı
Devrilme Momentleri	Pearson Correlation	1	-,972**
	Sig. (2-tailed)		,006
	N	5	5
Duvar Boşluk Oranı	Pearson Correlation	-,972**	1
	Sig. (2-tailed)	,006	
	N	5	5

Tablo 7.7 ve Tablo 7.8. incelendiğinde, yapı modellerine etki eden taban kesme kuvvetleri ve yükseklikleri her model için aynı olduğundan duvar boşluk oranları ile taban kesme kuvvetleri ve doğal olarak ta devrilme momentleri aynı ilişki katsayısına sahip olup ilişki düzeyi “-0,972” olarak verilmiştir (SPSS 22).

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yığma yapılarda duvar boşluklarının yapının deprem performansı parametreleri üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yapılan bu çalışma, yığma yapıların tasarım ve uygulamaları açısından önemli bulgular sunmaktadır. Bu kapsamda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Duvar boşluk oranının artması yapının toplam kütesini doğrudan etkileyerek deprem kuvvetleri, taban kesme kuvvetleri ve devrilme momentleri gibi parametrelerde önemli değişikliklere yol açmaktadır. %0 duvar boşluğu olan yapı modelinde toplam kütle 172,38 ton olarak hesaplanmıştır. %10 duvar boşluğu olan yapı modelinde toplam kütle 156,41 ton, %20 duvar boşluğu olan yapı modelinde toplam kütle 123,14 ton ve %30 duvar boşluğu olan yapı modelinde de toplam kütle 112,58 ton olarak hesaplanmıştır.
- Dış cephesinde hiç kapı pencere boşluğu olmayan tam dolu %0 boşluklu yapı modelinin kütlesi dikkate alındığında %10 duvar boşluk olan yapı modelinde ağırlığın yaklaşık %9,26 oranında azaldığı, %20 duvar boşluk olan yapı modelinde yaklaşık %28,56 oranında azaldığı, referans yapı modelinde (%21,4 duvar boşluğu olan) ağırlığın yaklaşık %31,53 oranında azaldığı ve %30 duvar boşluğu olan yapı modelinde ise ağırlığın yaklaşık %34,69 oranında azaldığı görülmüştür.
- Deprem kuvvetleri açısından, Modal Analiz yönteminde %0 duvar boşluğuna sahip yapıya etki eden deprem yükü 27,83 ton olarak hesaplanırken %10 duvar boşluğu olan yapıya etki eden deprem yükü 26,53 ton, %20 duvar boşluğu olan yapıda 20,06 ton, %21,4 duvar boşluğu olan referans yapı modelinde 18,69 ton ve %30 duvar boşluğu olan yapıya etki eden deprem yükü 17,23 ton olarak hesaplanmıştır.
- Deprem kuvvetleri açısından, Eşdeğer Deprem Yüğü yönteminde %0 duvar boşluğuna sahip yapıya etki eden deprem yükü 46,14 ton olarak hesaplanırken %10 duvar boşluğu olan yapıya etki eden deprem yükü 41,88 ton, %20 duvar boşluğu olan yapıda 33,00 ton, %21,4 duvar boşluğu olan referans yapı modelinde 31,62 ton ve %30 duvar boşluğu olan yapıya etki eden deprem yükü 30,17 ton olarak hesaplanmıştır.

- Modal Analiz sonuçlarına göre, %0 duvar boşluğu olan yapının depreme karşı direnci referans olarak alındığında %10 duvar boşluklu yapının depreme karşı direncinin yaklaşık %4,67 oranında azaldığı, %20 duvar boşluklu yapıda yaklaşık %27,92 oranında azaldığı, %21,4 duvar boşluğu olan referans yapıda yaklaşık %32,84 oranında azaldığı ve %30 duvar boşluğu olan yapıda ise yaklaşık %38,09 oranında azaldığı görülmüştür. Bu durum, duvar boşluk oranının artması ile yığma yapıların deprem kuvvetlerine karşı dirençlerinin önemli ölçüde azaldığını ortaya koymaktadır.
- Taban kesme kuvvetleri incelendiğinde, %0 boşluk oranına sahip yapı modeli 46,12 ton taban kesme kuvvetini karşılarken, %10 boşluk oranına sahip yapı 41,85 ton, %20 duvar boşluğu olan yapı 32,95 ton, %21,4 duvar boşluk oranı olan referans yapı 31,58 ton ve %30 duvar boşluğu olan yapı ise 30,12 ton taban kesme kuvvetini karşılayabilmiştir.
- %0 duvar boşluğu olan yapının karşıladığı 46,12 ton taban kesme kuvveti referans alındığında, %10 duvar boşluklu yapının taban kesme kuvvetine karşı direncinin yaklaşık %9,26 oranında azaldığı, %20 duvar boşluklu yapıda yaklaşık %28,56 oranında azaldığı, %21,4 duvar boşluğu olan referans yapıda yaklaşık %31,52 oranında azaldığı ve %30 duvar boşluğu olan yapıda ise yaklaşık %34,69 oranında azaldığı görülmüştür. Bu durum, duvar boşluk oranının artması ile yığma yapıların deprem kuvvetlerine karşı dirençlerinin önemli ölçüde azaldığını ortaya koymaktadır. Yapı modellerinde duvarlarda ki boşluk oranlarının artması yapının Rijitliğini azalttığı için deprem kuvvetleri ve taban kesme kuvvetlerine karşı yapının direnci büyük oranda azalmaktadır.
- Devrilme momentleri açısından, en büyük değer 482,67 tm ile %0 duvar boşluğu olan yapıda en düşük değer ise 315,21 tm ile %30 boşluğa sahip yapıda elde edilmiştir. Devrilme momentinde %0 duvar boşluğu olan yapı dikkate alınırsa %10 duvar boşluğu olan yapıda %9,26 oranında azaldığı, %20 duvar boşluğu olan yapıda yaklaşık %28,56 oranında, referans yapıda (%21,4 duvar boşluğu olan) yaklaşık %31,53 oranında azaldığı ve %30 duvar boşluğu olan yapıda ise yaklaşık %34,69 oranında azaldığı görülmüştür.
- Kat ötelenmeleri açısından, en büyük ötelenme %30 boşluk oranlı yapıda 1,30 mm olarak kaydedilirken, diğer modellerde bu değerler yaklaşık 1-1,2 mm civarında olmuştur.

- Oluşturulan yapı modellerinde, duvar boşluk oranına bağlı olarak yapı ağırlıklarının, deprem kuvvetlerinin, taban kesme kuvvetlerinin ve devrilme momentlerinin mükemmel düzeyde $R^2=0,99$ ile tahmin edilebileceği görülmüştür.

Bu sonuçlar ışığında aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

Duvar Boşluklarının Optimize Edilmesi: Yığma yapılarda duvar boşluk oranlarının artması, yapıların depreme karşı dayanıklılığını ciddi oranda azaltmaktadır. Kapı ve pencere gibi boşluk boyutlarının dikkatle tasarlanması ve küçük tutulması yapı Rijitliğini artırarak deprem performansını iyileştirecektir.

Taşıyıcı Elemanların Güçlendirilmesi: Kullanılan bağlayıcı malzeme ile tuğla veya taşın mekanik özellikleri, yapıların gevrek davranış sergilemesini azaltacak şekilde optimize edilmelidir.

Deprem Bölgelerinde Kat Sınırlandırması: Yığma yapıların deprem bölgelerinde daha dayanıklı olabilmesi için kat sayılarının sınırlandırılması ve uygun tasarım standartlarının uygulanması gerekmektedir.

Simetri ve Tasarım Uygulamaları: Simetrik tasarımlar tercih edilmeli; kütle ve Rijitlik merkezleri arasındaki farklar minimize edilerek yapının burulma etkilerine maruz kalması önlenmelidir.

Köşe Detaylarına Dikkat: Duvar köşe birleşim detaylarının dikkatle işlenmesi ve bu alanlardaki boşlukların azaltılması, deprem performansının artması açısından kritik öneme sahiptir.

Yığma Yapı Kullanım Alanlarının Sınırlandırılması: İnsan yoğunluğunun fazla olduğu binalar için yığma yapıların tercih edilmemesi; bu alanlarda daha dayanıklı ve modern malzemelerle tasarımların yapılması önerilmektedir.

Malzeme ve İşçilik Kalitesinin Artırılması: Yığma yapılarda kullanılan malzemelerin standartlara uygunluğu ve işçilik kalitesinin yükseltilmesi, yapıların deprem performansını doğrudan etkilemektedir. Özellikle bağlayıcı malzeme ve duvar elemanlarının dayanıklılığı artırılmalıdır.

Kırsal Alanlarda Eğitim ve Farkındalık: Yığma yapıların yaygın olarak kullanıldığı kırsal bölgelerde, doğru tasarım ve inşaa teknikleri konusunda yerel halkın eğitilmesi önemlidir. Bu tür çalışmalar, yapıların deprem güvenliğini artıracaktır.

Tasarım Standartlarının Geliştirilmesi: Yığma yapılar için ülke genelinde geçerli, ayrıntılı ve pratik tasarım standartlarının oluşturulması, yapı güvenliğini artırılmasına katkı sağlayacaktır.

İleriki çalışmalar: Yığma yapılarda duvar boşluklarının binanın deprem davranışını inceleyen bu çalışma, farklı kat yükseklikleri, duvar genişliği veya kat sayısı gibi değişen parametreler ile geliştirilebilir.



9. KAYNAKÇA

- Akgül, M., & Doğan, O. (2020). Altındağ/Ankara Özelinde Tipik Yığma Binaların Deprem Risklerinin 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre İncelenmesi. *Engineering Sciences*, 15(1), 1-14.
- Altoubat, S., Maalej, M., Karzad A. S. ve Estephane, P. (2018). Rapid Strengthening of Unreinforced Masonry Walls for Out-of-Plane Actions using Fiber Reinforced Shotcrete. 3rd RN Raikar Memorial Intl. Conference & Gettu-Kodur Intl. Symposium on Advances in Science & Technology of Concrete.
- Bal, A. ve Şimşek, S. (2019). Tarihi Yığma Bir Yapının Lifli Polimerler (FRP) ile Güçlendirme Alternatiflerinin Araştırılması ve Proje Uygulaması. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*. 4(3), 112-119.
- Bayır, İ. S., Özgan, E. (2024). “Yığma Binaların Duvar Boşluk Oranlarının Binanın Deprem Davranışına Etkisinin İncelenmesi”. İçinde: Teori ve Uygulamada Mimarlık, Planlama ve Tasarım (ss.61-73). İzmir, Türkiye: Duvar Yayınevi, Bölüm 4.
- Bayır, İ. S., Özgan, E. (2024). “Yığma Binalarda Duvar Boşluk Oranları İle Binanın Deprem Performansı Arasındaki İlişkilerin Modellenmesi”. İçinde: İnşaat Mühendisliği Alanında Uluslararası Araştırma ve Değerlendirmeler (ss.55-70). Ankara, Türkiye: Serüven Yayınevi, Bölüm 5.
- Bayülke, N. (1999). *Depremde Hasar Gören Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi*, İnşaat Mühendisleri Odası, Yayın No: 15, İzmir Şubesi, İzmir
- Can, H., Kubın, J., & Ünay, A. (2013). Düzensiz Geometrik Şekile Sahip Tarihi Yığma Binaların Sismik Davranışı, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(3).
- Canbay, E., Ersoy, U., Özcebe, G. ve Sucuoğlu, S. H. (2008). *Binalar İçin Deprem Mühendisliği Temel İlkeler*. Evrim Yayınları.
- Çambay, E. (2023). Damage Assessment of Masonry Structures in Adıyaman Province After Kahramanmaraş Earthquakes (February 6, 2023). *Firat University Journal of Experimental and Computational Engineering*, 2(3), 117-123.

- Çalışkan Değirmenci, Ö., & Ekin, Ö. (2016). Deprem Davranışları İncelenecek Olan Yığma Yapıların Durumları Hakkında İlk İzlenimler. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1(2), 1-8.
- Çöğürçü, M. T. (2007). “Yığma Yapıların Yatay Derz Güçlendirme Yöntemiyle Güçlendirilmesi”. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Dardaei, S., Shakib, H., Rezaei, M. K. ve Mousavi, M. (2014). Analytical and Experimental Seismic Evaluation of Confined Masonry Walls Retrofitted by Steel-Fiber and Polypropylene Shotcrete. *JSEE*. 16(4).
- Döndüren, M. S. (2008). “Bağlayıcı Özelliği Artırılan Duvar ve Sıva Harcının Düzlem Dışı Yüklenen Tuğla Duvarların Mekaniksel Davranışına Etkisi”. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Ediz, İ. (2006). “Kâgir Yapılarda Kullanılan Taşıyıcı Duvarların Hasır Çelik Donatı ve Kendiliğinden Yerleşen Beton ile Güçlendirilmesinin Deneysel İncelenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ersubaşı, F. (2008). “Yığma Yapıların Deprem Davranışının Sarsma Tablasında Dinamik Olarak İncelenmesi ve Farklı Güçlendirme Seçeneklerinin Değerlendirilmesi”, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Ghezelbash, A., Beyer, K., Dolatshahi, K. M. ve Yekrangni, M. (2020). Shake table test of a masonry building retrofitted with shotcrete. *Engineering Structures*, 219, 110912.
- Hamed, E. ve Rabinovitch, O. (2010). Failure characteristics of FRPstrengthened masonry walls under out-of-plane loads. *Engineering Structures*. 32, 2134-2145.
- Kalkan, N. (2008). “Düzlem Dışı Tersinir Yüklenen Yığma Yapıların Donatılı Püskürtme Beton ile Güçlendirilmesi”. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Karbaschi, M.E., Dezfouli, A. A. ve Yazdanian, M. (2017). Investigating Efficiency of Shotcrete for Retrofitting Masonry Buildings. *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering*. 5(1), 47-66.
- Khan, S. A. U. R., Ashraf, M. ve Adil, M. (2015). Shear Strength Evaluation of Strengthened Unreinforced Brick Masonry Walls by Using Shotcrete. *ARP Journal of Science and Technology*. 5(3), 25-38.

- Kayırğa, O. M. (2017). “Yığma Yapıların Deprem Davranışının Analitik ve Deneysel Olarak Belirlenmesi”. Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Lin, Y. W., Biggs, D., Wotherspoon, L. ve Ingham, J. M. (2014). In-Plane Strengthening of Unreinforced Concrete Masonry Wallettes Using ECC Shotcrete. *Journal of Structural Engineering*. 140(11), 04014081.
- Lunn, D. S. ve Rizkalla, S. H. (2013). Design of FRP-Strengthened Infill Masonry Walls Subjected to Out-of-Plane Loading. *Journal of Composites for Construction*. 18(3), A4013002.
- Maraş, M. M. ve Kılınç, H. Ç. (2016). Comparison on Repair and Strengthening Techniques for Unreinforced Masonry Structures. *Int. Journal of Engineering Research and Application*. 6(11), 2248-9622.
- Özsaraç, S. (2008). “Yığma Yapılarda Taşıyıcı Tuğla Duvarların GFRP ile Güçlendirilmesinin Deneysel Olarak İncelenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Rahman, A. ve Ueda, T. (2016). In-Plane Shear Performance of Masonry Walls after Strengthening by Two Different FRPs. *Journal of Composites for Construction*. 20(5), 04016019.
- Sayın, E. (2009). “Yığma Yapıların Lineer Olmayan Statik ve Dinamik Analizi.” Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ.1–126.
- Sever, A. E. (2023). Frp Levha ile Güçlendirmenin Yığma Bir Kemer Yapısının Deprem Davranışına Olan Etkilerinin İncelenmesi. *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*. 7(1), 7-19.
- Shabdin, M., Attari, N. K. A. ve Zargaran, M. (2019). Experimental Study on Seismic Behavior of Unreinforced Masonry (URM) Brick Walls Strengthened in the Boundaries with Shotcrete. *Journal of Earthquake Engineering*. 13632469.
- SPSS 22, IBM, SPSS Statistics Data Editor, <http://www-01.ibm.com/software/analytics/spss/>
- TS500 (2000). *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*. Türk Standartları Enstitüsü, 1. Baskı, 75s., Ankara.

Türer, A., Şimşek, Ç., Gölalımı, M., Özden, B., Dilsiz, A. ve Özen, Ö. (2005). Kullanılmış Araba Lastiği ile Güçlendirme Antakya Pilot Uygulaması ve Dekoratif Çözümler. YDGA 2005 Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Artırılması Çalıştay, ODTÜ, Ankara. 1- 8.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, (2018). Resmi Gazete, 18 Mart 2018, 30364 (Mükerrer)

Ural, A. (2009). “Yığma Yapıların Doğrusal ve Doğrusal Olamayan Davranışlarının İncelenmesi”, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.

Uzun, M. (2017). “Yığma Yapıların Deprem Performansının Değerlendirilmesi ve Bir Güçlendirme Örneği”. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.

Yazgan, İ. O. (2023). Bir Kültürel Miras Yapısındaki Güçlendirme Uygulamalarının Yapısal Performans ve Restorasyon İlkeleri Bağlamında Değerlendirilmesi. *Grid Mimarlık Planlama ve Tasarım Dergisi*, 5(10), 89-102.

Yetkin, M. (2022). “Harç ve Örgü Tipinin Yığma Duvarların Mekanik Parametrelerine Etkisi ve Nümerik Olarak Değerlendirilmesi”, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Yıldırım, H. (2007). “Yığma Yapı Elemanları İçin İzotropik Hasar Analizi Geliştirilmesi ve Sonlu Eleman Uygulamaları” Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Zengin, B. (2021). Seismic Behavior Evaluation of URM Building in Rural Area. *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi* (25), 607-614.

Referans kabul edilen yığma yapının 27.12.2024 tarihli 0549 Lisans numaralı Sta4-Cad(V14.1) analiz raporu, 33 sayfa, 2024.

%0 Duvar boşluğu olan yığma yapının 27.12.2024 tarihli 0549 Lisans numaralı Sta4-Cad(V14.1) analiz raporu, 33 sayfa, 2024.

%10% Duvar boşluğu olan yığma yapının 27.12.2024 tarihli 0549 Lisans numaralı Sta4-Cad(V14.1) analiz raporu, 33 sayfa, 2024.

%20 Duvar boşluğu olan yığma yapının 27.12.2024 tarihli 0549 Lisans numaralı Sta4-Cad(V14.1) analiz raporu, 33 sayfa, 2024.

%30 Duvar boşluğu olan yığma yapının 27.12.2024 tarihli 0549 Lisans numaralı Sta4-Cad(V14.1) analiz raporu, 33 sayfa, 2024.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Sariye İrem BAYIR

Yabancı Dili: İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

<u>Derece</u>	<u>Alan</u>	<u>Okul/ Üniversite</u>	<u>Mezuniyet Yılı</u>
Yüksek Lisans	Mimarlık	Düzce Üniversitesi	2025
Lisans	Mimarlık	Haliç Üniversitesi	2018
Lise	Sayısal	Karaman Anadolu Lisesi	2013

TEZDEN ÇIKAN YAYINLAR

Bayır, İ. S., Özgan, E. (2024). “Yığma Binaların Duvar Boşluk Oranlarının Binanın Deprem Davranışına Etkisinin İncelenmesi”. İçinde: *Teori ve Uygulamada Mimarlık, Planlama ve Tasarım* (ss.61-73). İzmir, Türkiye: Duvar Yayınevi, Bölüm 4.

Bayır, İ. S., Özgan, E. (2024). “Yığma Binalarda Duvar Boşluk Oranları İle Binanın Deprem Performansı Arasındaki İlişkilerin Modellenmesi”. İçinde: *İnşaat Mühendisliği Alanında Uluslararası Araştırma ve Değerlendirmeler* (ss.55-70). Ankara, Türkiye: Serüven Yayınevi, Bölüm 5.